



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Reproducción de *Poeciliopsis gracilis*, especie ornamental introducida en el
bordo Amate Amarillo, Morelos.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

PRESENTA:

SANCHEZ MUÑOZ WENDY NAHOMY

DIRECTOR: Dr. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

TESIS realizada con el apoyo del Proyecto PE213718 DGAPA-PAPIME

Ciudad de México, Febrero 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



“La vida es demasiado corta para que podamos interesarnos por todo, pero conviene interesarse por tantas cosas como sean necesarias para llenar nuestra vida”.

-Bertrand Russell.





Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de pertenecer a la máxima casa de estudios. A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por darme las herramientas necesarias para desarrollarme como profesionista, a todos los docentes que me compartieron sus enseñanzas y experiencias en las aulas de clase.

Al proyecto DGAPA-PAPIME PE213718 que permitió la realización de este trabajo.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez, por dejarme pertenecer al equipo del laboratorio de Limnología, por hacerme ver lo lejos que se puede llegar cuando se confía en uno mismo, por toda su paciencia a lo largo de este tiempo, por su dedicación y amor a la enseñanza, por los consejos, el apoyo, motivación y determinación que siempre nos brindó a sus alumnos, muchas gracias.

A la Dra. Bertha Peña, por compartir conmigo sus conocimientos, por la ayuda que me brindó a lo largo de mi estancia en el laboratorio, por sus consejos y críticas certeras en los momentos adecuados.

A mis sinodales; a la Biól. Angélica Elaine González Schaff, al Biól. José Luis Guzmán Santiago y al Mtro. Ernesto Mendoza Vallejo por sus observaciones y enseñanzas, por acompañarme a lo largo de este proyecto, gracias.





Dedicatoria

Dedico esta TESIS a mis padres, quienes han sido los pilares más fuertes en mi vida, a mi madre Mariana por haber sido el ejemplo más grande de la importancia que tiene el jamás abandonar los sueños, a mi padre Juan, por tanto esfuerzo, amor y apoyo.

A mi hermana Dafne, por demostrar que la valentía nace cuando todos los caminos parecen bloqueados y por enseñarme que la grandeza viene en empaques pequeños...

A los chicos del laboratorio de Limnología, a Victoria a Maggie y a Jake por compartir conmigo sus experiencias, conocimientos y buenos ratos.

A todos mis amigos que me apoyaron y me brindaron lo mejor de ustedes a May a Jezz a Ulises a Julio a John a Narda a Rico, amigos los quiero.

A la Familia Brindis Velázquez, por todo su cariño y confianza, por siempre creer en nuestros logros, gracias.

A Carlos, por ser la persona más paciente conmigo, por todo tu apoyo, ayuda y comprensión, por todas las aventuras y experiencias que hemos compartido en este proceso. Por enseñarme tanto, por crecer conmigo. Por absolutamente todo, gracias.





ÍNDICE

Resumen	6
Introducción.....	7
Antecedentes	11
Diagnosis de la especie	14
Preguntas de investigación	15
Justificación	16
Hipótesis	16
Objetivos.....	17
Objetivos particulares	17
Zona de estudio.....	18
Materiales y Métodos.....	21
Fase de campo	21
Fase de laboratorio	22
Fase de gabinete:.....	26
Resultados	32
Discusión.....	63
Conclusiones	73
Referencias.....	75





Resumen

En el presente trabajo se analizó el ciclo anual reproductivo de *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848) en el bordo Amate Amarillo, un sistema artificial somero de aguas productivas en el municipio de Ayala, Morelos, durante el periodo estudio las aguas del sistema fueron aguas duras a muy duras, ligeramente alcalinas, con un pH por arriba de 8 y siempre oxigenadas. La duración de este trabajo fue de un año (marzo 2017- febrero 2018), en total se recolectaron 531 organismos, donde la proporción sexual estuvo a favor de las hembras durante casi todo el estudio, los resultados de la relación peso-longitud para toda la población estableció que *P. gracilis* tiene un tipo de crecimiento alométrico, en el caso de las hembras el crecimiento fue de tipo alométrico positivo y para los machos fue de tipo alométrico negativo. El factor de condición de Fulton (k) dio valores arriba de 1 durante casi todo año de estudio, lo cual indica que *P. gracilis* se encontró en buena condición gran parte del año estudiado, resultados similares fueron derivados del cálculo del factor de condición relativo (kr). Los resultados del índice hepatosomático, índice gonadosomático y el del estadio gonádico indican que *P. gracilis* se reproduce durante todo el año con una mayor incidencia a finales de la época de lluvias, durante el estudio se encontraron hembras que comenzaban con su época reproductiva a una talla de 3.3 cm de longitud total, mientras que los machos que son más precoces, a una talla de 2.5 cm de longitud total presentan en la parte distal del gonopodio una curvatura que es característico de los peces maduros que están lisos para la reproducción. *P. gracilis* es una especie superfetante sin provisión materna embrionaria (lecitotrófica).





Introducción

Los peces constituyen el grupo más numeroso de los vertebrados, los cuales representan más de la mitad de vertebrados en el mundo, aproximadamente el 12.5 % del total de especies actuales. Son considerados como vertebrados acuáticos con sistema respiratorio branquial, extremidades en forma de aletas y una gran diversidad de formas, tamaño, color, funciones ecológicas, historias de vida, especializaciones, entre otras (Lagler *et al.*, 1991). Latitudinalmente habitan en cualquier tipo de ambiente acuático tanto continental como marino; en altitudes de hasta 5200 msnm, así como en cuevas, en regiones húmedas o desérticas. Toleran amplios intervalos de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto y algunas especies son tolerantes o intolerantes a la presencia de contaminantes en el agua (Nelson, 2016).

México posee 2,763 especies de peces (Espinosa-Pérez, 2014). La fauna mexicana de peces teleósteos vivíparos es de una gran riqueza, en particular las familias Poeciliidae, Anablepidae y Godeidae, esta última endémica de México y pertenecen al orden Cyprinodontiformes. Estos organismos habitan mayoritariamente en América, con una amplia distribución de especies en México. El número de especies de estas familias registradas en México son 132; 86 de la familia Poeciliidae, 1 de la familia Anablepidae y 45 de la familia Goodeidae (Contreras-Balderas, 2004).

Los representantes de la familia Poeciliidae son peces nativos del nuevo mundo y de distribución principalmente tropical, comprenden alrededor de 190 especies, clasificadas en 22 géneros. Estos peces se distinguen por ser peces pequeños y lateralmente comprimidos que habitan cuerpos de agua dulce y salobre (Miller *et al.*, 2009). Se distribuyen desde el noreste de los Estados Unidos hasta el sur del Río de la Plata en la parte norte de Argentina, con gran diversificación taxonómica en América Central, México y las Indias Occidentales (Parenti y Rauchenberger, 1989).

Ghedotti (2000) reconoce tres subfamilias Aplocheilichthyanae, Procatopodinae y Poecilinae. La subfamilia Poeciliinae se caracteriza por la modificación de la aleta anal del





macho en un gonopodio, lo cual permite la fertilización interna (Parenti, 1981) Esta subfamilia comprende 28 géneros y aproximadamente 225 especies (Lucinda y Reis, 2005).

La subfamilia Poeciliinae es ampliamente reconocida por su importancia como peces de ornato para acuarios, algunas de las cuales son popularmente reconocidas como: guppys, peces mosquito, platis, molys, peces espada, guayacones y topotes (Lucinda y Reis, 2005).

A nivel internacional, la afición por los peces ornamentales es una industria multimillonaria y los Estados Unidos de Norteamérica han sido considerado como el mayor mercado de peces ornamentales en el mundo, ya que de 1989 a 1992, casi el 79% de estos peces fueron importados del sureste de Asia y Japón, siendo Singapur, Filipinas, Hong Kong e Indonesia las principales naciones exportadoras. En 1992, en los E.U. se importaron 201 millones de peces (valuados en \$44.7 millones USD), de los cuales 730 especies eran de agua dulce y 809 de origen marino (Martínez *et al.*, 2010). Actualmente en el estado de Morelos, México, estas especies ocupan lagos, ríos, manantiales y presas, cuyas poblaciones son abundantes (Trujillo-Jiménez y Toledo, 2007). Para que los peces introducidos puedan llegar a tener éxito en nuevos ecosistemas, deben tener la capacidad para adaptarse a los factores tanto bióticos como abióticos presentes. Los factores abióticos más importantes en la vida de los organismos son la salinidad, pH, oxígeno disponible y la temperatura. Usualmente la temperatura tiene un efecto mayor en el crecimiento de los peces y puede alterar diversos aspectos biológicos de las especies como: tasas de reproducción, tasa metabólica, alimentación y digestión, su desarrollo embrionario, larval y los tiempos de metamorfosis (Rombough, 1996).

Poeciliopsis gracilis (Heckel, 1848) es un pez pequeño de la familia Poeciliidae originario de Centroamérica y México, con distribución natural en la vertiente del Atlántico, desde un arroyo 20 km al norte de Ciudad Cardel, Veracruz y en la vertiente del Pacífico las poblaciones de este pez van desde la cuenca del río verde en Oaxaca hasta Honduras, es un pez introducido y establecido en el río Pánuco, S.L.P. y Qro., y las cuencas del río Balsas, Gro., Mich., Mor. (Mendoza, 2018; Miller *et al.*, 2009).





Es una especie ecológicamente muy tolerante, habita en aguas tranquilas de arroyos, estanques de agua de inundación, lagunas, microreservorios o bordos, lagos y represas, en aguas claras a turbias o muy fangosas (Meffe y Snelson Jr., 1989; Miller *et al.*, 2009). *P. gracilis* recientemente ha sido registrado al norte de su distribución conocida (zona de la cuenca del río Balsas en Morelos y Puebla, México) (Mejía-Mojica, 1992). A pesar de la alta demanda de *P. gracilis* como especie forrajera en México, su valor comercial es muy bajo; desde el punto de vista ecológico, existen pocas investigaciones sobre el impacto que esta especie introducida provoca en la fauna y en los hábitats nativos de diferentes países (Gómez-Márquez *et al.*, 2008). Los peces de ésta especie difieren en tamaño, las hembras son más grandes que los machos; no existe ninguna diferencias discernible en el color, aunque en las hembras parecen tener la aleta caudal más luminosa en su máximo tamaño (Miller *et al.*, 2009). A partir de diversos trabajos se han analizado estrategias reproductivas en cuanto a tamaño y número de huevos, así como el aprovisionamiento nutricional materno-embriionario de las crías que nacen en ecosistemas variados, así se puede generar conocimiento acerca de la importancia de aspectos ecológicos en la evolución de la condición de viviparidad (Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996).

La estrategia reproductiva de ésta subfamilia es la viviparidad, dentro de la cual, se ha documentado la presencia de un amplio número de especies que presentan superfetación (Miller *et al.*, 2009). La superfetación – del latín “*superfetatio*” (*Super* = arriba, encima de; *fetus*, *fetura* = fértil, fertilizar, hijos)- es la capacidad que tienen las hembras de llevar internamente y al mismo tiempo varias camadas de embriones en diferentes estadios de desarrollo (Reznick *et al.*, 2007; Zuñiga-Vega *et al.*, 2010; Roellig *et al.*, 2011). El número de crías simultáneas presentes en las hembras (es decir, el grado de superfetación) varía ampliamente entre las especies superfetantes. Por ejemplo, *Heterandria formosa* exhibe un alto grado de superfetación (las hembras pueden llevar hasta ocho crías diferentes), mientras que *Poecilia parae* exhibe un grado relativamente bajo de superfetación, ya que el número máximo de crías simultáneas es de dos (Olivera-Tlahuel *et al.*, 2016). Este atributo reproductor ha sido documentado en peces vivíparos (Reznick y Ghalambor, 2001) donde es más predominante (Scrimshaw, 1944).





Los múltiples orígenes independientes, junto con la variación interespecífica observada, sugieren que la superfecundación podría transmitir ciertas ventajas adaptativas que aún no se comprenden por completo (Zúñiga-Vega *et al.*, 2010).

Los poecilidos exhiben presencia o ausencia de provisión maternal durante el desarrollo embrionario (matrotrofia o lecitotrofia respectivamente), donde varía el número de crías con múltiples estadios de desarrollo en la misma hembra (superfecundación) (Ai-Li y Reznick, 2000). Los poecilidos retienen a los huevos después de la fertilización, si ocurre un intercambio que transfiera los nutrientes al nuevo embrión por medio de una pseudoplacenta, ocurre un proceso de matrotrofia, en cambio si estos no presentan provisión materno-embionaria, el proceso presente en ellos es la lecitotrofia (Reznick, 2001).





Antecedentes

Se han realizado diversos estudios sobre la ictiofauna presente en la República Mexicana que es rica por la gran diversidad de hábitats y por tener dentro de su territorio especies de la zona Neártica y Neotropical. Dentro de los trabajos realizados sobre la ictiofauna, son importantes y de gran relevancia los que abordan la biología reproductiva de las especies, ya que definen la permanencia en su hábitat, el equilibrio de sus poblaciones y es la base del desarrollo ontogenético evolutivo. Las comunidades de peces son particularmente efectivas como indicadores biológicos, son adecuadas para diferentes estudios, así como para el comportamiento de la fauna acuática y actúan en una gran variedad de funciones ecológicas dentro del ecosistema (Uribe *et al.*, 2005).

Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996), realizaron un trabajo sobre algunos aspectos en las estrategias reproductivas de *P. gracilis*, éste fue realizado en el río Cuautla en Morelos (México) durante un año (1991-1992) donde establecieron que ésta especie, como la mayoría de los pertenecientes a la familia Poeciliidae, presenta un muy notorio dimorfismo sexual (observó una diferencia en el tamaño corporal entre los sexos al inicio de la reproducción). La estructura poblacional de *P. gracilis* se agrupó en seis diferentes tallas, la presencia de un solo grupo modal sugirió que tiene una vida corta que dura no más de uno o dos años. A su vez, después con su muestra de 325 ovarios observados, estableció que existían seis etapas de maduración para las hembras de *P. gracilis*, donde también hubo evidencia de actividad de cría durante el año que duró su estudio.

Otro trabajo presentado para fecundidad y reproducción en una especie superfetante de la familia Poeciliidae fue realizada por Urriola *et al.* (2003), en un estudio realizado con *Poecilia reticulata*, donde la fecundidad y fertilidad están relacionadas positivamente con la longitud total de la hembra. Para determinar superfetación, período de incubación, número de partos sin presencia de macho y período de gestación en este estudio, utilizaron hembras entre 45 y 50 mm y machos entre 26 y 29 mm mantenidos en el laboratorio (estanques de cultivo monosexo). Los experimentos por triplicado, se realizaron en acuarios de 1 litro, donde se colocaron una hembra y un macho, ambos vírgenes y de talla conocida, durante 8





hrs y posteriormente se retiró el macho. Cada hembra fue usada para todo su período reproductivo y se alimentó con dieta comercial en hojuelas. Los resultados de este estudio permitieron reconocer un alto grado de oviviparismo, lecitotrofismo y superfetación, lo cual podría explicar la plasticidad de la especie a los ambientes naturales en que se encuentra en Costa Rica.

En el 2007 Zúñiga-Vega y colaboradores, en su trabajo con *Poeciliopsis turrubarensis* exploró una hipótesis de restricción morfológica comparando dos poblaciones de organismos con ambientes diferentes y encontró que en las poblaciones varía el grado de superfetación donde existe una fuerte relación entre el tipo de hábitat y el grado de superfetación dentro de las poblaciones.

Uno de los trabajos que analizan el desarrollo de la madurez en sus varias etapas en relación a las tallas de *Poeciliopsis gracilis* fue el realizado por Gómez-Márquez *et al.* (2008), quien trabajó en el lago Coatetelco, Morelos (México) analizando 1225 organismos. Por medio del índice gonadosomático (IG), el índice hepatosomático (IH) y los diversos estadios de desarrollo ovárico, reportan que las hembras viven más tiempo, suelen alcanzar tamaños más grandes que los machos, esto es posiblemente porque las hembras tardan más tiempo en madurar y seguir creciendo a través de sus vidas.

Mukherjee *et al.* (2013), plantearon un trabajo donde proponen que la depredación a organismos que presentan lecitotrofia (*Gambusia holbrooki*) y matrotrofia (*Heterandria formosa*) afecta la vida reproductiva. Este proyecto lo realizaron con estanques de tratamiento expuestos a depredadores y estanques donde *G. holbrooki* redujo su tamaño en un 43%; en cambio en *H. formosa* las hembras tenían mayor peso y tamaño. Encontraron evidencia empírica directa del estrés de depredación que afecta a la mortandad y crecimiento en los organismos que son depredados. Sus resultados sugieren que la matrotrofia, la superfetación o ambas disminuyen la sensibilidad de las madres a fluctuaciones ambientales en los niveles de recursos (alimentos) y estrés (riesgo de depredación) en comparación de la lecitotrofia. Estos mecanismos deben ser considerados tanto al modelar las consecuencias del riesgo percibido de la depredación en la relación presa-depredador y en la dinámica poblacional cuando se busca entender la evolución de los modos reproductivos.





Frías-Álvarez *et al.* (2014), trabajaron con la variación temporal y espacial en dos especies de poecilidos (*P. gracilis* y *P. infans*) relacionando la superfetación con algunos rasgos de la vida de los organismos: tamaño de la cría, masa de los embriones y la asignación reproductiva. Su objetivo fue encontrar un patrón estacional que pudiera explicar la frecuencia de la superfetación. Se obtuvieron variaciones temporales para las diferentes poblaciones de *P. gracilis* y su superfetación, pero no pudieron discernir ningún patrón claro que explicara la variación de esta superfetación en época de lluvias y en época de secas.

Frías-Álvarez *et al.* (2015) propone que la superfetación es una respuesta a las presiones selectivas que promueven una forma delgada y aerodinámica del cuerpo, tales como los necesarios en sistemas de agua de alta velocidad. La superfetación puede permitir una reducción en el tamaño del ovario y por lo tanto, mejorar la racionalización porque las hembras superfetantes llevan pocos embriones grandes en un momento dado. Se probó una hipótesis de restricción morfológica utilizando datos de varias poblaciones sobre su reproducción morfológica de dos peces vivíparos de la familia de los poecilidos (*Poeciliopsis gracilis* y *Poeciliopsis infans*) concluyendo que la superfetación no es más alta para *P. gracilis* en cuerpos de agua de alta velocidad.

Frías-Álvarez (2015) analizó una hipótesis que relaciona la reproducción con la disponibilidad alimenticia, aquí trabajó con dos especies de poecilidos (*P. gracilis* y *P. infans*) usando el índice de plenitud (es decir, cantidad de alimento ingerido) para evaluar si tienen un efecto sobre el grado de superfetación. Los resultados obtenidos, aprueban parcialmente la hipótesis ya que sólo parece haber un efecto sólo para la población de *P. infans*, porque los datos que se obtuvieron sugieren que existe una relación negativa entre el índice de plenitud y el grado de superfetación (es decir, el número de camadas simultáneas realizadas por la hembra). En el caso de *P. infans*, el índice de plenitud no tuvo un efecto significativo en el grado de superfetación. Concluyen que la superfetación no siempre está asociada a la cantidad de recursos en el entorno.

Olivera-Tlahuel *et al.* (2015), trabajó con 44 especies de peces vivíparos de la familia Poeciliidae y probó dos hipótesis: una donde las especies con superfetación y matrotrofia moderada o extensa, al dar a luz a la progenie, ésta es más grande en comparación con las





especies sin superfetación o matrotrofia y dos, las especies con grados más altos de superfetación y matrotrofia (es decir, con mayor número de crías simultáneas y mayor cantidad de almacenaje de esperma posterior a la fertilización) dan nacimiento a descendientes más grandes comparados con especies con niveles relativamente bajos de superfetación y matrotrofia (es decir, menor número de crías simultáneas y menor cantidad de almacenaje post-fertilización). Concluyen que no hay relación evolutiva entre el tamaño de su descendencia y la superfetación o matrotrofia, negando así sus dos hipótesis planteadas.

Diagnosis de la especie

El género *Poeciliopsis* es un miembro de la Subfamilia *Poeciliinae*, el cual se encuentra clasificado dentro de la tribu Poeciliini, integrada por alrededor de 190 especies (Nelson, 2016).

Dominio: EUKARYA

Reino: ANIMALIA

Phylum: CHORDATA

Clase: ACTINOPTERYGII

Orden: CYPRINODONTIFORMES

Familia: POECILIIDAE

Género: *Poeciliopsis*

Especie: *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848)

Sinónimos: *Xiphophorus gracilis* Heckel, 1848; *Gambusia heckeli* Bleeker, 1860;
Priapichthys letonai Hildebrand, 1925

Nombre Común: Guatapote jarocho

Distribución:

Es una especie nativa de la vertiente del Atlántico y de la vertiente del pacífico, es especie introducida en el río Pánuco y en las cuencas del río Balsas (Miller *et al.*, 2009; Mendoza, 2018).





Ecosistema: se encuentra en agua clara a lodosas; corriente nula a moderada; sustrato de arcilla, lodo, arena, grava, rocas; vegetación nula a rala (Meffe y Snelson Jr., 1989; Miller *et al.*, 2009)

Hábitat acuático (RAMSAR): Ríos/arroyos permanentes; lagos permanentes de agua dulce; estanques de acuicultura; estanques artificiales.

Características del agua: intervalo de pH 6.5 - 7.8; temperatura ideal del agua entre 24 y 28°C, puede encontrarse en ambientes con altas cargas de nutrimentos (Miller *et al.*, 2009).

Biología: Se encuentra en los ríos grandes, de gradiente bajo, se les ve en cardúmenes a lo largo de la orilla, en agua muy somera, aunque los adultos de mayor tamaño prefieren aguas más profundas. Se han capturado juveniles de 7-10 mm LT de finales de diciembre a principios de marzo; la reproducción podría tener lugar durante buena parte del año en hábitat favorables. Máxima LP conocida, 73 mm (Miller *et al.*, 2009).

