



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Edad y crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* en el bordo de Amate Amarillo,
Morelos

**INFORME DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA VII Y VIII
COMO ALTERNATIVA DE TITULACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA

AIDA VICTORIA MUÑOZ RUIZ

Director de Tesis: Dr. José Luis Gómez Márquez
Realizada con el apoyo del proyecto PAPIME PE213718



Ciudad de México, Septiembre 2020



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.

Hay que nombrar y nombrar esas especies que hay en el mar
Haaay poríferos, quelicerados, hidrozoos, escifozoos,
antozoos, ctenóforos, briozoos y más.
Hay moluscos, gasterópodos, artrópodos,
equinodermos, cordados y otros como tu y yo.
Hay algas marinas que lindas son, hacen comida
del rayo del sol.

Maestro Raya, Buscando a Nemo



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 permitirme concluir mis estudios y por haber puesto en mi camino a personas tan maravillosas y sabias.

Al proyecto DGAPA-PAPIME PE213718, por haber confiado en mi y darme la oportunidad de concluir este proyecto que sin duda me deja grandes enseñanzas que podré utilizar a lo largo de mi vida.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez por ser para mí, una persona llena de sabiduría y sobre todo de paciencia. Gracias por darme la oportunidad de pertenecer a este gran laboratorio, por darme todas las herramientas para llegar al final de este camino. Pero sobre todo quiero agradecerle por haberme enseñado a siempre dar lo mejor de mí y nunca darme por vencida. Siempre lo voy a considerar como un segundo papá, porque siempre quiso lo mejor para mí.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza por ser una gran profesora, por apoyarme en todo momento y más cuando me sentía perdida. Gracias por siempre cuidarme y preocuparse, porque sé que el haber llegado hasta aquí gran parte se lo debo a usted. Le agradezco de todo corazón que haya resuelto cada una de mis dudas por más insignificantes que fueran y por siempre confiar en mí. La considero como mi segunda mamá porque siempre estuvo pendiente de que comiera bien en cada una de las prácticas de campo.

Al Biol. José Luis Guzmán Santiago por siempre tener un momento libre entre todas sus clases para ayudarme a resolver cada una de mis dudas



Al Mto. Ernesto Mendoza porque a pesar de la difícil situación que vivimos, me brindó su atención y sus aportaciones hicieron que este trabajo fuera mejor. Gracias por haber sido un gran profesor y siempre tener unos minutos para saludar y conversar.

Al Mtro. Armando Cervantes Sandoval, por la atención y todos sus comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo. Le agradezco por haber compartido su conocimiento durante toda la carrera.

A los pescadores de la Sociedad Cooperativa Xalostoc, que nos permitieron realizar cada uno de los muestreos en el bordo Amate amarillo y que siempre nos brindaron su apoyo.

A la Mtra. Eloisa quien me brindó su ayuda cuando algo no me salía y porque siempre me daba palabras de aliento para continuar y no darme por vencida.

Al Biól. Luis Samuel Campos Lince †, por todo su conocimiento y sus enseñanzas que me brindó cuando cursé biometría. Gracias por haberme mostrado que la vida no es fácil y que con cada obstáculo siempre hay algo que aprender. Hasta donde quiera que esté, gracias por haberme enseñado a dar lo mejor de mi y que siempre hay una solución para todo.



Dedicatorias

Dedico este y todos mis logros a mi familia, en especial a mi mamá Araceli Ruiz y a mi papá Victor Muñoz. Gracias por todo el apoyo que me dieron desde que entré a la universidad, por siempre darme una solución cuando más perdida me sentía y por siempre haber creído en mí.

A mi hermana Anais Ruiz por haber sido una gran compañía cuando tenía mucha tarea, por ser mi confidente y apoyarme durante todo este proceso.

A Daniel S. por siempre hacerme reír con tus bailes y por toda la ayuda que me brindaste a lo largo de este camino.

A mis primos y a mi tía, por haber estado a lo largo de este camino y apoyarme siempre.

A Jorge, Uriel y Braulio, por compartir su conocimiento y más que nada por todas las risas y las idas al cine.