Preguntas de investigación

¿Es *Poeciliopsis gracilis* una especie que presenta superfetación?

¿El grado de superfetación aumenta en el periodo de lluvias?

¿Esta superfetación aumenta en escenarios poco favorables de condiciones ambientales?

¿*P. gracilis* es una especie matrotrófica?





Justificación

El estudio de la fauna ictiológica es indispensable debido a que conforma un grupo de gran importancia, tanto en el aspecto económico del cual se obtiene alimento de alta calidad proteica, como en el aspecto ecológico, por la importancia del papel que juegan en los ecosistemas acuáticos (bioindicadores que participan activamente en el control de plagas), así como en la transformación, almacenamiento, regulación, conducción y transferencia de energía (Yáñez-Arancibia y Nugent, 1977). Para el estudio de la biología reproductiva de *Poeciliopsis gracilis* se tienen muy pocos datos bajo condiciones naturales, la mayoría de estudios sobre *P. gracilis* son de laboratorio. La justificación de este trabajo es poder describir y evaluar la biología reproductiva y las estrategias del guatapote jarocho en condiciones naturales en el bordo Amate Amarillo, Morelos.

Hipótesis

Se han revisado estudios que proponen que la reproducción de *P. gracilis* se ve promovida bajo condiciones favorables en un sistema acuático y que la superfetación en algunas especies tiene relación directa con los recursos disponibles en el sistema. Con base en lo anterior, en el borde Amate Amarillo durante todo el año se podrán encontrar hembras de *P. gracilis* superfetantes, con aprovisionamiento nutricional matrotrofico durante la época de lluvias, ya que las condiciones del sistema van a cambiar al disminuir la profundidad de bordo, provocando que los organismos hagan uso de sus estrategias reproductivas.





Objetivos

- Reconocer la época reproductiva de *Poeciliopsis gracilis* y los diferentes estadios de desarrollo, así como la presencia de superfetación.

Objetivos particulares

- Determinar la proporción de sexos y la estructura de la población por medio de frecuencia de tallas mensual durante el ciclo anual.
- Obtener la relación peso-longitud para la especie para cada uno de los sexos.
- Utilizar diferentes indicadores morfofisiológicos para determinar el estatus reproductivo de la especie
 - índice hepatosomático (IHS)
 - índice gonadosomático (IGS)
 - factor de condición (k)
- Determinar las diferentes fases de madurez gonádica durante todo el estudio.
- Determinar la primera talla de madurez sexual en la población
- Analizar la presencia de varios estadios de desarrollo embrionario como indicador de superfetación de manera mensual
- Determinar el índice de fertilidad (F)
- Establecer las relaciones Fecundidad-Longitud y Fecundidad-Peso de la especie
- Calcular el índice de matotrofia para establecer si la especie es matotrófica o lecitotrófica.





Zona de estudio

El estado de Morelos se localiza en la parte central de la República Mexicana, dentro de dos provincias geológicas y fisiográficas: la del eje Neovolcánico y la de la Sierra Madre del Sur. Esta última en la porción de la cuenca del río Balsas-Mezcala.

La superficie del estado es de aproximadamente 4958 km². Representa el 0.3% del territorio Nacional (INEGI, 2009). El microembalse Amate Amarillo se encuentra en el municipio de Ayala, Morelos entre los 18° 34' y 18° 50' latitud norte y 98° 50' y 99° 06' longitud oeste, entre los 900 y 1800 m.s.n.m. El Bordo “Amate Amarillo” (Figura 3) se encuentra a los 1220 m.s.n.m., es un bordo de tipo permanente con 7.2 Ha de superficie y con un volumen de 126 550 m³ (Gómez-Márquez *et al.* 2009; Rivera y Hernández, 2011).



Figura 1. Mapa del municipio de Ayala, Morelos (Tomado INEGI 2009).

El clima que predomina en esta zona es cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw” (w)(i´) g), con una precipitación anual de 800-1000 mm y temperatura media anual de 22 a 26°C (García, 2004). En este clima se distribuye la vegetación selva baja caducifolia y planicies con pastizales.





Figura 2. Fotografía satelital del bordo Amate Amarillo, ubicado en el estado de Morelos
(Tomado de Google earth, 2017)

El bordo está ubicado en la región hidrográfica del Balsas y la cuenca en la que se encuentra pertenece al río Amacuzac y la subcuenca Río Cuautla, Río Yautepec y Río Bajo Amacuzac.

Entre los suelos dominantes en ésta área se encuentran el Vertisol (34.55%), Leptosol (33.45%), Kastañozem (12.15%), Phaeozem (10.03%), Chernozem (4.8%) y Regosol (1.28%). EL principal uso del suelo es la agricultura con un 60.36% y la zona Urbana de 3.67%.

Las rocas más importantes de esta provincia son: Sedimentaria: arenisca-conglomerado (20.72%), caliza (19.8%), conglomerado (18.29%) e ígnea extrusiva: andesita-toba intermedia (8.11%), toba ácida (4.85%), toba básica brecha volcánica básica (1.75%), volcano clástico (0.62%) y brecha volcánica básica (0.29%); ígnea intrusiva: pórfido andesítico (0.49%); Metamórfica (1.32%) Suelo aluvial (17.63%) (INEGI 2009).

La vegetación asociada es selva subtropical baja caducifolia (*Acacia cymbispina*, *Bursera morelensis*, *Ipomoea murucoides*, *Haematoxylon brasiletto* y *Lysiloma acapulcense*) (29.66%) y pastizal (*Anstida adscensioms Muhlenbergia sp.* y *Bouteloua fihformis*) (6.24%) (INEGI, 2009). La fauna también es muy variada: en el municipio se puede encontrar mapache (*Procyon lotor*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), zorrillo (*Mephitis macroura*),





armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tlacuache (*Tlacuatzin canescens*), coyote (*Canis latrans*), zopilote (*Coragyps atratus*), lechuza (*Tyto alba*). Entre los peces se cuenta con pez cola de espada (*Xiphophorus helleri*) y Mollys (*Poecilia* sp.) y mojarra (*Oreochromis niloticus*) (INAFED, 2016).

Con respecto a la calidad del agua del cuerpo acuático en cuestión, en la tabla 1 se puede apreciar el intervalo, así como el promedio para cada variable analizada.

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos de Amate Amarillo (tomados de Palomo, 2016)

Parámetros del agua	Máximo	Promedio	Mínimo
Temperatura (°C)	28.2	25	22
Profundidad (m)	3.07	1.97	0.87
Transparencia (cm)	0.5	0.37	0.25
Oxígeno disuelto (ppm)	17.74	10.88	4.03
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	233	128	22
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	718	509	301
pH	8.74	8.14	7.54
Nitratos (mg/L)	0.518	0.289	0.059
Amonio (mg/L)	0.816	0.463	0.111
Fósforo total (mg/L)	1.245	0.706	0.166
Sulfatos (mg/L)	161	89	17
Dureza cálcica (mg/L)	536	325	114
Sólidos totales (ppm)	1.93	1.02	0.11
Sólidos totales disueltos (ppm)	1443	950.87	458.75
Índice de estado trófico	83	78	73





Materiales y Métodos

Fase de campo

Una vez en el bordo Amate Amarillo, se georreferenció el sistema acuático por medio de un GPS (Global Positioning System) y a su vez se tomó a temperatura ambiental con un termómetro de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión, la hora del día y la nubosidad; la toma de las muestras de agua se realizaron en una estación cerca de la compuerta, (que es el sitio de mayor profundidad y el lugar donde se capturaron los organismos), con la botella Van Dorn de dos litros de capacidad a diferentes profundidades (0.30 m la muestra inicial y después cada metro de profundidad), las cuales fueron vertidas en botellas de polietileno de un litro de capacidad. Las muestras se conservaron a 4°C hasta su posterior análisis en el laboratorio. Se registró la transparencia (visibilidad) con el disco de Secchi.

1.1. En campo (*in situ*)

Se realizaron determinaciones *in situ* para reconocer el estado trófico del sistema: oxígeno disuelto el cual se midió con un oxímetro marca Hanna Modelo HI9146. El pH, sólidos disueltos y conductividad se registraron con un multiparámetros marca Hanna Modelo HI991300. Se realizaron las técnicas para alcalinidad total por el método de indicadores y la técnica de dureza total con el método complejométrico utilizando una solución de EDTA (Gómez-Márquez *et al.*, 2014).

1.2. Captura de los organismos

Para la captura de los peces se efectuaron muestreos cada mes de Marzo del 2017 a Febrero del 2018 en el bordo Amate Amarillo, con un chinchorro de 10x1 metro, con luz de malla de 0.005m en la zona de la compuerta y en varios sitios de la zona litoral del bordo. Una vez capturados los organismos, se sumergieron en una solución de esencia de clavo a una concentración de 20 a 40 ppm para adormecer a los peces (García-Gómez *et al.*, 2002). Posteriormente, los organismos se fijaron con formol al 10% y fueron transportados en envases de polipropileno para su posterior análisis en el laboratorio.





Fase de laboratorio

2.1 Determinación de clorofila “a”

Este método se evaluó por medio de la técnica propuesta por Lind (1979) y Wetzel y Likens (2000). Este método consiste en filtrar entre 150 y 200 mL de la muestra de agua (dependiendo de la cantidad de sólidos suspendidos) con un filtro millipore de 0.45 μm de diámetro al vacío, el cual se coloca en un tubo para centrífuga y se le adiciona acetona al 90% (de 2 a 3 mL) para poder macerar; una vez macerado se le adiciona el volumen necesario para llegar a 10 ml. Se coloca en la oscuridad por 24 horas a temperatura ambiente y después se centrifuga a 4000 rpm durante 10 minutos. Una vez pasados los 10 minutos, se extrae el sobrenadante con una pipeta Pasteur y se coloca en una celda de cristal para su lectura el espectrofotómetro a longitudes de 750 nm, 665 nm, 645 nm y 630 nm que son las máxima absorbancia de la clorofila “a”.

Para obtener la concentración de clorofilas en $\mu\text{g/L}$ se le aplicó la siguiente ecuación:

$$\text{Clorofila } a [\text{Chlor } a] = 11.64 E_{665} - 2.16 E_{645} + 0.10 E_{630}$$

Se restó la extracción a 750 nm de las extracciones a 665, 645, 630: el valor se multiplicó por el volumen de la extracción en ml y se divide por el volumen de agua en litros (Contreras, 1994).

2.1.1 Técnica de fósforo total

Debido a que el fósforo puede estar presente en combinación con la materia orgánica, es necesario para determinar el fósforo total, preparar la muestra mediante un método de digestión capaz de oxidar la materia orgánica efectivamente, para liberar el fósforo como ortofosfato, El método que se utilizó para la cuantificación fue el de fosfomolibdato con digestión ácida, una vez hecha la digestión, se realizó la técnica de cloruro estanoso como agente reductor para la cuantificación de Fósforo total (Gómez-Márquez *et al.*, 2014).





2.1.2. Cálculo del Índice de Carlson (1977)

Para el cálculo del índice del estado trófico (TSI) por sus siglas en inglés (Trophic State Index) se debieron tomar en cuenta los datos obtenidos de la transparencia determinada con el disco de Secchi (DS), los valores obtenidos de la concentración de clorofila “a” (Clor “a”) y la concentración de fósforo total (Pt). Los valores resultantes de este índice varían entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrófico (Moreno *et al.*, 2010)

Con los valores obtenidos de la visibilidad a disco de Secchi y los parámetros anteriores, se aplicaron las siguientes fórmulas para la obtención del TSI según Moreno *et al.*, (2010).

Tabla 2. Fórmulas para estimar el estado trófico en los cuerpos de agua.

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977;1980)
Claridad del agua (D_s) (m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14.41 \ln(D_s)$
Fósforo total (P_t) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14.42 \ln(P_t)$
Clorofila a [<i>Chlor a</i>] (mg/l)	$TSI_{[Chlor a]} = 9.81 \ln [Chlor a] + 30.6$

Los valores de TSI para un sistema oligotrófico son $TSI < 30$, para un sistema mesotrófico $30 < TSI < 60$, en un sistema eutrófico los valores van $60 < TSI < 90$ y en sistemas hipereutrófico los valores son mayores de 90 (Moreno *et al.*, 2010).

2.2 Biometría de los organismos

Una vez en el laboratorio, habiendo procesado ya las muestras de agua y antes de proceder a realizar la disección de los organismos, se debieron realizar las biometrías de los mismos para los análisis posteriores; se consideraron la longitud total (LT), longitud patrón (LP) y altura (A), los cuales fueron obtenidos con un ictiometro de 0.001mm de precisión; también





se tomó el peso total (PT) peso eviscerado (PE) peso del hígado (PH) y peso de las gónadas (PG) con ayuda de una balanza analítica de 0.0001g de precisión.

Ya que la especie presenta dimorfismo sexual bien diferenciado, resultó más fácil identificar a las hembras, debido a que poseen un tamaño más grande que los machos; mismos que además de tener un tamaño más pequeño, presentan un gonopodio (estructura utilizada para la reproducción) (Figura 3).

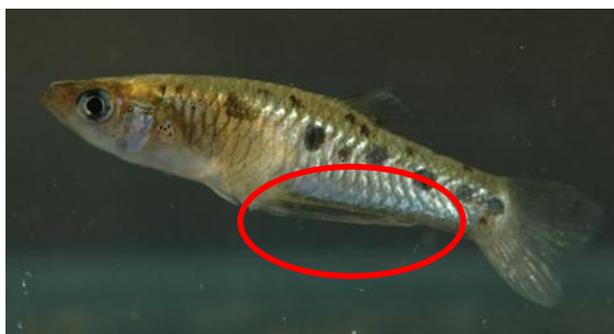


Figura 3. Gonopodio en machos *Poeciliopsis gracilis*

Para poder determinar el sexo y la madurez gonádica de la especie, para las hembras se consideró la clasificación de madurez gonádica (Tabla 3) propuesta por Contreras MacBeath y Ramírez-Espinosa (1996), y para los machos, se consideraron como especímenes aptos para la reproducción (maduros) los que en su gonopodio tenían completamente formado el gancho final del mismo (Gómez-Márquez *et al.*, 2008).

2.3 Desarrollo ovárico

Para determinar el desarrollo ovárico, se realizó un corte ventral desde la abertura anal hasta la cintura escapular para dejar al descubierto las gónadas, las cuales fueron medidas y pesadas cada una con una balanza analítica. Se observaron las gónadas al estereoscopio y se determinó el estadio ovárico apoyándose en las características propuestas por Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996) (Tabla 3).





Tabla 3. Fases de desarrollo sexual para hembras de *P. gracilis* (tomado de Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996)

Estadios de ovarios	Características observables
Estadio I (ovarios no maduros)	El ovario posee paredes externas y dobleces internos, los ovocitos se ensamblan densamente en la mitad anterior de la gónada.
Estadio II (ovarios en reposo)	El ovario presenta madurez pero no contiene ovocitos jóvenes, la pared externa de los dobleces son muy gruesos, los ovocitos varían de tamaño.
Estadio III (ovarios con óvulos crecientes)	Todos los óvulos se encuentran en un folículo encajado a los tejidos ováricos, aquí se nota un crecimiento en el tamaño de estos y poseen un forma más redondeada
Estadio IV (ovarios con óvulos libres)	Los óvulos se incluyen dentro de la membrana del folículo y siguen creciendo en espiral del vitelo, como masa alrededor de las membranas y se enderezan hacia afuera
Estadio V (ovarios con alevines)	Se incluyen huevos bien desarrollados
Estadio VI (ovarios <i>post-partum</i>)	Después del nacimiento de los alevines los ovarios poseen paredes delgadas y flácidas, los dobleces son gruesos e hinchados y hay pocos huevos visibles

2.4 Grado de superfecundación

Para determinar el grado de superfecundación de *Poeciliopsis gracilis* y el estadio embrionario de cada ovocito y embrión, se consideró la clasificación propuesta por Haynes (1995) en la cual se consideran 10 estadios embrionarios. Al hacer la disección de hembras preñadas, se realizaron conteos de ovocitos, óvulos y embriones y a su vez se determinó cual era el estadio de desarrollo que presentaban.

Una vez pesados, medidos y clasificados los embriones y huevos (a partir del estadio IV) se colocaron en la estufa a 55°C durante 48h para calcular el índice de matrotrofia, por diferencia de pesos que establece que valores inferiores a 1 ($IM < 1$) corresponden a especies





Lecitotróficas, mientras que los valores superiores a 1 corresponden a especies matrotroficas (Reznick *et al.*, 2002, 2007). Este análisis se realizó mes con mes para poder establecer su época reproductiva.

Fase de gabinete:

3.1 Estructura de tallas

Para determinar la estructura de tallas de la población, se realizó un histograma de distribución de frecuencia de tallas, en el cual se pudiesen identificar el número de modas (clases de talla) que hacen inferencia en el reclutamiento de organismos. Para realizar el cálculo de intervalos de tallas que hay en la población, se utilizó la regla de Sturges (Daniel, 2002). Para conocer el tamaño del intervalo que propone la siguiente expresión:

$$C = \frac{R}{1 + 3.322 \log N}$$

Donde C es el número de clases, R es el rango intercuartilico y N el número total de individuos.

3.2 Proporción sexual

Para determinar la proporción de sexos de manera mensual y total se realizó la prueba estadística de distribución Chi-cuadrada (χ^2 ; $P < 0.05$) a la cual se le aplicó la corrección de Yates (Zar, 1974).

$$\chi^2 = \sum \frac{(|\text{observada} - \text{teórica}| - 0.5)^2}{\text{teórica}}$$





3.3 Relación peso-longitud

Antes de realizar este análisis, se aplicó el Análisis de Covarianza (AC) para determinar si existían diferencias entre la talla y el peso entre los sexos y en el caso de que hubiera diferencias entonces se realizarían la relación peso-longitud por sexo, en este estudio se determinaron diferencias significativas entre sexos, por lo cual se aplicó la relación por sexos, sí como para la población total.

La relación Peso-Longitud se estableció mediante la ecuación de tipo potencial:

$$P = aL^b$$

Donde P es el peso del individuo en gramos; L es la longitud del organismo en cm; a y b son constantes las cuales se estiman mediante análisis de regresión lineal. Esta ecuación puede transformarse en forma lineal mediante el uso de logaritmos (base 10) donde b es una constante que determina la proporcionalidad de los incrementos de la longitud con respecto al peso (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

$$\text{Log } P = \text{log } a + b \text{ log } L$$

Debido a que la longitud es una magnitud lineal y el peso es igual al cubo de la talla, si un individuo mantiene su forma al crecer, entonces el crecimiento es isométrico ($b=3$). Cuando $b>3$, los individuos de mayor talla han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud y presentan crecimiento de tipo alométrico positivo. En cambio, cuando $b<3$, los individuos incrementan preferencialmente su talla más que su peso, lo cual indica que es un crecimiento alométrico negativo y esto mayoritariamente ocurre en organismos de tallas pequeñas que preferentemente crecen más antes de poder ganar peso (Cifuentes *et al.*, 2012).

Para determinar si había diferencias significativas del valor isométrico en la relación, se aplicó la prueba de t-student después de realizar el análisis de regresión lineal (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).





3.4 Factor de condición

Para el obtener los valores del factor de condición (K) mediante el índice de Fulton (Ricker, 1975) se aplicó la siguiente ecuación:

$$K=100 (P/L^3)$$

Donde *P* es el peso corporal húmedo en gramos y *L* la longitud en cm (Gómez-Márquez *et al.* 2016).

Se analizó la variación anual de *K* mediante una prueba de análisis de varianza no paramétrica (Kruskal-Wallis).

3.5 Índice Hepatosomático

El índice hepatosomático (IHS), compara el peso del hígado en relación al peso eviscerado de las hembras. El índice hepatosomático decae antes del proceso reproductivo mientras que el IGS alcanza un valor máximo, lo cual es un indicador de la puesta (Rodríguez, 1992). Para calcular el IHS se utilizó la siguiente ecuación:

$$IHS= 100*(PH/Pe)$$

Donde PH es el peso del hígado de las hembras y Pe es el peso eviscerado del organismo.

3.6 Índice Gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) se realizó comparando el peso de las gónadas (PG) con el peso eviscerado de las hembras (Pe):

$$IG=100*(PG/Pe)$$

(Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).





3.7 Talla de primera madurez sexual

La primera madurez se emplea para designar cuando el pez está en condiciones óptimas para reproducirse por primera vez. Para el caso de los peces vivíparos para poder considerar la primera talla de madurez sexual se tomó en cuenta la presencia de ovocitos maduros en la gónada (a partir del estadio de madurez III).

Para estimar la proporción de individuos sexualmente maduros en relación a la longitud, es posible utilizar una curva logística, la cual puede ser expresada de la siguiente manera (Echeverría, 1987).

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-r(L-L_m)]}$$

Donde r es la pendiente de la curva y L_m es la longitud media a la madurez sexual o a la longitud a la cual corresponde una proporción de 0.5 en condición reproductiva (King, 2007; Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

Para el caso de los machos, se consideró como maduros a aquellos que poseían una estructura gonopodial completamente formada (Gómez-Márquez *et al.*, 2008).

3.8 Fecundidad-Longitud

La fecundidad la cual es el potencial reproductivo de la especie, se considera como el número total de óvulos liberados por las hembras de todas las poblaciones de la especie en su vida reproductiva (en peces vivíparos es el número total óvulos más el número de embriones o crías liberadas en el agua) (Cabrera y Solano, 1995; Gómez-Márquez *et al.*, 2016). Se realizó el conteo de óvulos y ovocitos del estadio 1 a 3 (de acuerdo a la clave sugerida por Haynes (1995), de huevos (estadio 4) y de embriones (estadio 5-10).

Para establecer la relación entre la fecundidad “F” (número de óvulos) y la longitud (Urriola *et al.*, 2003), se graficaron como un diagrama de dispersión cumpliendo la siguiente relación:

$$F = aL^b$$





Donde F es la fecundidad del pez; L es la longitud del pez; a y b son constantes derivadas de los datos.

Si se toman logaritmos en ambos lados de la ecuación con lo que se realiza una transformación logarítmica de las variables, entonces se permite el análisis de regresión lineal de la siguiente manera:

$$\log F = \log a + b \log L$$

Para b= los datos oscilan entre 2 y 5 (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

3.8.1 Fecundidad-Peso

En una gran mayoría de peces el peso somático cambia significativamente hacia el desove (Gómez-Márquez *et al.*, 2016). Cuando esto ocurre, la relación Fecundidad-Peso es poca o inexistente:

$$F = aP + b$$

Donde F es la fecundidad del pez; P es el peso total del pez; a y b son constantes derivadas de los datos.

3.9 Fertilidad

Para el cálculo de la fertilidad (F) se realizó el conteo de número de huevos (Nh) y número de embriones (Ne), de los estadios 4 al 10 (Cabrera y Solano, 1995), cumpliendo con la siguiente ecuación:

$$F = Ne + Nh$$

3.10 Índice de Matrotrofia

Para el cálculo del índice de matrotrofia, una vez pasadas las 48 h en la estufa se pesaron los embriones en una balanza analítica de 0.0001g de precisión. Se obtuvo el promedio de peso de los embriones y de los huevos desde el estadio 4 (huevos fecundados) al estadio 10





(embrión listo para eclosionar) propuestos por Haynes (1995). Con estos datos se realizó un análisis de regresión lineal entre el peso seco de los embriones y el estadio de desarrollo de cada uno (Molina, 2014). Se obtuvo el cálculo del índice de matrotrofia (IM) mediante la división del peso seco de los embriones en estadio 10 entre el peso seco del huevo al momento de la fertilización (estadio 4) obtenidos del análisis de la regresión de la siguiente manera:

$$IM = P_f / P_i$$

Donde P_i es el peso para el estadio 4, P_f es el peso para el estadio 10 (Reznick *et al.*, 2002; 2007).

El valor del IM en especies lecitotróficas tienen un valor cercano a 0.6 o 0.7 lo cual se debe a la pérdida de masa durante el desarrollo debido al costo metabólico. En cambio, el valor del IM en especies matrotroficas se encuentra en un rango cercano a 1 ó superior, lo cual indica provisión materna que cubre el costo metabólico durante el desarrollo, con un incremento de masa hacia el final del desarrollo embrionario (Reznick *et al.*, 2002; 2007).

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando la hoja de cálculo del programa Excel de Microsoft Office, 2013[®].





Resultados

Se tomaron muestras mensuales de marzo del 2017 a febrero 2018, con la finalidad de conocer la época reproductiva de *P. gracilis* en un ciclo anual, además de las condiciones de calidad de agua que llegaran a afectar el estado óptimo de la especie.

Calidad del agua

De acuerdo con el estudio realizado durante un ciclo, el bordo Amate Amarillo es un sistema artificial somero con una profundidad máxima (Z_m) de 4 metros a su máximo volumen y un área superficial de 7.2 ha de superficie, que corresponde a los meses con mayor precipitación pluvial (julio-octubre). La profundidad máxima del sistema se registró en el mes de septiembre (4.1 m). La profundidad mínima correspondió al mes de marzo con 1.00 m.

Durante el año que duró el estudio (marzo-2017 a febrero-2018), la temperatura ambiental para el bordo osciló entre los 25°C (diciembre) y los 36.6°C (junio). La temperatura del agua osciló entre los 25°C (octubre) y los 17°C (diciembre) que es la época de secas frías (Figura 4), en estas temperaturas se registró la presencia de *P. gracilis*, sin encontrar un mes en el cual la abundancia de la especie bajara.



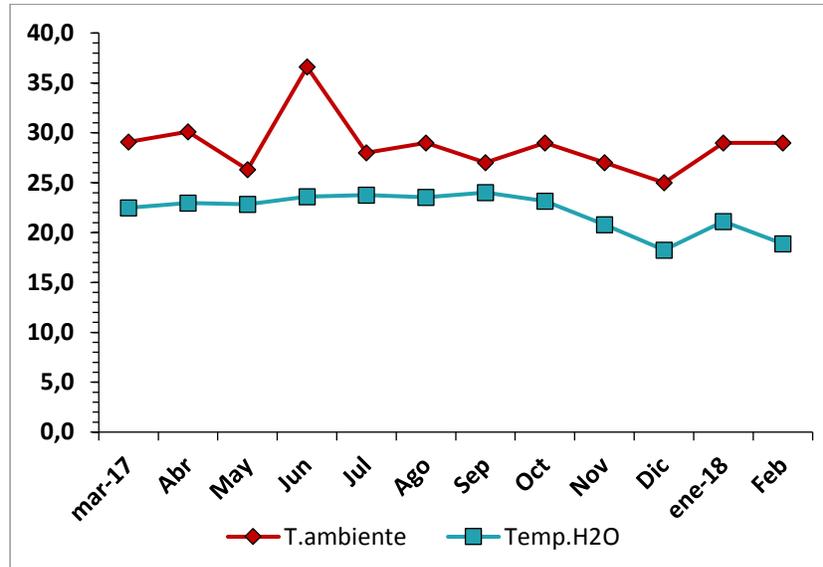


Figura 4. Variación temporal de la temperatura ambiental y del agua del sistema

Amate Amarillo.

Para el oxígeno disuelto (Figura 5A) se registró un promedio de 7.6 mg/L durante Junio se registró el valor más bajo de la concentración de oxígeno disuelto (1.0 mg/L) y el máximo en Noviembre con 16.77 mg/L. Para la temperatura del sistema (Figura 5B) se puede apreciar un comportamiento gráfico que indica alrededor de las 13:00 hrs (tiempo aproximado en el que se tomaban las muestras) el sistema estaba en mezcla.



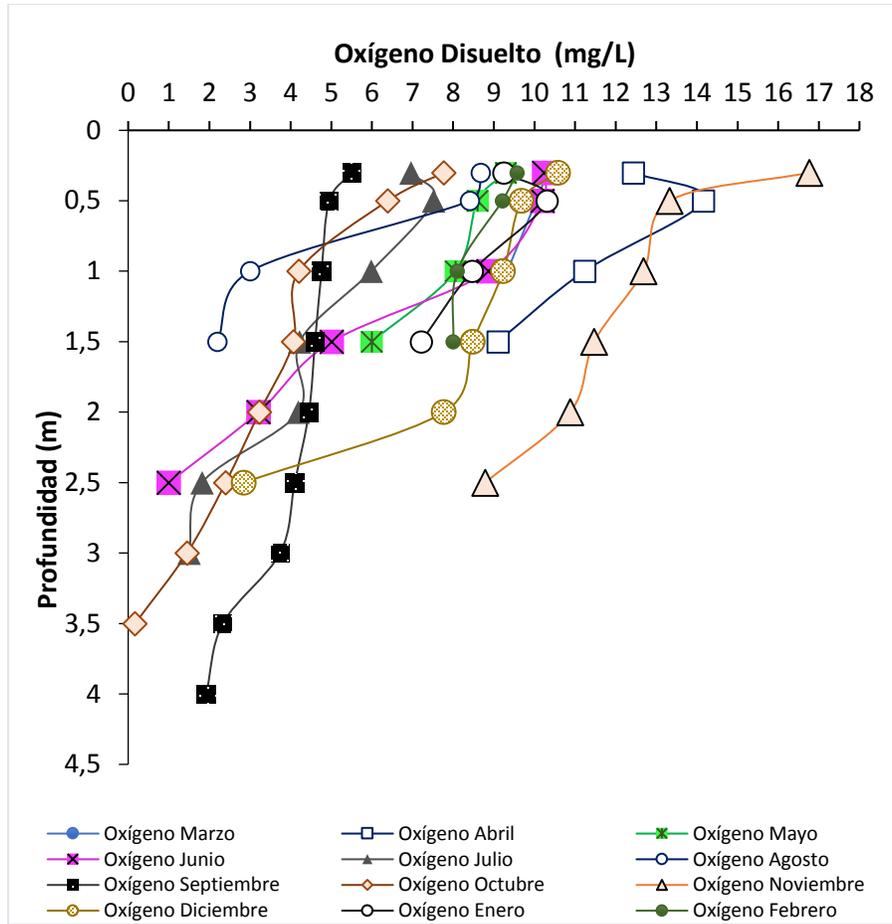


Figura 5A. Perfil anual de Oxígeno disuelto en el agua del bordo Amate Amarillo, Mor.



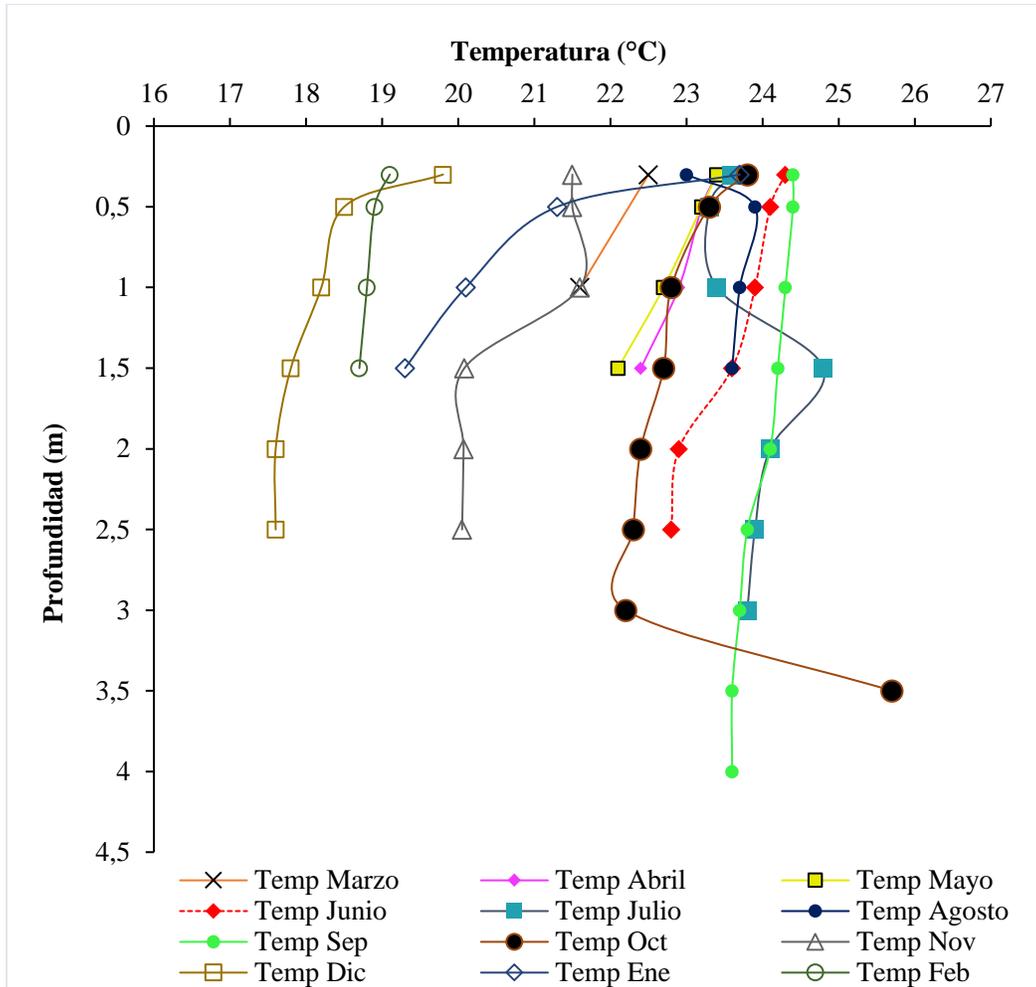


Figura 5B. Perfil del ciclo anual de temperatura del agua para el bordo Amate Amarillo, Mor.

La relación entre la profundidad y la visibilidad al disco de Secchi fue directamente proporcional, a mayor profundidad mayor es la visibilidad al disco de Secchi, en cuanto el sistema comienza a concentrarse y la profundidad disminuye, la visibilidad también se ve reducida por la concentración de los sólidos suspendidos totales. En la figura 6 se puede observar que durante los meses correspondientes a la época de lluvias se registró la mayor profundidad (septiembre) y la mayor visibilidad se reportó en octubre, la menor profundidad





se registró en marzo, mientras que el mes donde se reportó la menor visibilidad fue durante agosto.

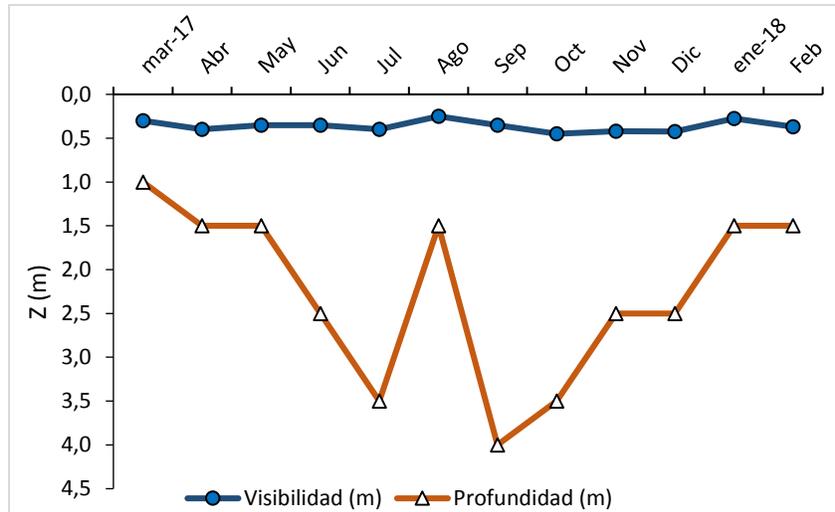


Figura 6. Relación entre la profundidad y la visibilidad al Disco de Secchi durante el año de estudio

Las aguas del sistema acuático en estudio fueron de duras a muy duras y productivas durante el año de estudio (Figura 7), el promedio de carbonatos y bicarbonatos registrados para la alcalinidad total fue de 217 mg CaCO₃/L, registrando el valor máximo en enero (288 mg CaCO₃/L) y el valor mínimo en noviembre (164 mg CaCO₃/L). En cambio, los valores de dureza total que se detectaron en el agua estuvieron en el intervalo de 285 mg CaCO₃/L en abril a 121 mg CaCO₃/L en diciembre mientras que el pH se mantuvo en un intervalo de 7.6 (Julio) en época de lluvias a 9.14 (febrero) en la época de secas frías.



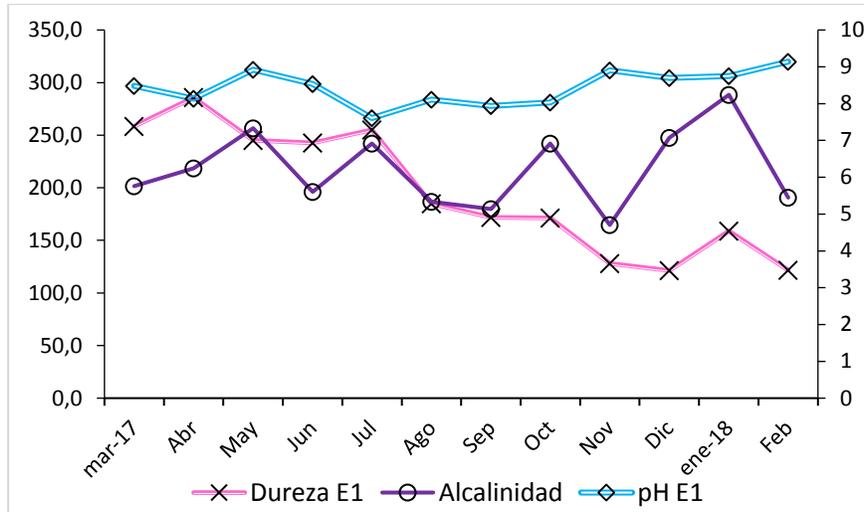


Figura 7. Fluctuación temporal de la alcalinidad y dureza total para el agua del bordo Amate Amarillo

El índice del estado trófico que resultó del cálculo utilizando las variables de visibilidad al disco de Secchi, clorofila “a” y de fósforo total del agua del sistema, indica que efectivamente es un sistema de agua productivo con un valor promedio de 83.2 o sea hipereutrófico, aunque ciertos meses se comportó como eutrófico (Figura 8), con un valor máximo durante el mes de Diciembre y el mínimo en Noviembre.

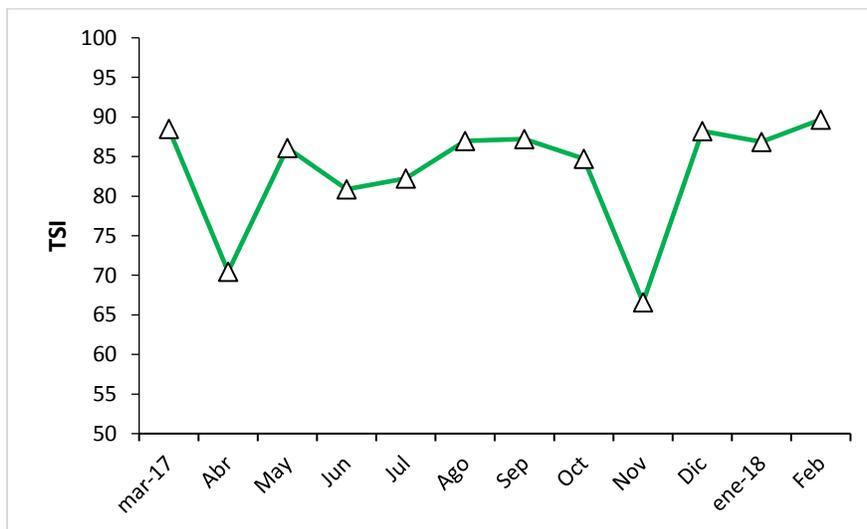


Figura 8. Variación de índice del estado trófico (TSI) para el bordo Amate Amarillo





Proporción sexual

El total de peces recolectados durante el estudio fue de 531, de los cuales 339 fueron hembras (63.8%) y 105 (19.7%) machos; los organismos indeterminados (crías y organismos inmaduros) fueron 87 (16.3%). Por lo tanto, la proporción sexual hembra:macho es de 3 a 1 ($\chi^2=4.633$; $p<0.05$), que durante todo el estudio favoreció a las hembras excepto en los meses de marzo y diciembre (Figura 9).

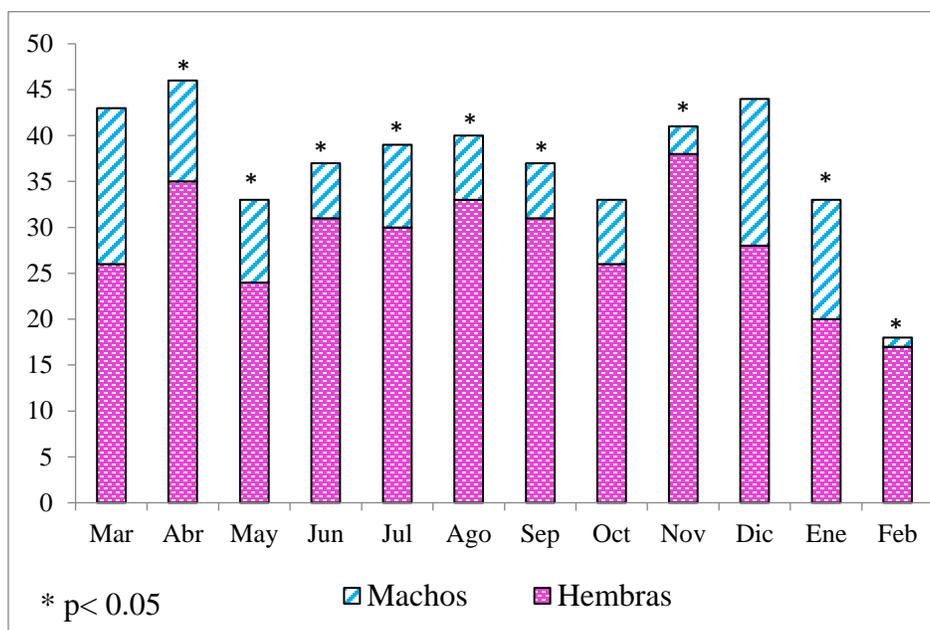


Figura 9. Proporción sexual hembras:machos para la población *P. gracilis*

Frecuencia de tallas

Las tallas de los organismos capturados oscilaron entre 1.1 cm (mínima) hasta 6.9 cm (máxima) de longitud total (Figura 10) pasando por 10 clases de talla. Las hembras son las que presentaron las tallas más grandes (6.9 cm), mientras que los machos presentan tallas de chicas a medianas (2.3 cm a 5.1 cm); en el caso de los organismos indeterminados, la mayoría se registró en tallas no mayores de 3.5 cm de longitud total.