A Maximiliano, por todo el apoyo y la ayuda. Porque “no imagino un escenario de mi vida en el que no aparezcas”.

A Fernando Monfil por todo el apoyo, las risas, por ponerle música a mi vida y sobre todo por ser el mejor vecino de laboratorio.

A Diana y Erika por haber estado en mis mejores y peores momentos, por el apoyo y la ayuda. Gracias por ser las mejores amigas que alguien pueda tener.

A Karina e Isaac, por su gran amistad, por el apoyo que me brindaron cuando más lo necesité y por los buenos ratos.

A Wendy y Carlos, que a pesar del poco tiempo que convivimos, me brindaron su apoyo, su ayuda y su amistad. Gracias por todos sus consejos que me ayudaron a llegar hasta el final.

A Ana, Adrián, Leslie, Tania, Irving y todos aquellos que forman y formaron parte de este laboratorio, por haber creído y confiado en mí. Gracias por todo su



conocimiento, enseñanzas de vida, los buenos ratos y sobre todo por los chistes malos que hacían.

A Valeria, por el apoyo, el cariño y los buenos ratos que pasamos dentro y fuera del grupo de danza. Gracias por brindarme tu amistad.

A mi mejor amiga Karla, que ha estado para apoyarme y ayudarme a lo largo de 17 años. Gracias por formar parte de este largo camino y por todos los buenos momentos.

A mis profesores de piano y violín, Erika e Israel, quienes a lo largo de casi 13 años me han visto crecer como persona, creyeron en mi y me brindaron su apoyo, su conocimiento y enseñanzas de vida.



ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	10
Biología de la especie	12
Justificación	14
Objetivos	15
General	15
Particulares	15
Material y método	16
<i>Zona de estudio</i>	16
<i>Fase de campo</i>	19
<i>Trabajo de laboratorio</i>	20
<i>Trabajo de gabinete</i>	22
Resultados	28
Factores ambientales.....	28
Biometría de la especie.....	32
Relaciones biométricas	34
Factor de condición (Le Cren).....	38
Frecuencia de tallas	40
Proporción sexual	41
Edad con método directo (escamas).....	42
<i>Relación longitud total-radio de la escama</i>	42
<i>Validación de la edad</i>	43
<i>Edad de los organismos con el conteo de circullis</i>	43
Modelos de crecimiento	44
<i>Modelo de von Bertalanffy</i>	45
<i>Modelo de Gompertz</i>	52
<i>Comparación de modelos Gompertz y von Bertalanffy</i>	61
Longevidad	61
Discusión	62
Conclusión	76
Referencias	77



Resumen

En el presente trabajo se analizó el ciclo anual de crecimiento y edad de *Poeciliopsis gracilis*, en el bordo Amate Amarillo, Morelos, este es un sistema artificial somero de aguas productivas, en el que se lleva a cabo la captación de agua de lluvia, para posteriormente darle diversos usos, como el riego, abrevadero, cultivo de peces, entre otros. Durante el periodo de estudio el agua del sistema presentó un pH entre 7-8.5, aguas duras, con una alta productividad y una temperatura máxima en abril de 26.08°C y mínima de 21.3 en el mes de enero. El trabajo se realizó en el periodo de septiembre-2018 hasta agosto 2019, en total de recolectaron 641 organismos, donde la proporción sexual estuvo a favor de las hembras durante todo el estudio (4.2:1), en cuanto a la relación peso-longitud para la población se tuvo un crecimiento de tipo alométrico positivo, el mismo comportamiento presentaron las hembras y los machos. El factor de condición relativo Le Cren (K_r) presentó valores por arriba de 1 durante todo el estudio, lo que indica que los organismos están en buena condición. Se determinó la edad de 365 organismos a través de la lectura de 1090 escamas, de los cuales la máxima fue de 4 meses y la mínima de 12 días. Se demostró que las marcas de crecimiento se depositaban cada 3 días, la especie posee una longevidad de aproximadamente dos años. Finalmente se obtuvieron los modelos de crecimiento de von Bertalanffy para la población, hembras y machos los cuales tuvieron una longitud asintótica de 19.65, 11.33 y 8.25, respectivamente, igualmente para Gompertz tuvo valores de 10.07, 8.48 y 3.89 cm. El segundo modelo es el que mejor se ajusta a los datos observados.