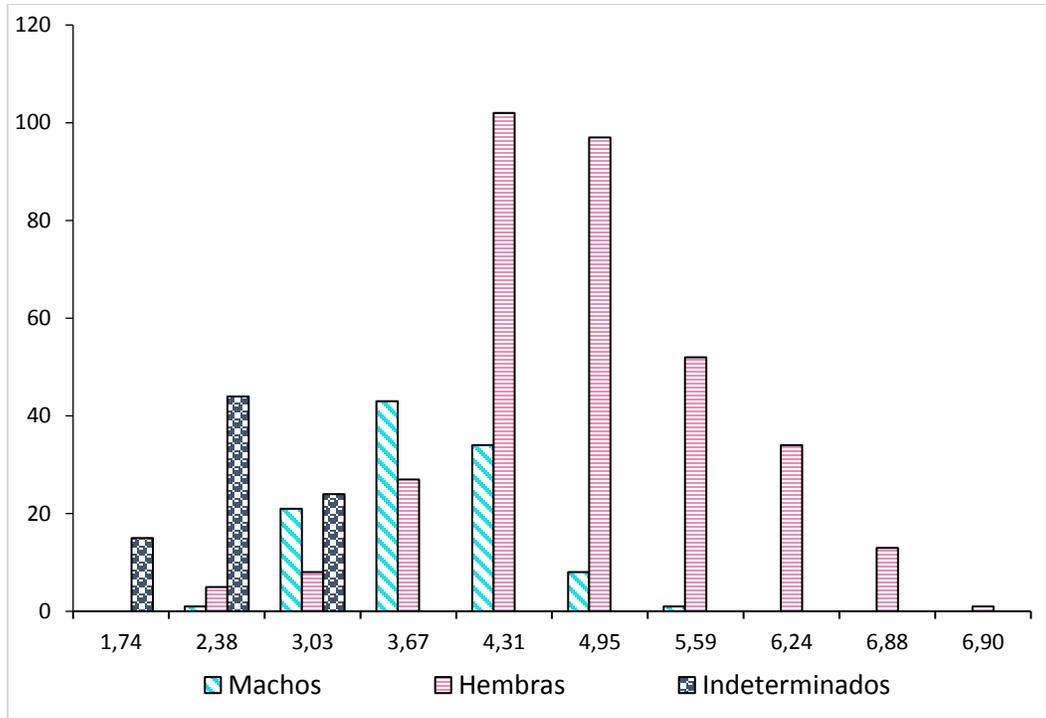


Figura 10. Distribución de frecuencia de tallas para *P. gracilis*

El peso máximo para hembras fue de 4.15 g, para los machos el peso fue de 1.64 g.

Relación Peso-Longitud

La relación entre el peso y la longitud se expresó en un modelo tipo potencial, donde el valor de la pendiente (b) indicó el tipo de crecimiento para la población total de *P. gracilis*, tuvo un valor de $b=3.09$ con un $r=0.98182$ ($p<0.05$), lo cual indica que hay un tipo de crecimiento alométrico positivo (Figura 11).



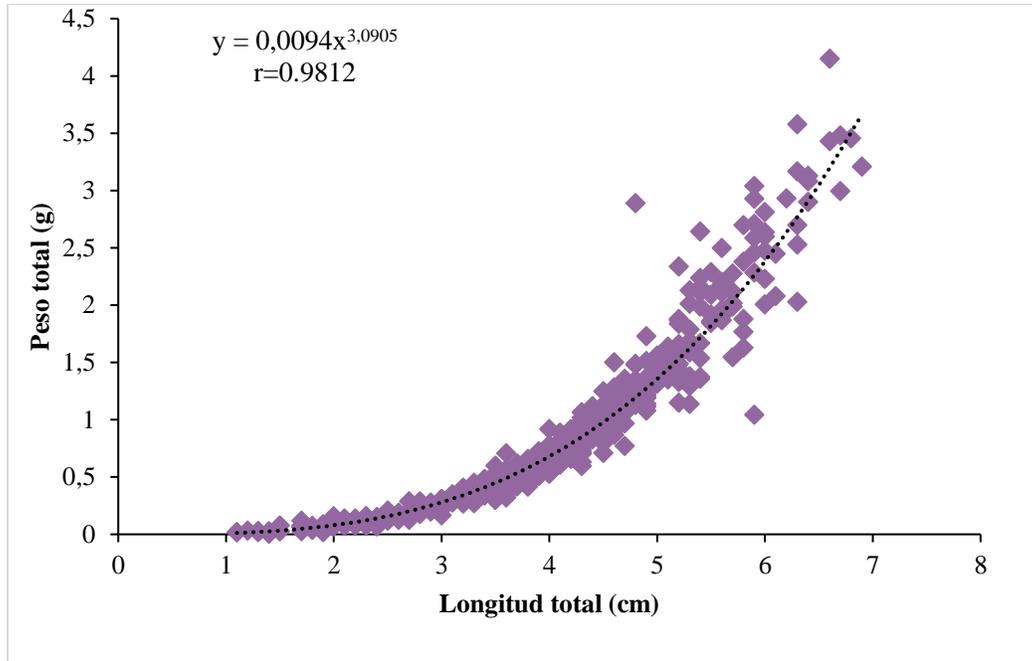


Figura 11. Relación peso total-longitud total de la población total de *P. gracilis*

Análisis de varianza (ANOVA)

Con la finalidad de establecer la existencia de diferencias estadísticas entre el peso y la longitud total y patrón con base en el sexo, se realizó un ANOVA con una comparación de pendientes. Debido a que el valor de $F=5.95$; $p<0.01$, existen diferencias estadísticas entre las pendientes por sexo con un nivel de confianza del 99%. Por lo tanto, para realizar la relación Peso-Longitud, fue necesario considerar a los organismos indeterminados para cada análisis. Para las hembras (Figura 12) se puede observar que el valor de b es mayor de 3, presentando un tipo de crecimiento de tipo alométrico positivo.



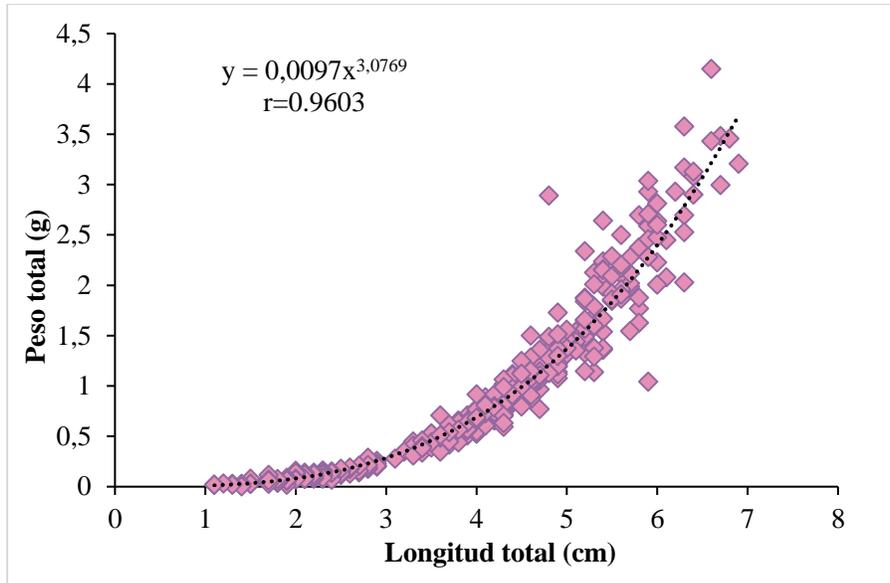


Figura 12. Relación peso total-longitud total para la población de hembras *P. gracilis*

Para los machos el tipo de crecimiento registrado fue alométrico negativo, ya que el valor de la pendiente fue menor a 3 ($b = 2.9279$; $r = 0.9636$) (Figura 13).

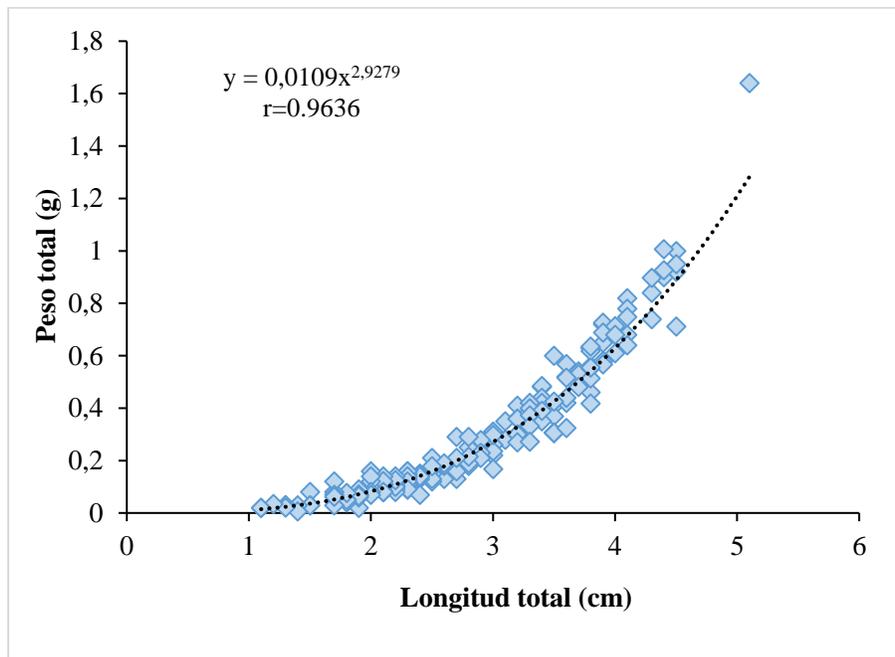


Figura 13. Relación peso total-longitud total para machos *P. gracilis*





Para conocer si los valores de b eran diferentes o iguales de 3, se realizó una prueba de *t de student* con $H_0: b=3$ (Tabla 4).

Tabla 4. Valores del análisis de t-student para la población total de *P. gracilis*

Relación Potencial PT-LT	$H_0: b=3$ $H_a: b \neq 3$	Pendiente (b)	t-Student ($p < 0.5$)	N
Global	diferente de 3	3.0905	2.712	531
Hembras	Tiende a 3	3.0769	1.0386	339
Machos	Tiende a 3	2.9279	-1.2259	105

Del análisis realizado para la población total de *P. gracilis* se obtuvo una diferencia estadística significativa, esto es: que presentan un tipo de crecimiento alométrico positivo, mientras que el crecimiento por sexos separados tiende a la isometría.

Asimismo, se realizó la relación Peso total-Longitud total de la población total de *P. gracilis* mes con mes (Tabla 5), para analizar el comportamiento del valor de la pendiente y se representó con un asterisco (*) cuando el valor de p era significativo y se rechazaba la hipótesis nula que establecía la igualdad a 3 en la pendiente, o sea isometría.





Tabla 5. Análisis mensual para la relación Peso Total-Longitud Total

Relación Pt-Lt Mensual	Pendiente (b)	Ordenada (a)	t-Student $p < 0.5$	Tipo de crecimiento
Marzo	3.0627	0.0102	0,57019	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Abril	3.2266	0.008	1,9813*	Alométrico positivo
Mayo	3.0103	0.0108	0,08242	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Junio	3.0475	0.009	0,49522	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Julio	2.9285	0.0124	-0,55549	Alométrico negativo con tendencia a isometría
Agosto	3.2891	0.0067*	2,09290	Alométrico positivo
Septiembre	3.1545	0.0084*	2,45670	Alométrico positivo
Octubre	2.7354	0.0154*	-2,78243	Alométrico negativo
Noviembre	3.0273	0.0043	0,18965	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Diciembre	3.0656	0.0101	0,515312	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Enero	3.2308	0.0071	1,50205	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Febrero	2.184	0.0507*	-2,31364	Alométrico negativo





Factor de condición (k)

Para las hembras de *P. gracilis* el factor de condición de Fulton, se encuentra entre 1.12 (máximo) en julio y 1.04 (mínimo) en enero, mientras que para los machos el valor máximo fue de 1.16 y el mínimo fue de 0.99 (Figura 14), cuya tendencia fue disminuir hacia el final del estudio durante la época seca fría.

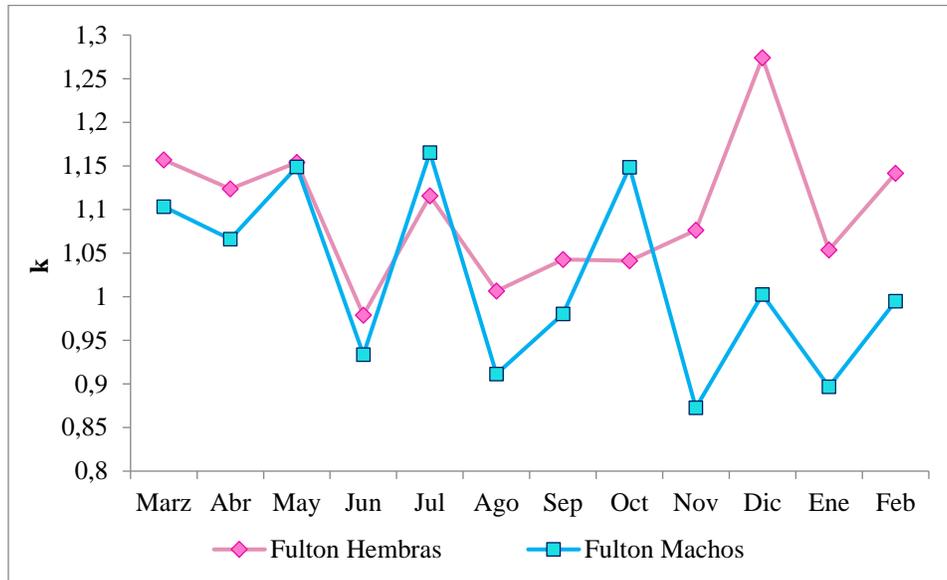


Figura 14. Factor de condición de Fulton (k) para *P. gracilis*

Se relacionó el factor de condición de Fulton de hembras y machos con la cantidad de clorofila “a” del sistema (Figura 15) y se observó una relación directa entre el factor de condición (k) y la clorofila “a”, pero la relación no es estadísticamente significativa (U de Mann-Whitney=0.1148; $p>0.05$), ya que el factor de condición principalmente de las hembras, sigue el comportamiento de la clorofila “a” [Chlor a].



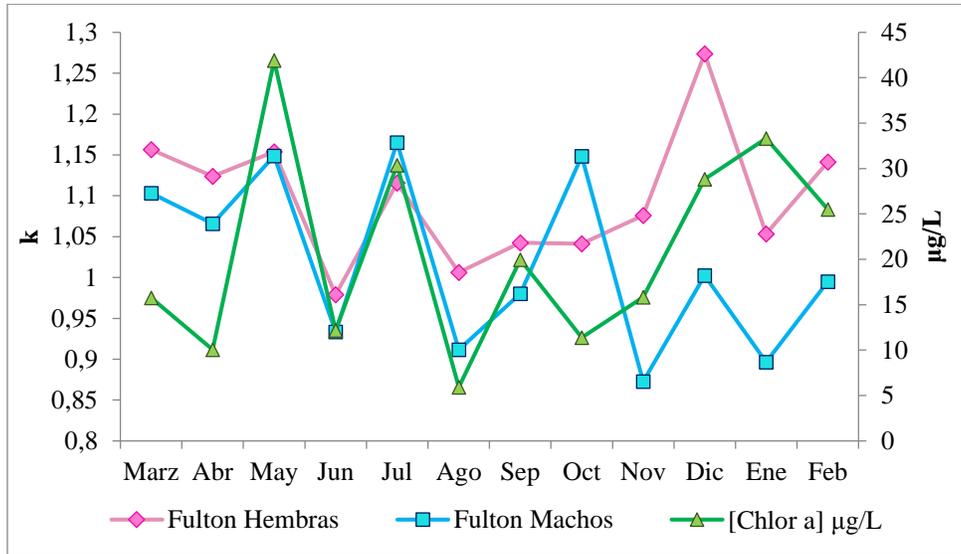


Figura 15. Relación factor de condición de Fulton (k) y clorofila "a"

Para la relación entre el oxígeno disuelto y el factor de condición de Fulton (k), se observa gráficamente que para los machos ésta variable se comporta de manera inversa, al aumentar uno el otro disminuye, pero para las hembras se tiene una relación directa, principalmente hacia el final del estudio, aunque estadísticamente no hay correlación ($p < 0.05$) (Figura 16).

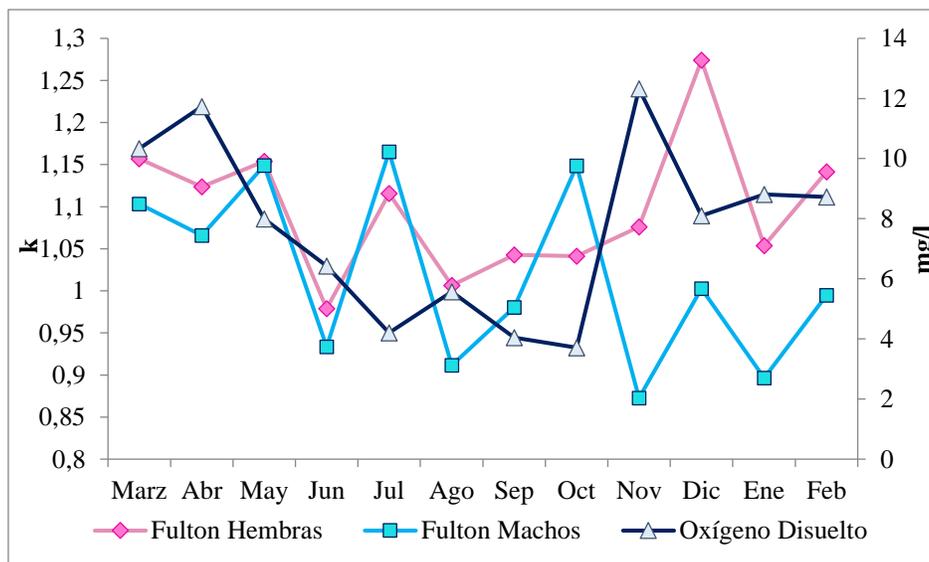


Figura 16. Variación temporal del Oxígeno disuelto y su relación con el factor de condición de Fulton





La relación entre la temperatura del agua y el factor de condición (k) (Figura 17) no parece tener relación gráfica con la población de machos, pero al parecer una tendencia a la disminución de ambos hacia el final del estudio, aunque no hay correlación estadísticamente significativa ($p < 0.05$), mientras que con la población de hembras si hay una relación estadísticamente significativa ($r = 0.98$; $p < 0.05$), aunque gráficamente se observa una relación inversa.

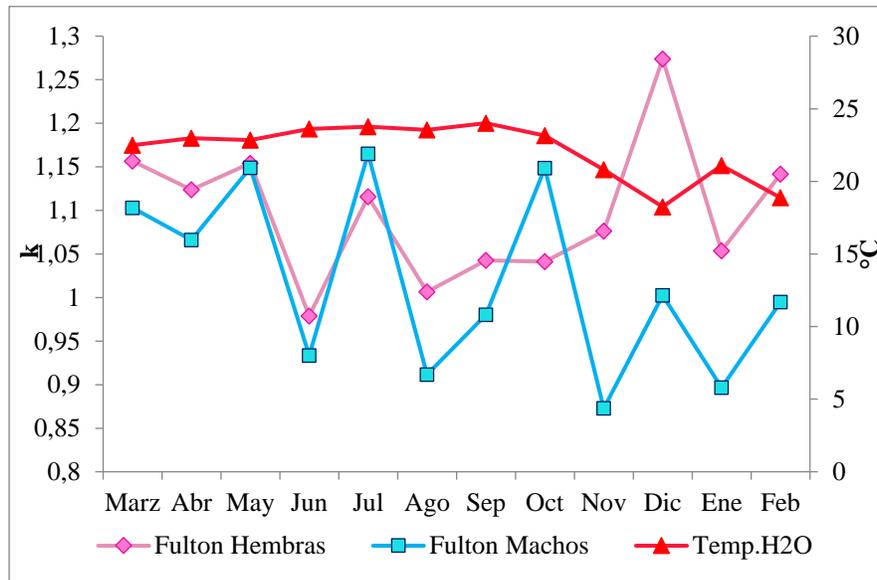


Figura 17. Relación entre factor de condición k y la temperatura de Amate Amarillo

Al analizar la relación existente entre el factor de condición k y el pH, no se observó relación gráfica y tampoco estadísticamente entre ellos ($p < 0.05$) (Figura 18).



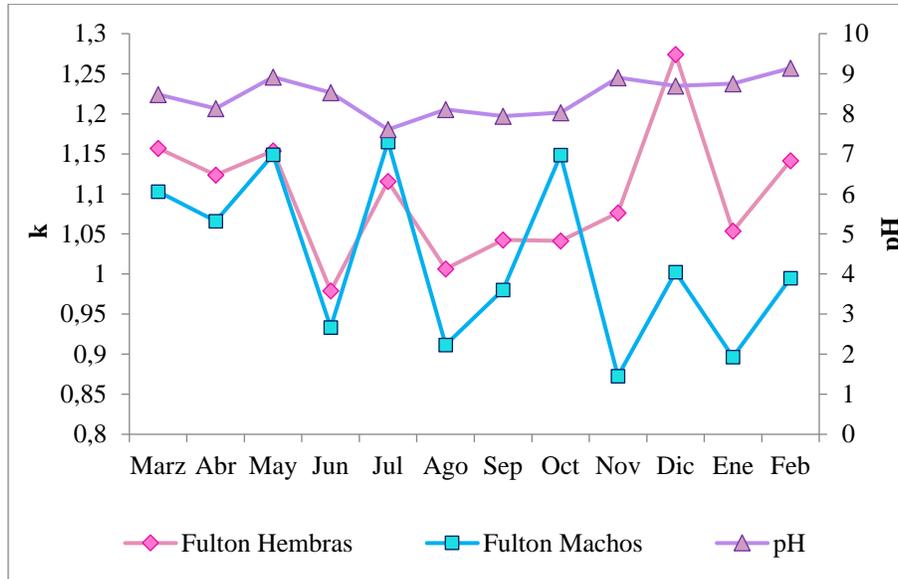


Figura 18. Relación pH y factor de condición k

Cuando se hizo en análisis del factor de condición con la dureza (Figura 19), se observó una relación gráfica entre la dureza y el k para las hembras, pero estadísticamente no se estableció relación significativa ($p < 0.05$). En el caso del factor de condición de los machos y la dureza total, se observa gráficamente la misma tendencia par ambas variables.

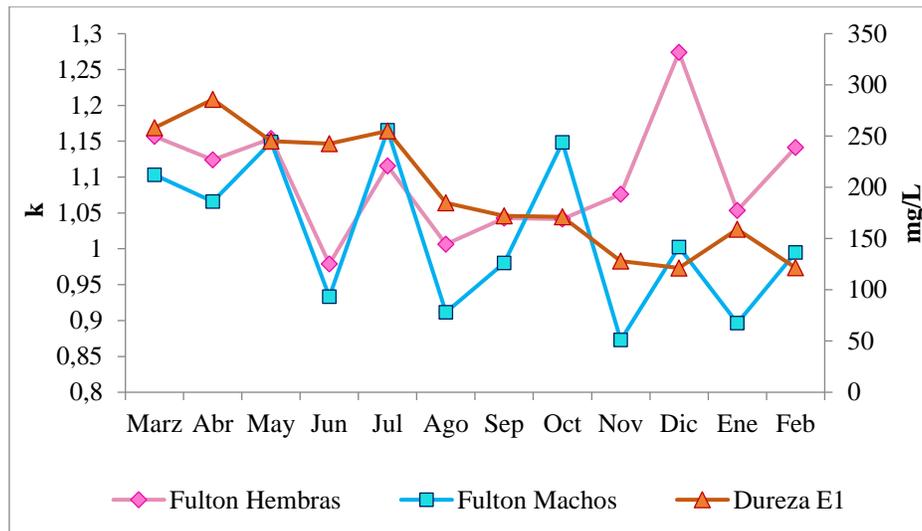


Figura 19. Variación temporal de la dureza total con el factor de condición (k)





La alcalinidad total del sistema acuático y el factor de condición para ambos sexos, al inicio del estudio parecen tener la misma tendencia; sin embargo, no hubo relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre ambas variables (Figura 20).

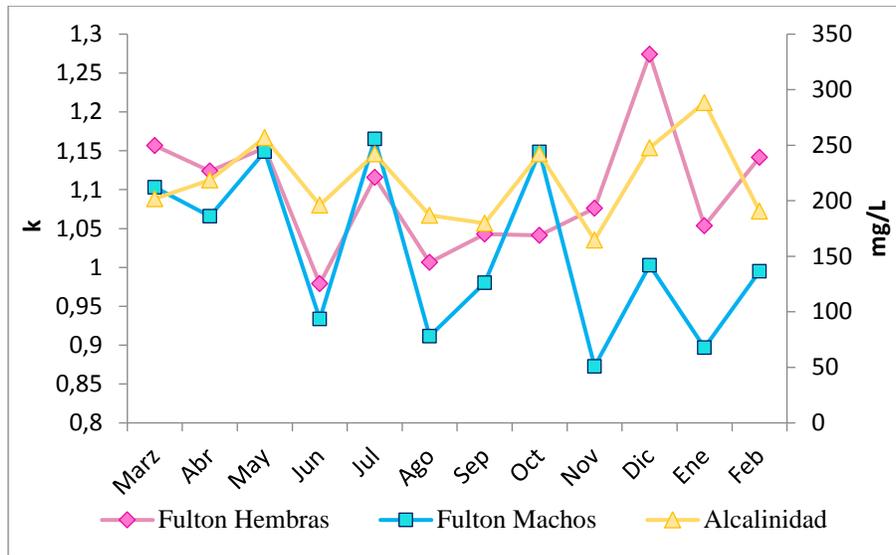


Figura 20. Relación alcalinidad total y factor de condición para ambos sexos

En el caso del factor de condición relativo de Le Creen para hembras y machos (Figura 21), éste parece tener un comportamiento similar para ambas poblaciones durante los primeros meses de estudio, ya que durante la época de secas las poblaciones presentan buena condición, no así durante la temporada de lluvias donde disminuyen los valores, principalmente para los machos y mantenerse así hacia el final del estudio.



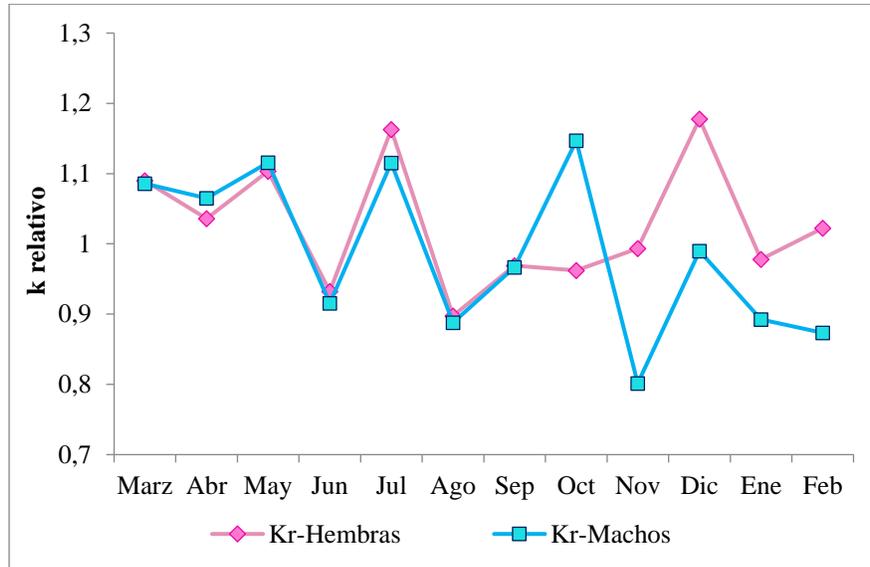


Figura 21. Factor de condición relativo para los machos y hembras de *P. gracilis*

A diferencia del factor de condición Fulton, el factor de condición relativo (kr) mostró que la población de hembras, se relaciona con la cantidad de clorofila “a” ($p < 0.05$), esta relación es estadísticamente significativa y también puede verse en una tendencia gráfica (Figura 22).

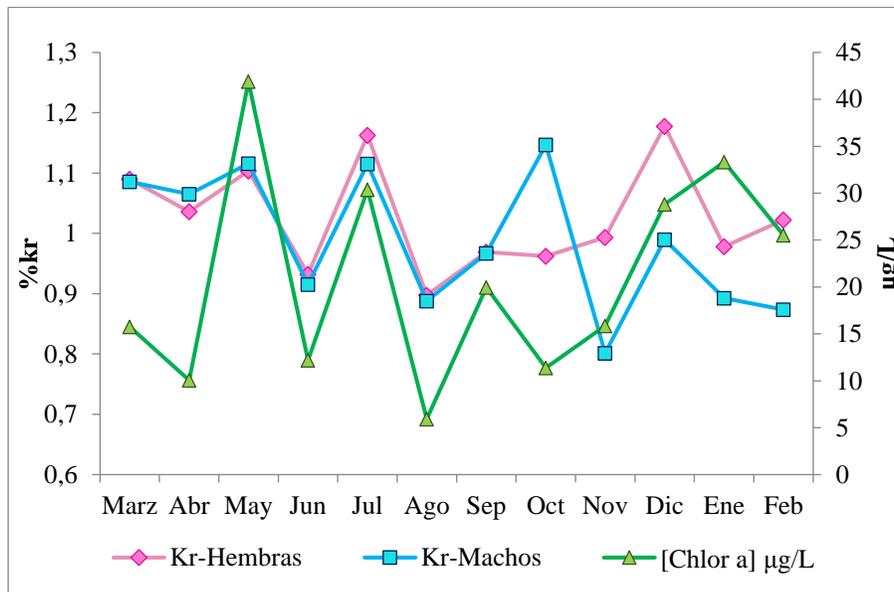


Figura 22. Variación temporal del factor de condición relativo con la clorofila “a” [Chlor a] presente en el sistema





Índice hepatosomático (IHS)

El índice hepatosomático en hembras y en machos, presenta un comportamiento similar, ya que para la mayoría del tiempo en que los machos tienen un valor alto, las hembras también lo presentan, aunque las hembras siempre tuvieron valores mayores que los machos; el mínimo para las hembras se observa en noviembre y el valor máximo se da en junio, mientras que para los machos el valor máximo se da durante el mes de agosto, y el mínimo también se da en noviembre (Figura 23).

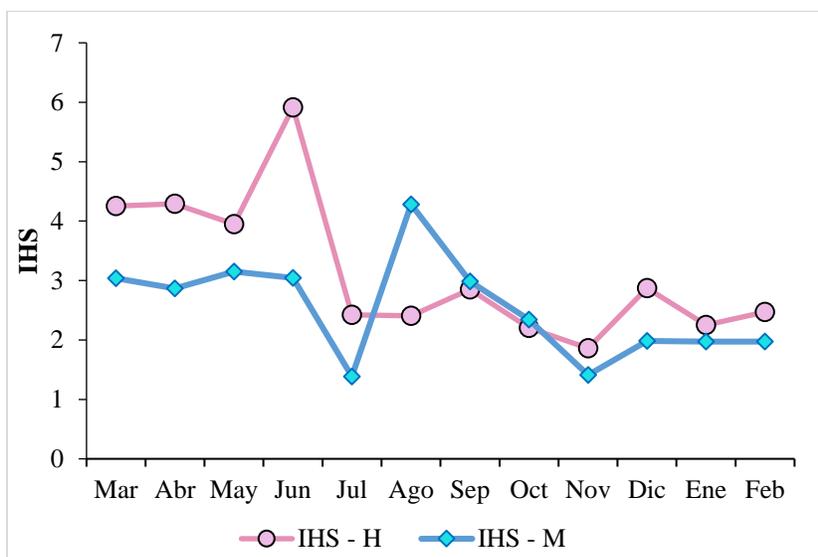


Figura 23. Variación temporal del índice hepatosomático para las poblaciones de hembras y machos de *P. gracilis*

El índice hepatosomático no se relacionó estadísticamente con ningún parámetro físico y químico del agua del sistema, tampoco se observó que presentara una tendencia gráfica con las variables ambientales, aunque su comportamiento fue el disminuir hacia el final del estudio.



Índice gonadosomático (IGS)

El índice gonadosomático (IGS) se usa comúnmente para cuantificar la condición reproductiva en peces (Figura 24). El primer pico de los valores del IGS, se da en la época de estiaje (abril), en cambio para el IHS tiene su valor máximo al inicio de la época de lluvias (junio), el segundo pico ocurre durante octubre y diciembre (después de la época de lluvias).

En la gráfica se puede observar un comportamiento inverso y con tendencia a disminuir hacia la época fría que corresponde al final del estudio, mientras que posee una correspondencia estadísticamente significativa (U de Mann-Whitney = 0.0461 $p < 0.05$).

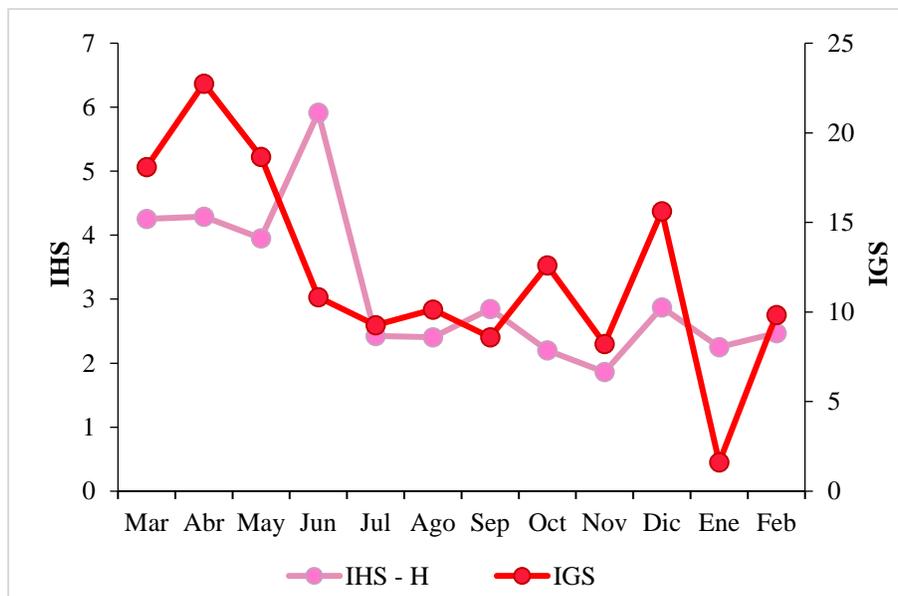


Figura 24. Estacionalidad de los Índices: Hepatosomático (IHS) relacionado con el índice gonadosomático (IGS).





Variación de la madurez gonádica

Durante todo el ciclo trabajado en Amate Amarillo, se recolectaron hembras de *P. gracilis* en estadio gonadal V, lo cual indica que se reproduce durante todo el año, pero con dos picos donde eran más las hembras grávidas, esto ocurrió durante marzo y noviembre (Figura 25).

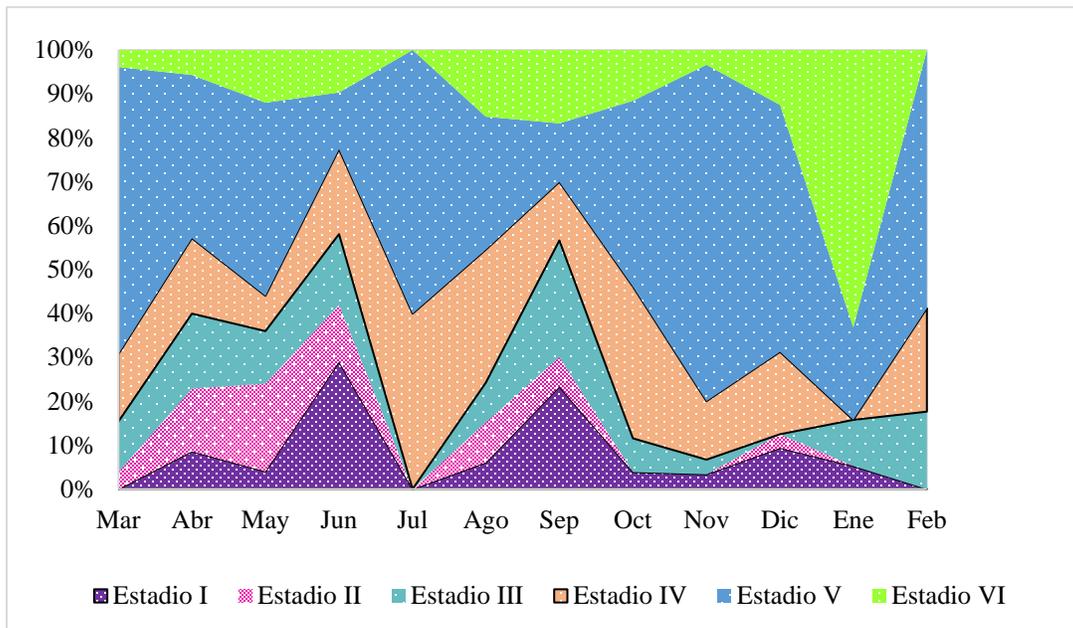


Figura 25. Variación temporal de estadios gonádicos para las hembras de *P. gracilis*

Talla de Madurez

La talla de primera madurez sexual entendida como el inicio de la maduración sexual de los organismos o la talla a la cual se reproducen por primera vez el 50% de la población, fue calculada para la población de hembras. Para ello fue necesario realizar la propuesta de una curva logística (Figura 26) utilizando la longitud total de las hembras, dando como resultado una talla de 3.7 cm como primera talla de madurez sexual, mientras que la talla mínima observada a la que los procesos de maduración comienzan fue de 3.3 cm.



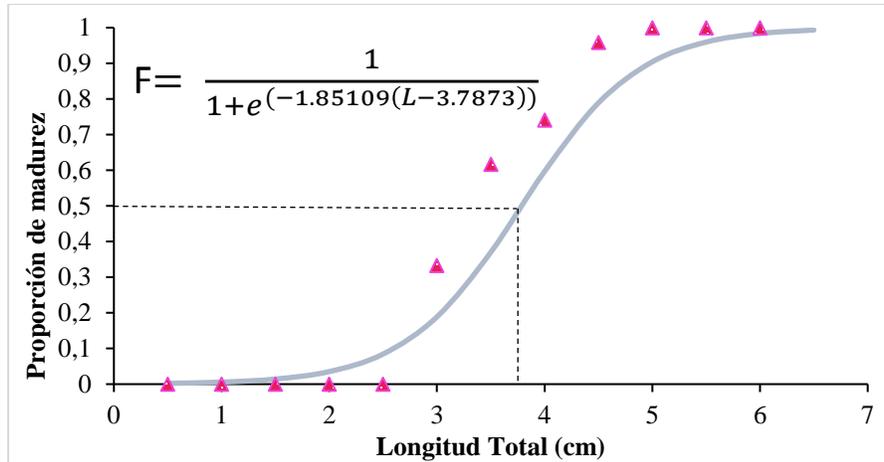


Figura 26. Talla de primera madurez sexual para las hembras de *P. gracilis*

Para el caso de los machos, se consideró que los organismos estaban maduros a partir de la formación de la estructura gonopodial completamente formada con el gancho distintivo, el organismo más pequeño con el gancho formado en el gonopodio fue de 2.5 cm.

Fecundidad-peso-longitud

En cuanto al potencial reproductivo de *P. gracilis* se encontró una mayor correspondencia estadística con la longitud total y el número de óvulos ($R^2 = 0.74$; $p < 0.05$) (Figura 27).

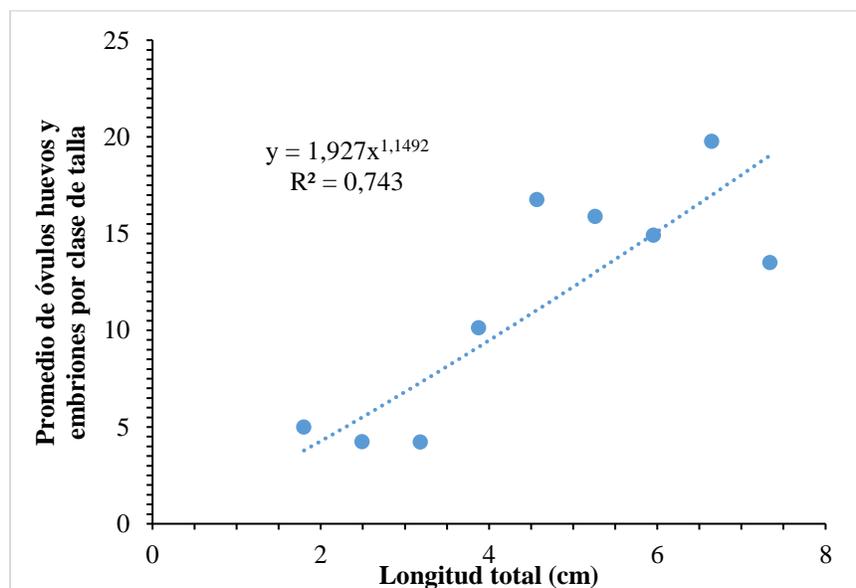


Figura 27. Relación entre la fecundidad y la longitud total para *P. gracilis*





En cambio la relación observada con el peso fue menor ($R^2 = 0.65$; $p < 0.05$) (Figura 28)

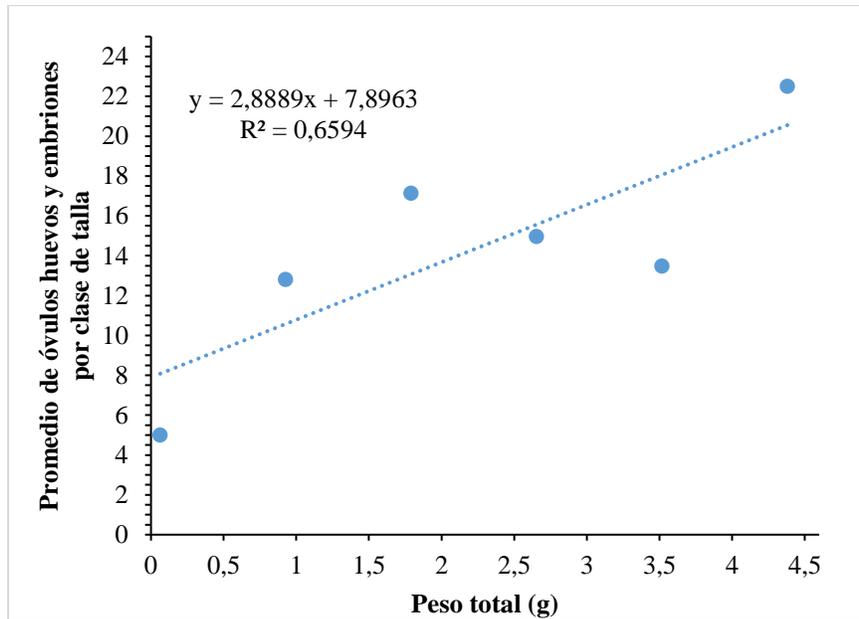


Figura 28. Relación entre la fecundidad y el peso para *P. gracilis*

Fertilidad-peso-longitud

En cuanto a la fertilidad, las hembras tuvieron desde 1 a 30 huevos-embriones en promedio, se contabilizaron 11 de éstos por cada hembra, a estos se les realizaron medidas de diámetro y longitud total (Tabla 6).



Tabla 6. Biometrías realizadas a óvulos, huevos y embriones de *P. gracilis*

Diámetro por estadio (cm)			
	Mínimo	Máximo	Promedio
Estadio 1	0,1	0,13	0,11
Estadio 2	0,16	0,23	0,18
Estadio 3	0,21	0,26	0,22
Estadio 4	0,23	0,34	0,24
Estadio 5	0,25	0,31	0,28
Estadio 6	0,34	0,39	0,33
Estadio 7	0,35	0,42	0,38
Estadio 8	0,51	0,58	0,53
Longitud total por estadio (cm)			
	Mínimo	Máximo	Promedio
Estadio 9	0,84	0,96	0,73
Estadio 10	0,9	1,1	0,91

La fertilidad se relacionó más con la longitud total $r = 0.9561$ ($p < 0.05$) (Figura 29).

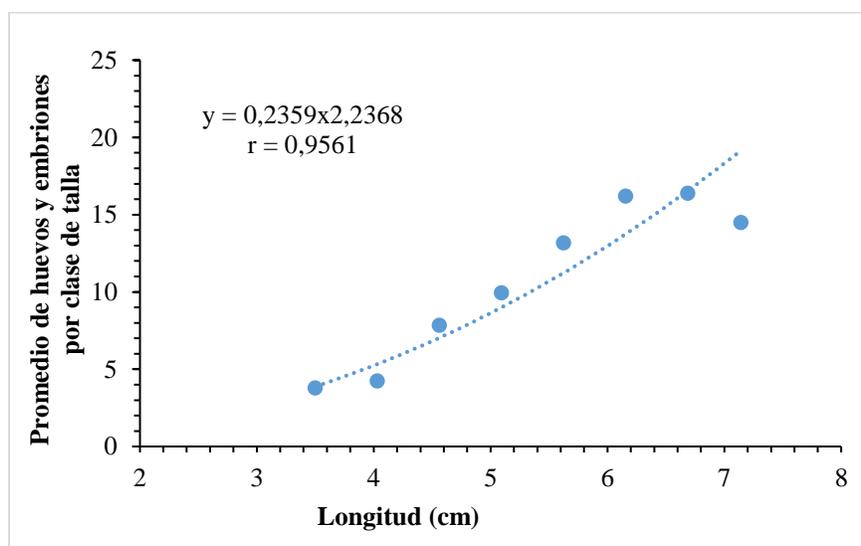


Figura 29. Relación entre fertilidad y longitud total para *P. gracilis*





La relación que se observó con el peso fue menor $r = 0.0.6594$ ($p < 0.05$) (Figura 30).

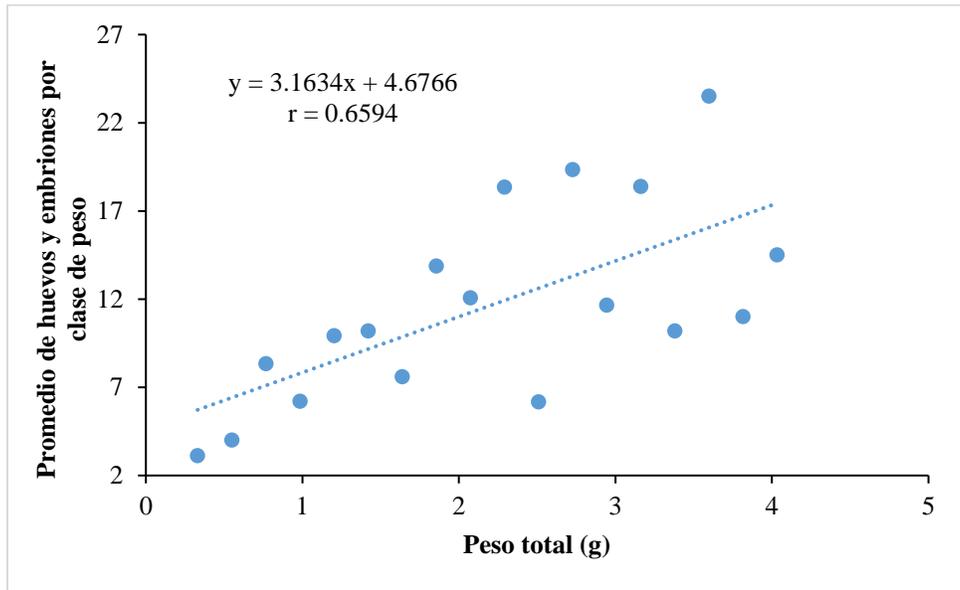


Figura 30. Relación entre fertilidad y peso total para *P. gracilis*

Superfetación

Durante el ciclo anual se detectó la presencia de hembras de *P. gracilis* superfetantes (Figura 31), con un promedio del 25.32% por todo el ciclo anual evaluado, en cada muestreo se pudieron encontrar hembras grávidas con diferentes estadios de desarrollo al mismo tiempo, el promedio de camadas simultáneas fue de 3 estadios diferentes, el número máximo encontrado de camadas simultáneas fue de 4 y el mínimo de 2.



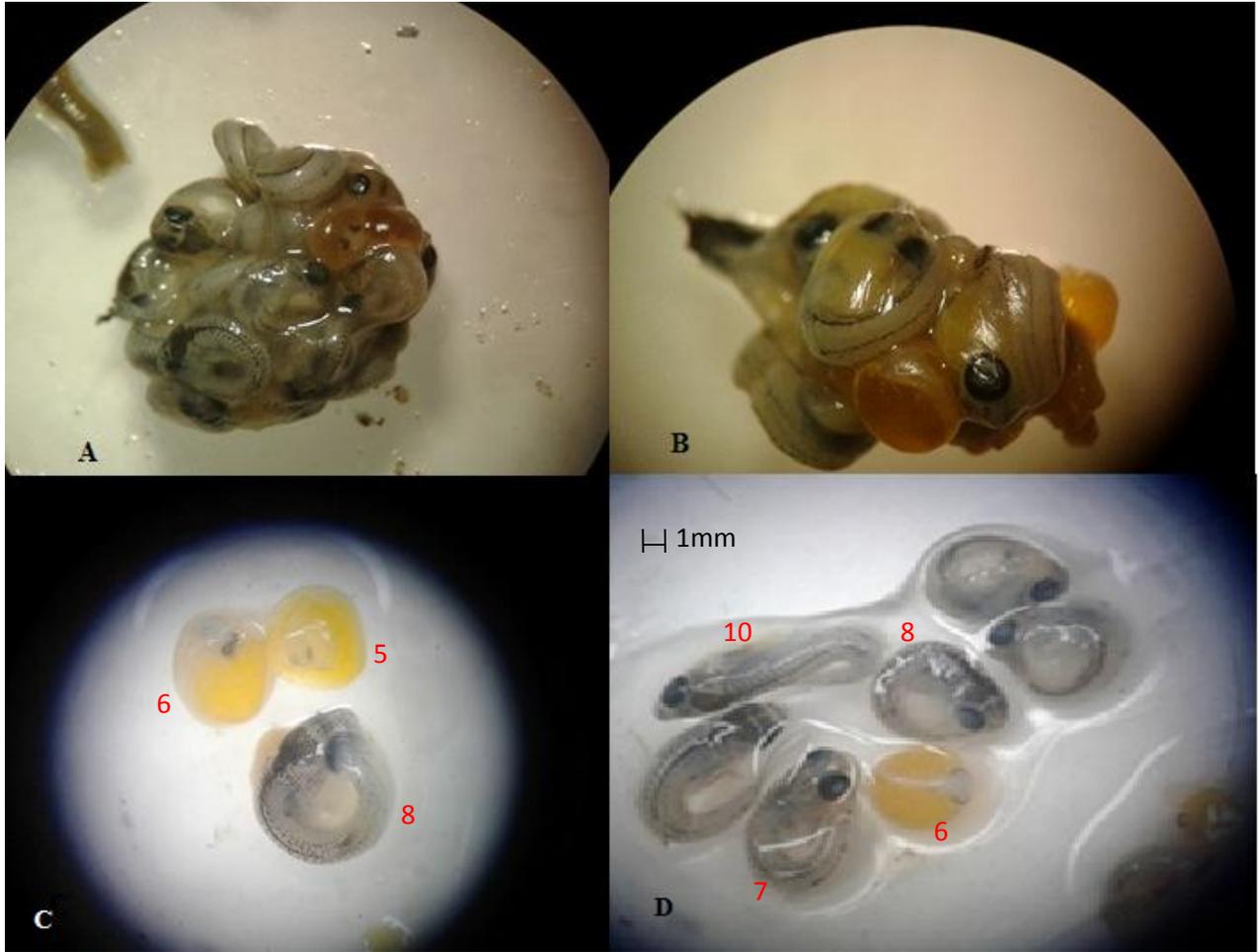


Figura 31. Gónadas de hembras superfetantes; (A) Hembra con 4 estadios de desarrollo, LT de 5.48 cm. (B) Gónada de hembra con 3 estadios de desarrollo, LT: 5.2 cm. (C) estadios de desarrollo embrionario 5 - 6 y 8 de acuerdo con Haynes (1995) de la hembra B. (D) 4 estadios de desarrollo (6, 7, 8, 10) de la hembra A.

El grado de superfecundación a lo largo del año no fue la misma (Figura 32), ya que durante los meses de marzo y abril del 2017 y febrero del 2018 se reportó el mayor grado de hembras superfetantes (marzo y abril con 30.7% y febrero con un 35.3%), en contraste con estos valores, durante la época de lluvias este grado de superfecundación disminuyó y para el mes de septiembre (mes donde se reportó la mayor profundidad del sistema) el grado de superfecundación fue de 6.2%



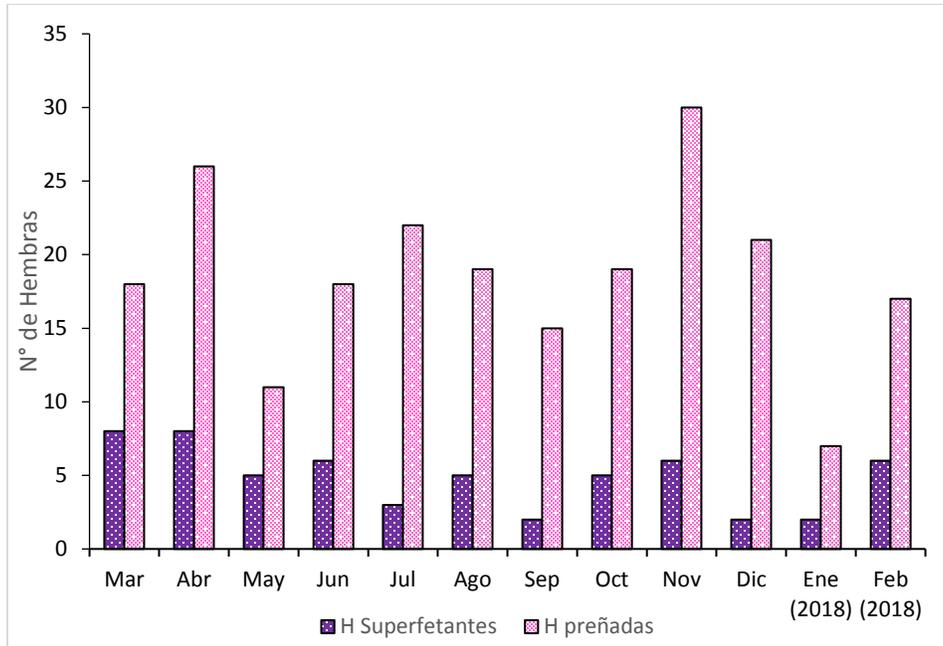


Figura 32. Variación temporal de hembras superfetantes en el bordo Amate Amarillo

En el caso de la relación entre la temperatura y el grado de superfetación (Figura 33), la relación gráfica que hay observa, parece inversa exceptuando en el mes de diciembre, donde se reportó la temperatura más baja, y un descenso en el grado de hembras superfetantes, pero no hay relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

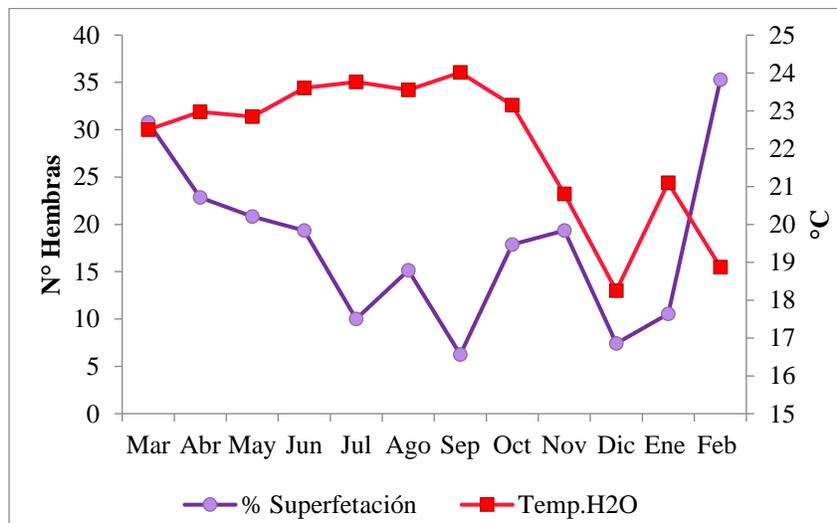


Figura 33. Relación Temperatura-Hembras superfetantes





La relación gráfica entre la clorofila “a” y el grado de superfetación (Figura 34) fue inversa, ya que durante los meses en los que se registraron valores altos para la clorofila, el porcentaje de hembras superfetantes disminuía. Mas no presentó relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

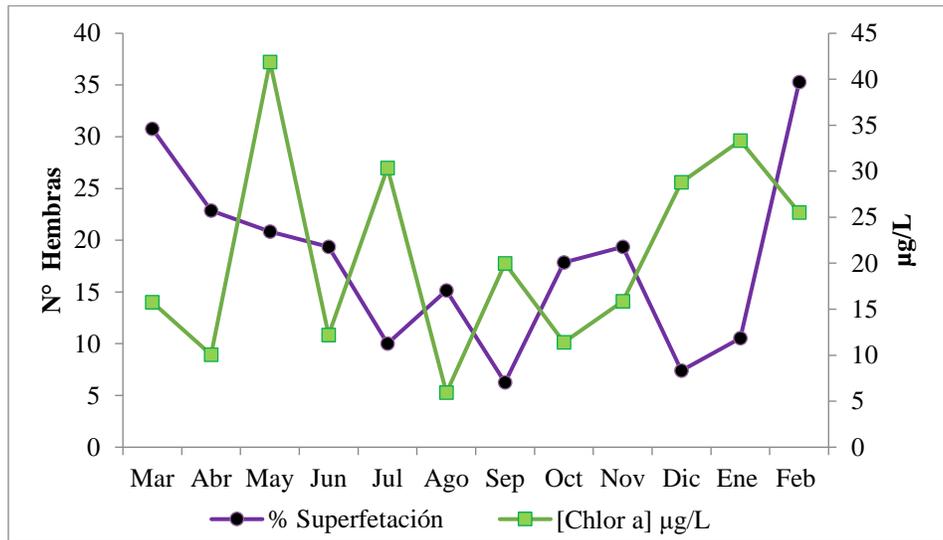


Figura 34. Variación temporal de la clorofila en el sistema, relacionada con el grado de superfetación de *P. gracilis*

La relación gráfica entre el grado de superfetación y el pH (Figura 35) parece tener la misma tendencia, ya que cuando el valor del pH baja, el grado de superfetación también disminuye.



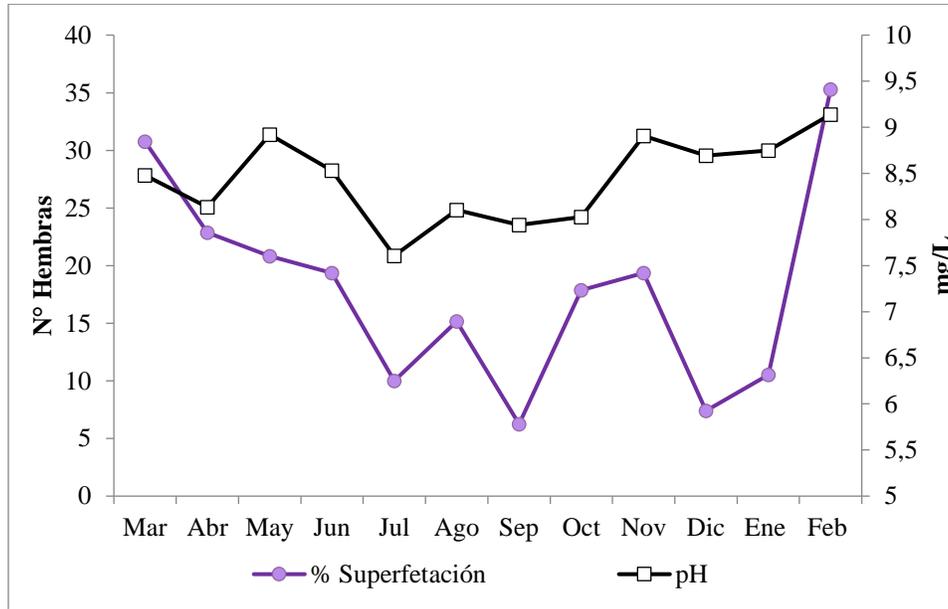


Figura 35. Variación temporal del grado de superfetación de *P. gracilis* relacionado con el pH

Índice de Matrotrofia

La clave de Haynes (1995) para determinar los diferentes estadios de desarrollo en los embriones se acopló más para organismos lecitotróficos en este estudio (Figura 36), ya que el contenido del vitelo en el óvulo, el huevo y el embrión siempre parecía presente en una mayor cantidad.



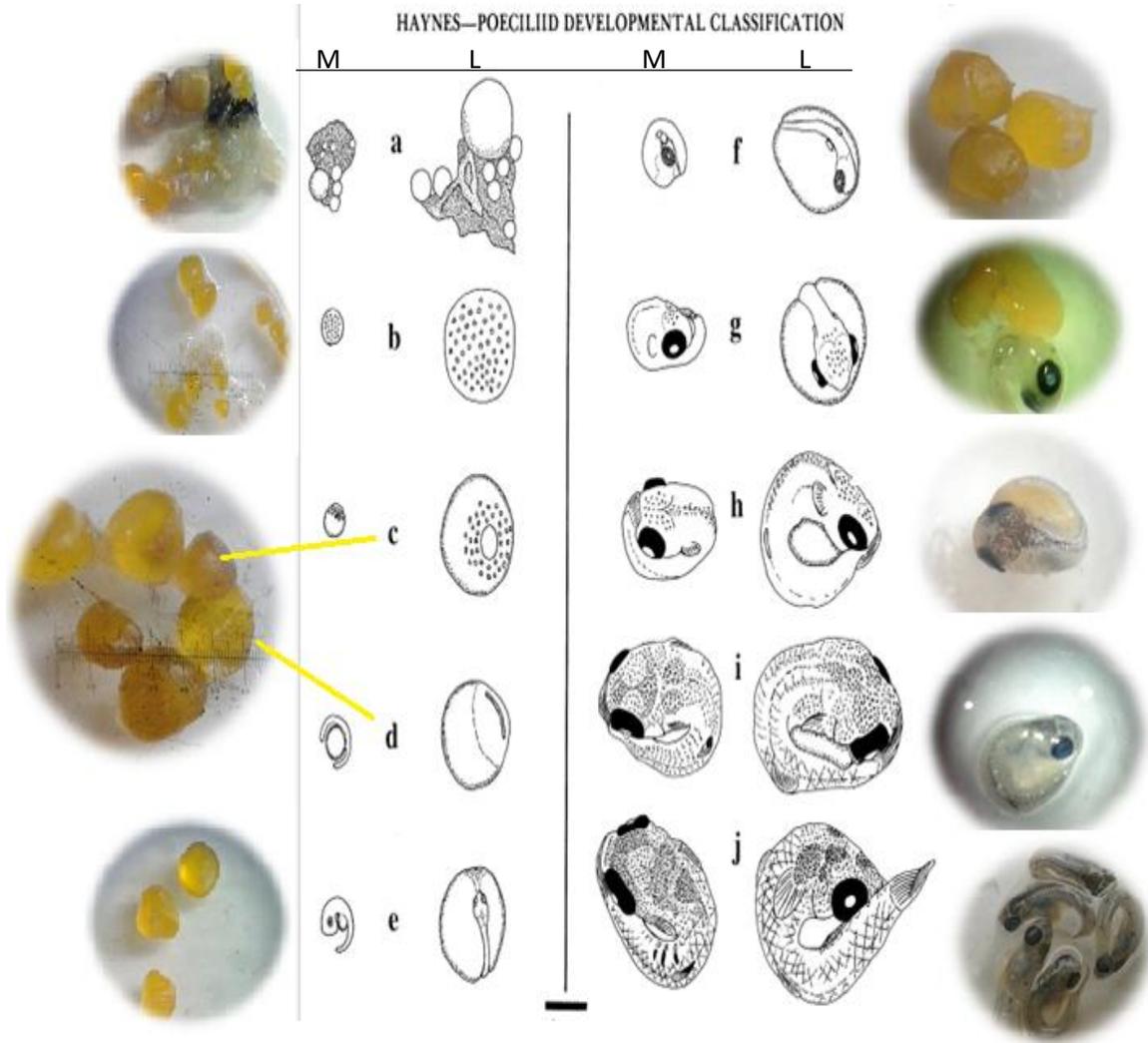


Figura 36. Clave de Haynes (1995), columna izquierda: estadios de desarrollo para organismos matrotóficos (M), columna derecha: estadios de desarrollo propuestos para organismos lecitotóficos (L). A los extremos fotografías de los 10 estadios encontrados en *Poeciliopsis gracilis*, donde se aprecia la similitud para organismos lecitotóficos. La hembra con mayor número de camadas simultáneas reportada en este estudio, presentó embriones en el estadio IV (d), en el estadio VI (f) en el estadio VII (g) y el estadio VIII (h), además de óvulos apenas maduros (primeros cuatro estadios).

El cálculo del índice de matrotrofia dio como resultado un valor de 0.2913 lo cual clasifica a *P. gracilis* como una especie de poecílido sin intercambio materno-embionario (especie lecitotrófica). La relación entre el peso seco de los embriones se ajusta más a una ecuación





de tipo lineal negativa con un grado de asociación de $r = 0.8085$; $p < 0.05$ (Figura 37), al mostrar menor masa de los embriones hacia el final del desarrollo embrionario.

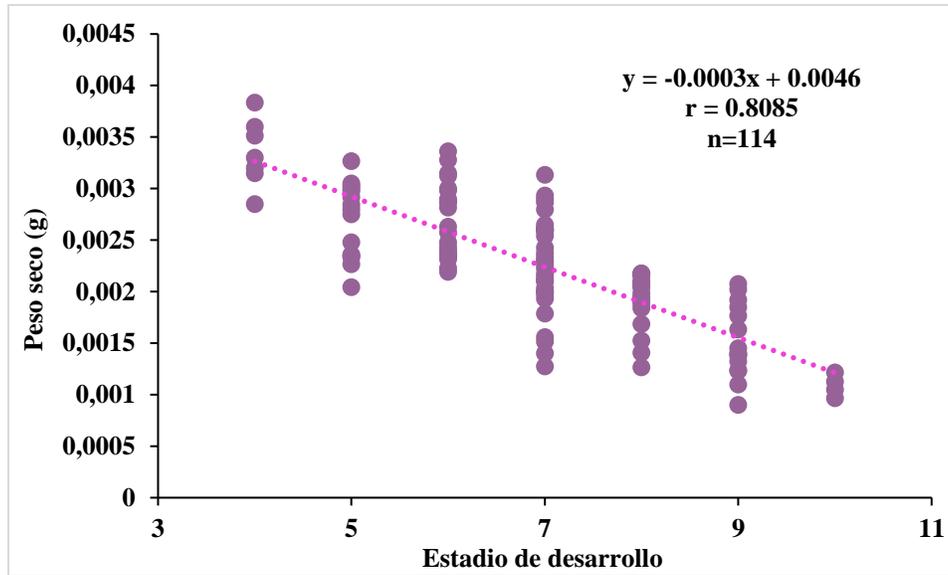


Figura 37. Relación peso seco del embrión y huevo Índice de Matrotrofia para la población de hembras de *P. gracilis* en el Amate Amarillo





Discusión

Desde un punto de vista ecológico, los microembalses artificiales y bordos son ecosistemas acuáticos con potencial para producción acuícola de buenos rendimientos en términos de kg/Ha/año. Amate Amarillo es un sistema artificial permanente que recibe aportes continuos del río Yautepec y almacena agua con la finalidad de ser utilizada para actividades agrícolas en primer grado y para actividades piscícolas en segundo, este cuerpo de agua se ve influenciado por procesos de concentración (durante los meses cálidos) y dilución por efecto del aumento pluvial (durante la época de lluvias) (Rivera y Hernández, 2011).

Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992) mencionan que este tipo de ecosistemas acuáticos tienen un tiempo de vida corto, ya que evolucionan de manera rápida convirtiéndose en trampas que retienen grandes cantidades de material sedimentario alóctono y autóctono que propicia que la cubeta se azolve disminuyendo la profundidad del sistema, propiciando el incremento de la actividad primaria y contribuyendo a acelerar el proceso de eutrofización. Amate Amarillo, por ser un cuerpo de agua somero que recibe aportes de materia orgánica y nutrimentos durante el año principalmente durante la época de lluvias (junio a octubre), es un sistema donde se propicia la proliferación de productores primarios y que durante el día en la superficie (los primeros 0.30 m del espejo de agua) ocurre un proceso de fotoinhibición, producto de la alta radiación solar que recibe entre las 12:00 y 14:00 horas influyendo directamente en el estado trófico del sistema acuático. En este estudio se determinó que Amate Amarillo es un cuerpo de agua eutrófico, con un valor de 83.2 para el Índice del Estado Trófico (ITS). Resultados similares fueron reportados por Rivera y Hernández (2011) donde mencionan que el sistema es eutrófico con una tendencia hacia la hipereutrofía.

El estado de Morelos se ve caracterizado por la diferenciación bien marcada de 2 temporadas: de estiaje y temporada de lluvias, la distribución de la lluvia ocurre en verano, ésta se inicia generalmente a mediados de mayo y termina en la primera quincena de octubre (concentrándose en esta temporada del 94 al 95% de la precipitación total anual) los meses





con mayor precipitación son junio, julio, septiembre y finalmente y en menor proporción agosto; en cambio, durante la época fría del año deja de llover siendo diciembre el mes más seco seguido de febrero y ocasionalmente marzo (CONABIO y UAEM, 2004).

En el periodo de estiaje, donde el sistema acuático se concentra por la falta de precipitación, la tasa de evaporación, la infiltración, así como el uso del agua para actividades agrícolas, el valor de los parámetros de calidad del agua aumenta en comparación con el periodo de lluvias, donde las concentraciones se diluyen por el aporte del recurso hídrico, tal es el caso de la alcalinidad, pH y dureza (Figura 7), donde se puede ver que el Amate Amarillo muestra un incremento en los valores de estas variables, reportando el valor máximo de dureza en abril (285.8 mg/L), el pH tiene un valor ligeramente básico (pH= 9) durante febrero y en enero la alcalinidad alcanza su valor máximo (288 mg/L), en cambio durante la época de lluvias (durante los meses de junio a noviembre), esta concentración se diluye y la tendencia de los datos es disminuir, ya que el nivel de agua y la profundidad del sistema incremento. Similares características fueron reportadas por Gómez-Márquez *et al.* (2008) para el lago Coatetelco, Morelos.

La zona donde se localiza el bordo Amate Amarillo corresponde a un clima de tipo cálido, con una temperatura ambiente promedio de 28.7°C; de acuerdo a estas características y a su localización geográfica y altitudinal, su clasificación debería ser la de un lago monomítico cálido según Hutchinson y Löffler (1955); sin embargo, debido a sus condiciones de poca profundidad (la circulación del agua ocurre en toda la columna de agua), el sistema se ve influenciado todo el año por los movimientos que se generan en superficie ocasionado por los vientos (fetch) o por actividades de pesca de la tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), provocando que durante el día se registre mezcla y durante la noche se estratifica la columna de agua, por lo cual el embalse artificial se clasifique como un sistema polimítico cálido continuo con base en la clasificación de Lewis (1983).

Rivera y Hernández (2011) mediante un ciclo nictimeral de temperatura y oxígeno disuelto, determinaron que el bordo Amate Amarillo durante la noche tiene periodo de mezcla. Schindler (1991) menciona que los lagos someros pueden estratificarse y mezclarse varias veces en el verano, como resultado del período de vientos y que los lagos polimíticos son





tan comunes en los trópicos, en donde en algunos casos, los cambios diurnos de temperatura son tan grandes que llegan a inducir la mezcla de la columna de agua.

En el caso de la temperatura ambiental registrada para el sistema, ésta osciló entre los 25° (diciembre) y 36° C (junio), tales valores están en los intervalos ya reportados por; Gómez-Márquez *et al.* (2008) quienes reportaron que la temperatura del agua estaba entre 24.1°C y 32.3°C y fue más alta en el periodo de marzo a octubre. Palomo (2016) reportó el valor máximo de temperatura en abril con 25.7°C y la mínima en septiembre con 19.1°C, Gómez (2015) durante junio 2013 reportó la temperatura máxima del sistema con 26.5°C y la mínima en noviembre con 20.5°C, mientras que Palacios (2013) reporta la temperatura máxima del agua en el sistema en junio con 27.1°C y la mínima en diciembre con 20.9°C. Durante el 2017 las temperaturas del agua fueron más bajas que las que reportaron en estudios anteriores.

Con respecto a la visibilidad del disco de Secchi del sistema el cuerpo de agua en estudio registró una gran cantidad de material en suspensión, que aunado a la comunidad planctónica, es posible que hayan limitado el paso de energía luminosa hacia el fondo del sistema lo cual se ve reflejado en los valores de transparencia al disco de Secchi (Arredondo y Ponce, 1998). El hecho de ser un sistema somero, con períodos de mezcla favorece la remoción de materiales y nutrimentos y por lo tanto, se registra una menor transparencia, debido a que el microreservorio al tener aportes constantes de materia orgánica, -producto de la defecación del ganado que en ella abreva, aporte alóctono durante el periodo de lluvias, así como por la constante actividad pesquera-, conducen a una disminución de la capa eufótica y en consecuencia, la productividad primaria a esos niveles y por lo tanto afecta el factor de condición de las hembras. Así, cuando la transparencia es baja, el factor de condición aumenta, comportamiento que se alteró en el mes de agosto, debido a que el bordo se encuentra sujeto al uso del recurso agua para los cultivos que se encuentran en el área colindante y en ese mes específicamente bajó el nivel del agua más de lo normal por el uso del agua para actividades agrícolas (riego).

Las características físicas y químicas del agua al parecer intervienen positivamente en la permanencia de *P. gracilis* ya que, durante el año de muestreo, se logró capturar una alta





abundancia de ejemplares de todas las tallas, siendo una especie que dominaba en los muestreos con más de 300 organismos por cada lance realizado en diversos puntos del bordo. De acuerdo con Contreras-MacBeath *et al.* (2014), *Poeciliopsis gracilis* es una especie que tolera perfectamente aguas muy perturbadas que incluyen aquellas con elevados aportes de descargas urbanas. La presencia de esta especie, principalmente en la cuenca del balsas, se debe a escapes o liberación por parte de acuaristas (Mejía-Mojica, 2012).

Este poecílido al parecer presenta preferencia por condiciones de aguas cálidas para el desarrollo y alumbramiento de alevines, ya que en la zona litoral del bordo se podían encontrar hembras grávidas y alevines en mayor proporción que los organismos de otras tallas. En las otras zonas de muestreo, también se podían encontrar hembras grávidas, crías y otros poecílicos de tallas variadas, mas no eran tan abundantes como en la zona litoral.

En la población de peces se observaron organismos que presentaban tallas diversas como estrategia, este hecho les aseguró a los organismos más grandes una mayor sobrevivencia ante la depredación. Las crías y juveniles presentan este tipo de estrategias al inicio de su vida ganando talla en lugar de peso (crecimiento de tipo alométrico negativo) como es mencionado por Reznick (1983) y Gómez-Márquez *et al.* (2008). En este estudio, se hizo evidente un dimorfismo sexual en las características morfológicas de esta especie y marcadas diferencias sexuales secundarias de la especie. Clark y Aronson (1951) mencionan que en la familia Poeciliidae los gonopodios (aletas anales modificadas) sirven como órganos copuladores y tienen una gran diversidad de formas en la parte distal de las estructuras, esto para facilitar la copulación con hembras no receptivas y asegurar el éxito reproductivo. En este estudio, se pudieron observar machos maduros de *P. gracilis* que en la parte distal del gonopodio tenían un gancho bien formado. De las diferencias morfológicas entre hembras y machos, se observó una discrepancia en el tamaño corporal entre los sexos al inicio de la época reproductiva, característica que es compartida por todos los poecílicos como lo mencionan Reznick y Miles (1989) y Miller *et al.* (2009).

Durante el periodo de estudio se registró una proporción sexual a favor de las hembras casi todo el año con 3 hembras en promedio por cada 1 macho ($\chi^2=4.633$; $p<0.05$), tales datos





son similares a los reportados por Ayala y Vera (2007) para los organismos en otro sistema lótico de Morelos, donde la proporción sexual también fue a favor de las hembras. Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, (1996) reportaron para el río Cuautla, Morelos haber trabajado con una proporción sesgada a favor de las hembras durante abril 1991 a Marzo 1992. Asimismo, Zuñiga-Vega *et al.*, (2012) también mencionan que en *Poeciliopsis baenschi*, la proporción sexual estuvo marcadamente sesgada hacia las hembras. Snelson (1984) señala que en poblaciones silvestres de organismos vivíparos, la proporción sexual suele favorecer a las hembras, ya que estas pueden vivir más tiempo y alcanzar tallas más grandes que los machos.

Ponce de León *et al.* (2013), mencionan como una regla, que dentro de la familia Poeciliidae, las hembras alcanzan tallas grandes antes de ser capaces de reproducirse, lo cual es importante para garantizar el desarrollo de la descendencia dentro del ovario.

Magurran y Nowak (1991) mencionan que las especies de poecilidos machos que se involucran continuamente en el comportamiento del cortejo y que hostigan a las hembras para obtener copulaciones furtivas, se vuelven más visibles a los depredadores, en cambio revelan que las hembras parecen percibirse a sí mismas con un mayor riesgo de depredación y dedican más tiempo a la conducta de evitar al depredador.

Karayücel1 *et al.* (2006) y Ospina-Álvarez y Piferrer (2008) señalan que entre los factores que pueden afectar la proporción de sexos durante el desarrollo embrionario, la temperatura ejerce un efecto significativo en los poecilidos, ya que bajas temperaturas resultan en más hembras y altas temperaturas en más machos.

En el presente estudio se reporta la talla máxima para las hembras de *P. gracilis* fue de 6.9 cm y la mínima de 1.8 cm, y para los machos la talla máxima fue de 5.1 cm y la mínima 2.3 cm, valores inferiores a los reportados por Contreras Mac-Beath y Ramírez-Espinoza, (1996) quienes mencionan que la talla máxima para las hembras de la especie es de 7.4 cm, mientras que Miller *et al.* (2009) menciona que la talla máxima es de 7.3 cm.

Farr (1989), reporta que las diferencias en el tamaño de esta familia pueden ser explicadas en términos de que las hembras tardan más tiempo en madurar y continúan creciendo a lo





largo de su vida, en cambio los machos maduran rápidamente y una vez que el gonopodio ha sido formado por completo, presentan tasas de crecimiento muy bajas, además de que no viven mucho después de haber alcanzado la madurez sexual.

La relación entre el peso y la longitud para la población total fue de tipo alométrico positivo ($b = 3.09$), lo cual implica que los organismos se encuentran ganando más peso que talla, éstos datos corresponden con los reportados por Contreras Mac-Beath y Ramírez-Espinoza, (1996) quienes mencionan que el valor de b para *P. gracilis* es de 3.07, en cambio, para esta especie en otro cuerpo de agua en Morelos, Gómez-Márquez *et al.* (2008) reportaron tener una relación potencial de tipo alométrico negativo con una b menor a 3.

Para las hembras de *P. gracilis* de este estudio, se obtuvo una relación peso-longitud de tipo alométrica positiva con tendencia a la isometría ($b = 3.07$) y para los machos se obtuvo una relación de tipo alométrica negativa con tendencia a la isometría ($b = 2.92$).

La tendencia de esta relación peso-longitud para toda la población de *P. gracilis* durante el año de estudio fue variable, ya que durante la época de secas mostraron crecimiento de tipo alométrico positivo y en época de lluvias crecimiento de tipo alométrico negativo (julio, octubre y febrero).

De acuerdo con Ricker (1995) el valor de la pendiente de la función potencial (o sea b) indica el crecimiento de los peces con respecto al peso y la longitud, es decir si el valor de b es igual a 3 se sugiere que las partes del cuerpo crecen a un ritmo similar (crecimiento isométrico), si el valor difiere de 3 corresponde a un tipo de crecimiento alométrico, donde los peces pueden estar ganando más talla que peso o a la inversa.

Poeciliopsis gracilis es una especie omnívora con tendencia a ser detritófaga (Rodríguez, 2008), por lo cual su fuente de alimento debería de ser constante a lo largo del año con un aumento en la época de lluvias por el arrastre de sedimento y aporte de nutrientes al sistema, dado esto, el valor del factor de condición (K) tiene los valores máximos durante los meses lluviosos, cuando hay mayor aporte de sedimentos debido a la época de lluvias. Además, la condición disminuye hacia finales del estudio durante la reducción de la temperatura del agua y es probable que la baja en la condición así como el esfuerzo reproductivo, tenga como





resultado una disminución en la abundancia de los organismos durante la fase final del estudio tal como es descrito también por Gómez-Márquez *et al.* (2008) quienes además, mencionan que la disminución de la condición se da por la disminución en las reservas corporales durante la maduración de las gónadas. El factor de condición de las hembras se relacionó mejor con la temperatura que con los otros parámetros, comportamiento similar a lo registrado por Ayala y Vera (2007).

El comportamiento de los índices morfofisiológicos (IHS, IGS) tiene una relación indirecta, ya que al haber un aumento en el valor de uno, el otro disminuye, esto cumple con el supuesto de que los valores máximos del índice gonadosomático se registran en la época de reproducción, debido al aumento del peso de la gónada; en cambio, el valor del índice hepatosomático disminuye en ese mismo punto, ya que el hígado ayuda en la producción de una fosfoglicoproteína llamada vitelogenina que se incorporará en el vitelo en los ovocitos maduros que se van a fecundar durante la reproducción (Rodríguez, 1992), así su valor máximo ocurre antes de que se registre el valor máximo del IGS y después decae, estos valores los reporta también Ayala y Vera (2007) y Gómez-Márquez *et al.* (2008). Para este estudio, los valores de los índices tuvieron una tendencia a decaer conforme avanzó el tiempo. El valor máximo del índice gonadosomático ocurre durante secas cálidas (abril) y secas frías (diciembre), el valor mínimo del IGS ocurre en secas frías (enero), para el índice hepatosomático el valor máximo se reportó durante el inicio de temporada de lluvias (Junio) que es donde ocurre la primera caída del valor del IGS. Estos valores corresponden a los que reporta Ayala y Vera (2007) quienes mencionan que también tiene dos picos altos (durante secas cálidas y otro en menor intensidad durante secas frías).

La época reproductiva del guatapote jarocho se efectúa durante gran parte del año, lo cual coincide con lo citado por Gómez-Márquez *et al.* (2008), con varias etapas de reproducción masiva al año, las que ocurren tanto en la época de estiaje (marzo a mayo), como en la parte final de la época de lluvias, y esto probablemente se debe a la cantidad de alimento que hay disponible en el sistema, por aporte de material alóctono al mismo, así como a la temperatura del agua del sistema y a las fluctuaciones estacionales del fotoperiodo, esto según Burns (1985) quien menciona que a mayor horas luz, hay un aumento en el porcentaje reproductivo





de *P. gracilis*, que puede ser hasta de un 20%. Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996) mencionan que *P. gracilis* se reproduce mayormente durante la época de lluvias (agosto y septiembre), Gómez-Márquez *et al.* (2008) reportaron una mayoría de hembras en estadio V durante época de lluvias (octubre) y en menor intensidad en la época de secas frías (enero). Rosen y Bailey (1963) determinaron que el ciclo reproductivo de los poecilidos en zonas templadas y subtropicales tiende a disminuir al final del verano y otoño y termina en invierno. En este estudio, *P. gracilis* se reproduce durante todo el año con mayor frecuencia, en los meses de marzo, julio y noviembre.

El proceso de maduración sexual para *P. gracilis* ocurre de manera asincrónica para las hembras con respecto a los machos, la talla calculada de primera madurez sexual arrojó que las hembras a los 3.7 cm son organismos completamente maduros, mientras que la talla mínima observada fue de 3.3 cm y para los machos, el organismo que presentó la talla mínima con una estructura gonopodial completamente formada fue de 2.5 cm. Gómez-Márquez *et al.*, (2008) reportaron tallas más pequeñas para la especie, para hembras fue de 2.8 cm y para machos 2.2 cm. Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996) reportaron para esta especie una talla de 3.6 cm para las hembras y para los machos 2.2 cm, datos similares los reportan Ayala y Vera (2007) donde el valor de primera talla de madurez sexual para las hembras fue de 3.6 cm y para machos 2.2 cm.

Para el cálculo de la fertilidad se consideró el número de embriones y huevos presentes en las gónadas, donde se obtuvo un promedio de 11; cuando esto se relaciona con el peso del organismo, se obtuvo un bajo coeficiente de correlación ($r = 0.6594$), en cambio con la talla se mostró una mejor correlación ($r = 0.9561$), lo que podría implicar que a mayor talla, se incrementa el número de huevos y embriones. Ayala y Vera (2007) mencionan que el promedio para la fertilidad de *P. gracilis* fue de 7 embriones, pero solo consideraron el conteo de embriones, no el número de huevos y embriones como propone Cabrera y Solano (1995). Gómez-Márquez *et al.* (2008) mencionan un promedio de 3 embriones con un coeficiente de correlación de 3.13% indicando que no hay correlación entre el tamaño del cuerpo y la fertilidad.





Esto contrasta entre los obtenidos en este estudio y lo reportado por Gómez-Márquez *et al.* (2008). Esta diferencia posiblemente se puede deber a que en este estudio se agruparon los datos por clase de talla, lo cual disminuye la variación de la información y permite una mayor asociación entre las variables, contrario a lo realizado por los autores señalados cuyo gráfico muestra una alta variación entre las variables.

Para el caso del potencial reproductivo de la especie, se contabilizaron desde 2 hasta 30 óvulos por hembra, y su media fue de 16 óvulos por organismo con un coeficiente de correlación con la longitud de $r = 0.89$ y para la relación que existe con el peso, se determinó un bajo coeficiente de correlación ($r = 0.60$). Urriola-Hernández *et al.*, (2004) mencionan que la relación entre fertilidad y fecundidad con la talla será siempre positiva. Shoenherr (1997) menciona que los términos de fecundidad y fertilidad no son aplicables del todo a poecílicos debido a que existen especies que presentan superfecundación y porque se encuentran embriones con diferentes estadios de desarrollo.

Como se sabe, la superfecundación es la capacidad que poseen las hembras de llevar simultáneamente más de una cría en diferentes estadios de desarrollo, es una estrategia reproductiva inusual que ha evolucionado de forma independiente varias veces en los peces de la familia Poeciliidae (Zúñiga-Vega *et al.*, 2007). Con base en la evidencia obtenida en este trabajo *P. gracilis* es una especie con bajo índice de superfecundación, donde el número máximo de camadas simultáneas encontrado fue de 4 embriones, el promedio anual de hembras superfecundantes fue de 25.32%. La proporción de hembras con presencia de superfecundación varió a lo largo del estudio, presentándose en mayor proporción durante los meses de marzo y abril-2017 y en febrero del 2018 periodo que corresponde a la época de secas, aunque no hubo una relación estadísticamente significativa con los parámetros físico-químicos y tampoco con la concentración de la Clorofila "a" presente en el sistema. Ayala y Vera (2007) reportaron que *P. gracilis* mostró un grado de superfecundación de 6.1%. Burns (1985) también reporta un porcentaje del 25% de hembras superfecundantes, al igual que reporta Gómez-Márquez *et al.* (2008) y Frías-Álvarez (2014, 2015a, 2015b).

El índice de matrotrofia (IM) indica la cantidad de nutrientes transferidos de la hembra a los embriones en desarrollo y el valor obtenido del análisis puede indicar si los organismos son





matrotrofos o lecitotrofos; muchos poecilidos vivparos han sido considerados como especies lecitotrofos, donde la nutrici3n provista a los embriones en desarrollo depende completamente del vitelo del huevo (Marsh-Matthews, 2011). Los embriones de especies lecitotrofos ovparas y vivparas, pierden en promedio el 30-35% de su peso seco durante el desarrollo (Wourms *et al.*, 1988; Marsh-Matthews, 2011). Marcelo *et al.* (2009), reporta que algunas especies del g3nero *Poecilia* (*P. parae*, *P. bifurca* y *P. branneri*) mostraron una caracterfstica de aprovisionamiento materno, donde hubo un incremento en el peso de la masa seca de los embriones durante el desarrollo, el valor de su IM fue para *Poecilia parae* = 9.97 *Poecilia bifurca* = 55.06 y de *Pecilia branneri* = 63.84, lo cual seg3n Reznick *et al.* (2002, 2007), le otorga la condici3n de especies matrotrofos, ya que el valor del IM es mayor a 1. En este estudio *P. gracilis* tuvo un valor de IM por debajo de 1 (IM = 0.47), por lo que esta especie es considerada como lecitotrofica, consideraci3n que se asemeja a lo reportado por Olivera-Tlahuel *et al.*, (2015) con un IM = 0.84, caso contrario, Molina (2014) reporta en su trabajo que *P. gracilis* tiene valores cercanos a 1 y arriba de 1 de varias poblaciones analizadas, estos valores fueron encontrados en la estacionalidad de secas.

Marsh-Matthews (2011), cita que las especies lecitotrofos son limitadas en el n3mero inicial de huevos que la hembra puede fertilizar, porque una gran cantidad de recursos son necesarios para producir huevos con gran cantidad de vitelo. En contraste, la matrotrofa puede incrementar la fecundidad total porque el tama3o inicial del huevo es peque3o y la hembra puede fertilizar un gran n3mero de huevos relativamente sin una gran inversi3n energ3tica inicial.

Esta variabilidad en los valores obtenidos, se cree pueda deberse en primer lugar al registro de los estadios de madurez gon3dica de la especie asociado a la talla de las hembras, as3 como al n3mero de organismos utilizados para la obtenci3n del ndice y, a las condiciones ambientales en las cuales se registr3 la presencia de los peces, las cuales pueden variar y son en algunos casos muy puntuales.

Con esto queda verificado que la especie se comporta en el sistema acu3tico, como un organismo con bajo ndice de superfetaci3n, una especie lecitotrofica y que la poblaci3n





presenta una mayor cantidad de hembras con respecto a los machos, como ha sido reportado en otros estudio y en diferentes ambientes acuáticos.

Conclusiones

Con base en los datos obtenidos a través de un ciclo anual, se puede aseverar que para la población de *Poeciliopsis gracilis*, la proporción sexual estuvo sesgada a favor de las hembras.

Se observó que las hembras tuvieron un tipo de crecimiento alométrico positivo con tendencia a la isometría, crecimiento que se da en las hembras vivíparas que aumentan en peso, en lugar de talla, debido al incremento de las gónadas por efecto del proceso reproductivo.

Durante este estudio, el factor de condición indicó que la población de este poecílido tenía un buen grado de condición, asociado más con la temperatura del agua y con la clorofila “a” presente en el sistema.

El valor del índice hepatosomático (IHS) parece que tiende a disminuir conforme avanza el tiempo del estudio; el índice gonadosomático (IGS) indicó dos puntos durante el ciclo anual, coincidiendo con la época de reproducción.

El registrar organismos indeterminados o crías durante todo el estudio, indicó que *P. gracilis* se reproduce constantemente.

La talla de primera madurez en hembras de *P. gracilis* fue de 3.7 cm, pero se obtuvieron hembras grávidas con tallas más pequeñas, los machos con la estructura gonopodial totalmente formada con el gancho (machos maduros) se registró en tallas a partir de los 2.5cm.

Este estudio se reporta a *P. gracilis* como un poecílido lecitotrófico (IM = 0.47) superfetante (25.32%), que durante la época de secas, hay un aumento de hembras que presentan esta





condición, más no parece tener una relación con parámetros ambientales ni con la estacionalidad.





Referencias

- Ai-Li, A. y Reznick, D. (2000). Life History of *Phalloceros caudimaculatus*. A novel variation on the theme of livebearing in the Family Poeciliidae. *Copeia*, 3: 792-798.
- Allan, G.L. y P.M. Pankhurst. (2005). The effects of salinity and temperature on growth and survival of Australian snapper, *Pargus auratus* larvae. *Aquaculture*. 20:201-214.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y Flores-Nava, A. (1992). Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*, vol. 2, núm.1-2: 1-10.
- Arredondo, F.J.L. y Ponce, J.T. P (1998). *Calidad del agua en acuicultura: Conceptos y aplicaciones*. AGT Editor.S.A. 222 p.
- Ayala, H. I. y Vera, G. Ma. G. (2007). Estudio reproductivo de *Poeciliopsis gracilis* de la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. TESIS para obtener el grado de Biólogo por Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 53p.
- Burns, J.R. (1985). The Effect of Low-Latitude Photoperiods on the Reproduction of Female and Male *Poeciliopsis gracilis* and *Poecilia sphenops*. *Copeia*, Vol. 1985, No. 4 pp. 961-965.
- Cabrera, P.J. y Solano, L.V. (1995). Fertilidad en *Poeciliopsis turrubarensis* (Pisces: Poeciliidae), *Rev. Biol. Trop*, 43 (13): 317:320
- Cifuentes, R., Gonzales, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P. y Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepc.)* [online]. vol.76, suppl.1: 86-100. [revisado 2017-02-22]
- Clark, E. & Aronson, L. R. (1951). Sexual behavior in the guppy *Lebistes reticulatus* (Peters). *Zoológica* 36, 49—66.
- CONABIO y UAEM. (2004). *La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado*. Contreras-MacBeath, T., J.C. Boyás, F. Jaramillo (editores). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 156 p.
- Contreras, F.E (1994). Manual de técnicas microbiológicas. UNAM-Iztapalapa. Ed. Trillas, México. 149 p.





- Contreras-Balderas, S. (2004). *Conservation status of Mexican freshwater viviparous fishes (Poeciliidae)*. Prentice Hall. New Jersey.
- Contreras-MacBeath, M.J. y Ramírez-Espinoza, E. M. (1996). Some aspects of the reproductive strategy of *Poeciliopsis gracilis* (Osteichthyes: Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos. *Journal of Freshwater Ecology*: 11(3): 327-337.
- Contreras-MacBeath, T., M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y H. Mejía-Mojica. (2014). Peces invasores en el centro de México, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 413-424.
- Daniel, W.W. (2002). *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. 4a ed., Limusa, México, 878 pp.
- Echeverría, T. W. (1987). Thirty-four species of California rockfishes: maturity and seasonality of reproduction. *Fish. Bull.* 85: 229-250.
- Espinosa-Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.* 85: S450-S459, 2014
- Farr, J.A. (1989). Sexual selection and secondary sexual differentiation in poeciliids: Determinants of male mating success and the evolution of female choice. Pp. 91-123. En: Meffe, G.K. y F.F. Snelson, Jr. (Editor). *Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*. Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey.
- Frías-Álvarez, P., Macías García C., Vázquez-Vega L. F. y Zúñiga-Vega J. J. (2014). Spatial and temporal variation in superfoetation and related life history traits of two viviparous fishes: *Poeciliopsis gracilis* and *P. infans* *Naturwissenschaften*, 101: 1085. 10.1007/s00114-014-1247-2
- Frías-Álvarez P. y Zúñiga-Vega, J.J. (2015a). Superfetation in livebearing fishes is not always the result of a morphological constrain. *Oecologia*, Publicado en línea. DOI 10.1007/s00442-015-3477-1
- Frías-Álvarez P. (2015b). Factores que promueven y mantienen la variación en la superfetación de peces vivíparos de la familia *Poeciliidae* en México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 123 p.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Serie Libros, Instituto de Geografía, UNAM, México. núm. 6. 90p





- García-Gómez A. De la Granada F. y Raja T. (2002). Utilización del aceite de clavo *Syzygium aromaticum* L. (Merr. & Perry), como anestésico eficaz y económico para labores rutinarias de manipulación de peces marinos cultivados. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 18 (1-4): 21-23
- Ghedotti M. J. (2000). Phylogenetic analysis and taxonomy of the poeciliid fishes (Teleostei: Cyprinodontiformes). *Zoological Journal of the Linnean Society* 130: 1-53.
- Gómez-Márquez, J.L. Peña-Mendoza, B. Salgado-Ugarte, I.H. Sánchez-Herrera, A.K. y Sastre-Báez, L. (2008). Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Rev. Biol Trop.* 164: 38-50.
- Gómez-Márquez J.L., Peña-Mendoza B., Rosas-Hernández M.P., Ortiz-Rivera A., Ramírez-Razo R.A. y Guzman-Santiago J.L. (2009). Inventario de los Sistemas Lenticos del Estado de Morelos. En: Galdaméz G., Guevara H., Soto P., López M., y Vázquez G. (comp). *Agricultura sostenible. Universidad Autónoma de Chiapas, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C.* 6: 1-11.
- Gómez-Márquez, J.L., Blancas-Arrollo, G.A., Constanzo, C.E., Cervantes-Sandoval A., (2014). *Análisis de Calidad de Aguas Naturales y Residuales con Aplicación a la Microescala.* FES Zaragoza, UNAM 203p
- Gómez-Márquez J. L. Cervantes-Sandoval A. Salgado-Hugarte I. H. Peña-Mendoza B. Alejo-Plata M. C. Guzmán-Santiago J. L. Mendoza-Vallejo E. y Machuca-Rodríguez C. (2016). *Temas Selectos de Biología Pesquera.* FES Zaragoza, UNAM. 337p
- Gómez Ortiz, C.A. (2015). Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un bordo del estado de Morelos. (Tesis para obtener título de Licenciatura en Biología) Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, CDMX, México. 111p
- González J.E. Evaluación del tiempo de fatiga del guppy (*Poecilia reticulata*, Peters, 1859). *Anales Universitarios de Ecología.* (2008) 2:25-30.
- Haynes, J. L. (1995). Standardized classification of poeciliid development from life-story studies. *Copeia*, No 1: 147-154
- Hildebrand S., y Foster F. (1924). *Priapichthys letonai*. Poeciliidae número de catálogo: USNM 87251. Colección en: Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, Department of Vertebrate Zoology, Division of Fishes. Disponible en: <http://n2t.net/ark:/65665/339271cd9-567b-4e6f-817f-d923d52f9ad0>
- Hutchinson G.E. And Löffler H. (1955). The Thermal Classification Of Lakes. *Proc Natl Acad Sci USA*; 42(2): 84-86.





- INAFED (2016). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Morelos, Ayala. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17004a.html>
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ayala, Morelos. 9 p.
- Karayücell, I., O. Ak y S. Karayücell. (2006). Effect of temperature on sex ratio in guppy *Poecilia reticulata* (Peters 1860). *Aquaculture Research*, 37: 139-150. doi:10.1111/j.1365-2109.2005.01412.x
- King, M. (2007). *Fisheries Biology. Assessment and Management*. Fishing News Books. Blackwell Science. Ltd. 382 p.
- Lagler, K. F., Bardach, J. E., Miller, R. R. y Passino, D. R. (1977). *Ichthyology*. John Wiley & Sons, New Jersey. 506p.
- Lind, O.T. (1979) *Handbook of common methods in limnology*. Mosby United States of America: The C.V. Mosby Company. 199p.
- Lucinda P.H.F. y Reis R.E. (2005). Systematics of the subfamily Poeciliinae Bonaparte (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), with an emphasis on the tribe Cnesterodontini Hubbs. *Rev. Neotropical Ichthyology*, 3: 1-60.
- Marcelo, N., Pires, J.A. and Reznick, D.N. (2009). The evolution of placentas and superfetation in the fish genus *Poecilia* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae: subgenera *Micropoecilia* and *Acanthophaelus*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 99, 784–796.
- Marsh-Matthews, E. (2011). Matrotrophy. En: Evans, P.J., Pilastro A. and Schlupp, I. (Eds). *Ecology and Evolution of Poeciliid Fishes*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Martínez, E. D., Malpica, S. A., y Hernández, A. (2010). Estructura de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta. Artículo de investigación Sociedades Rurales Producción y Ambiente, online disponible en <http://132.248.9.34/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/no20/1.pdf>
- Magurran, A. E. and A. M. Nowak. 1991. Another battle of the sexes: the consequences of sexual asymmetry in mating costs and predation risk in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 246:31-38.





- Meffe, G. K y F. F. Snelson, Jr. (1989). An ecological overview of poeciliid fishes. Pp. 13-31. En Meffe, G. K. y F. F. Snelson, Jr. (Eds). *Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall.
- Mejía-Mojica, H. (1992) Nuevo registro de *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848) (Pisces: Poeciliidae), para la cuenca del río Balsas. Univ. *Cienc. Tecnol. Morelos*. Mx. 2(2):131-136.
- Mendoza A.R. (2018). *Guía visual para la identificación de especies y Catálogo ilustrado para la identificación y uso de las especies invasoras de la región hidrobiológica de Amacuzac*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/317271/Guia.pdf>
- Miller, R.R., W.L. Winckley y S.M. Norris. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 559 p.
- Molina, M. A. (2014). Relación entre la disponibilidad de recursos y el nivel de transferencia de nutrientes entre madres y embriones en dos especies de peces vivíparos. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno Franco P., Quintero M. J., y López C. A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS* 78, 25–33.
- Mukherjee, S., Heithaus, M. R., Trexler, J. C., Ray-Mukherjee, J. y Vaudo, J. Perceived. (2013). Risk of Predation Affects Reproductive Life-History Traits in *Gambusia holbrooki*, but Not in *Heterandria formosa*. PLoS ONE 9(2): e88832. doi:10.1371/journal.pone.0088832.
- Nelson, J.S. (2016). *Fishes of the world*. Fifth edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 622p.
- Olivera-Tlahuel, C., Ossip-Klein, AG, Espinosa-Pérez, HS, y Zúñiga-Vega, JJ (2015). Have superfeation and matrotrophy facilitated the evolution of larger offspring in poeciliid fishes? *Revista Biológica de la Sociedad Linneana*. Linnean Society of London, 116 (4): 787-804. <http://doi.org/10.1111/bij.12662>
- Ospina-Álvarez, N. y F. Piferrer. (2008). Temperature-dependent sex determination in fish revisited: prevalence, a single sex ratio response pattern, and possible effects of climate change. PLoS ONE 3: e2837.
- Palacios A.I.A. (2013). Zooplankton en los sistemas acuáticos "Amate Amarillo y los Planes", en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.





- Palomo L. C. Y. (2016). Edad y crecimiento de la tilapia en el bordo Amate Amarillo, Morelos, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 73 p.
- Parenti L.R. (1981). A Phylogenetic and biogeographic analysis of Cyprinodontiforms fishes (Teleostei, Atherinomorpha). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 168: 335-557.
- Parenti, L.R. y M. Rauchenberger. (1989). Systematic overview of the Poeciliines. G.K. Meffe y F.F. Snelson, Jr. (eds.) *Ecology and evolution of livebearing fishes (poeciliidae)*. Prentice Hall. pp. 260-262.
- Ponce de León, J.L., R. Rodríguez y G. León. (2013). Life-History Patterns of Cuban Poeciliid Fishes (Teleostei: Cyprinodontiformes). *Zoo Biology* 32: 251–256.
- Retana R.J. y Vázquez A.G.D. (2015). Importancia ecológica y abundancia del zooplancton, en el microreservorio Huitchila en el estado de Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reznick, D. (1983). The structure of guppy life histories, the tradeoff between growth and reproduction. *Ecology* 64: 862-873.
- Reznick, D.N. y D.B. Miles. (1989). A review of life history patterns in poeciliid fishes, p. 125-148. En: Meffe, G. K. & F. F. Snelson, Jr. (eds). *Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*. Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey.
- Reznick, D.N. y Ghalambor, C.K. (2001). The population ecology of contemporary adaptations: what empirical studies reveal about the conditions that promote adaptive evolution. *Rev. Genética* 112-113: 183-98
- Reznick, D.N. Mateos M. y Springer M.S. (2002). Independent origins and rapid evolution of the placenta in the fish genus *Poeciliopsis*. *Science* 298(5595): 1018-1020.
- Reznick, N.D., Meredith, R. y Collete, B.B. (2007). Independent evolution of complex life history adaptations in two families of fishes, live-bearing halfbeaks (Zenarchopteridae, Beloniformes) and Poeciliidae (Cyprinodontiformes). *Evolution* 61 (11): 2570-2583.
- Ricker W., (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research. Board of Canada*. 191. 382 p.
- Rivera, C. O. A. y Hernández, G. G. N. (2011). Producción y calidad del agua de los reservorios “Amate Amarillo”. Informe de Investigación de LIF’S V y VI como alternativa para obtener el título de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza México. Universidad Nacional Autónoma de México.





- Rodríguez, C.D.G. (2008). Hábitos alimentarios de *Poeciliopsis fasciata* (Meek, 1904) y *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1948) en la porción Oaxaqueña de La Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. México
- Rodríguez-Gutiérrez, M. (1992). Técnicas de la evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces, Ed AGT. México. 159p.
- Roellig, K., Menzies, B.R., Hildebrandt, T.B. y Goeritz, F. (2011). The concept of superfetation: a critical review on a myth in mammalian reproduction. *Biol. Rev.* 86: 77-95.
- Rombough, P.J. (1996). The effects of temperature on embryonic and larval development. Wood C.M. y D.G. McDonald (Eds.). Society for Experimental Biology. Seminary Series Global Warming 61: 177– 223.
- Rosen, D.E. & Bailey, R. (1963). The poeciliid fishes (Cyprinodontiformes), their structure, zoogeography, and systematics. *Bulletin of American Museum of Natural History* Vol. 126:1
- Salgado-Ugarte, I.H., Gómez-Márquez, J.L. y PeñaMendoza, B. (2005). Métodos actualizados para Análisis de Datos Biológico-Pesqueros, 240 pp. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM, México.
- Schindler, D.W. (1991). Lakes and Oceans as Funtional Wholes: 91-122. En: Barnes R.S.K. and K.H. Mann (Edited). *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Second Edition, Blackwell Scientific Publ.
- Scrimshaw, N. S. (1994). Superfeatation in poeciliid fishes. *Copeia* 1944: 180-183.
- Snelson, F.F. (1984). Seasonal maturation and growth of males in a natural population of *Poecilia latipinna*. *Copeia*. 1: 252-255.
- Trujillo-Jiménez, P. y Toledo, B.H. (2007). Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinidontiformes: Poeciliidae). *Rev. Biología Tropical* 55(2): 603-615.
- Uribe, M.C. De la Rosa-Cruz G, García-Alarcón A. 2005. *The Ovary of viviparous teleosts*. Morphological differences between the ovaries of *Goodea atripinnis* and *Ilyon whiyhey* (Goodeidae) En: Uribe MC, Grier HJ (Editores). *Viviparous Fishes*. New Life Publications. Homestead, FL. USA. Pp: 217-236.





- Urriola, H.C., Peña J. M. y Protti, Q.M. (2003). Fecundidad, Fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (4): 945-950.
- Urriola, H. C., Cabrera, P.M. y Protti, Q.M. (2004). Composición, crecimiento e índice de condición de una población de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae), en un estanque en Heredia, Costa Rica. *Rev. Biología Tropical* 52: 157-162.
- Wetzel, R. G. y Likens, G.E. (2000). *Limnological analyses*. Springer Verlag. 3, hEd. New York. 429 Pp.
- Wourms, J.P., Grove, B.D. and Lombardi, J. (1988). The maternal embryonic relationship in viviparous fishes. In: Hoar, W.S., Randall D.J. (Eds). *Fish physiology*, vol. 11B. New York: Academic Press.
- Yañez-Arancibia, A. y Nungent, R. (1977). El Papel Ecológico De Los Peces En Estuarios Y Lagunas Costeras. *An. Centro. Cienc. Del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. 4, 107-114.
- Zar, J. H. (1974). *Biostatistical analysis*. [Department of Biological Sciences. Northern Illinois University, DeKalb, tL] Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 620 p.
- Zúñiga-Vega J., Reznick D. y Jhonson, J.B. (2007). Habitat predicts reproductive superfetation and body shape in the livebearing fish *Poeciliopsis turrubarensis*. *Synthesis in Ecology*. *Rev. OIKOS* 116: 995–1005. doi:10.1111/j.0030
- Zúñiga-Vega JJ, Macías-García C. y Johnson, JB. (2010). Hipótesis para explicar la evolución de la superfetación en peces vivíparos. En: Uribe MC, Grier HJ, editores. *Viviparous Fishes II*. Homestead: New Life Publications. Pp. 241-254.
- Zúñiga-Vega, J.J., A.L. Hernández-Rosas, A. Molina-Moctezuma, H.A. Pérez-Mendoza, F.R. Rodríguez-Reyes, Y.M. Bravo-Espinosa1 y H. Espinosa-Pérez. (2013). Population abundance and sex ratio of the viviparous freshwater fish *Poeciliopsis baenschi* (Poeciliidae) throughout its range in western Mexico. *Western North American Naturalist* 72(3): 357–368.