De acuerdo con la longevidad calculada con Taylor (1972) se obtuvo una longevidad de 2 años para *P. gracilis*.



Introducción

Los peces son animales acuáticos de sangre fría, caracterizados por poseer vértebras, branquias y aletas, dependen fundamentalmente del agua, que es el medio donde viven. Hasta el momento se conocen 27 977 especies (válidas), de los cuales, 58% del mundo son de aguas saladas, un 41% viven en aguas dulces y un 1% vive en ambientes salobres (Eschmeyer *et al.*, 2010; Nelson *et al.*, 2016).

Son una fuente importante de alimentos, encaminada a satisfacer las necesidades alimentarias del hombre y se ha convertido en un recurso muy importante, ya que el 70% de la producción mundial de pescado se destina al consumo humano directo; el resto a la producción de harina y a otros fines. Sin embargo, debido al aumento de la población mundial, la demanda de este recurso ha seguido creciendo e incluso se prevé que para los próximos años el consumo humano habrá superado los 100 millones de toneladas (Welcomme, 1998; FAO 2010).

La visión global de desarrollo y promoción que consideraba a los recursos acuáticos como inagotables, se ha modificado por una visión de uso sustentable sin dejar de lado el beneficio económico (FAO, 2016). En el 2016 fue registrada una producción pesquera nacional de 2 007 732 toneladas. En el caso de la actividad pesquera desarrollada en las aguas continentales del país se alcanzó un volumen de 53 633 toneladas, lo cual representó el 2.58% de la producción pesquera nacional (CONAPESCA, 2017).

En México se comercializan anualmente más de 40 millones de peces de ornato de agua dulce, lo cual genera un ingreso de aproximadamente 1,650 millones de pesos, a precio de menudeo. El 48% se importa y el 52% restante se cultiva en más de 250 (Unidades de producción acuícola) UPA's localizadas en 20 entidades federativas de la República Mexicana. Las primeras UPA's comerciales de peces de ornato de agua dulce se establecieron en el país durante la década de 1970, con la finalidad de diversificar la producción tradicional de la acuicultura. Sin embargo, fue hasta la década de 1990 cuando el cultivo logró establecerse y crecer, especialmente en el estado de Morelos, donde actualmente existen



alrededor 200 UPA's distribuidas en 17 de los 33 municipios de la entidad, las cuales producen anualmente aproximadamente 17 millones de organismos de 61 variedades pertenecientes a 19 especies. Los principales estados productores de peces de ornato son: Morelos, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Jalisco. En el estado Morelos, se cultivan aproximadamente 25 especies de peces de ornato en más de 219 unidades de producción acuícola (Diario Oficial, 2012).

La introducción de los peces de una región a otra es resultado del intenso comercio global relacionado con las actividades deportivas, acuicultura, propósitos de control biológico y uso ornamental. El incremento del comercio de peces para uso ornamental ha crecido hasta convertirse en una actividad que representa alrededor de 30 billones de dólares anuales en todo el mundo (Chang *et al.* 2009).

El estado de Morelos se ha convertido en uno de los principales centros de cultivo y comercio de peces ornamentales y esta actividad provoca una enorme posibilidad de llevar a un número mayor de especies no nativas a los ambientes y convertirse en un serio riesgo para las áreas de cuidado ecológico (Mejía-Mojica *et al.*, 2012).

Con respecto a la producción de peces de ornato a nivel nacional, en el 2016 se tuvo una producción de 25 870 kilogramos con un valor de \$51,757.00, de las cuales el 40% (10,248 Kg) fueron cultivadas en Morelos, en segundo lugar Tabasco con el 35% (9145 Kg) y después Jalisco con el 14% (3731 Kg) y Guerrero con el 8% (1923 Kg). 25 de estas especies son tropicales y representan el 70% de las ventas anuales del mercado nacional (CONAPESCA, 2017).

La acuicultura ornamental o acuariofilia es una actividad económica y social de gran relevancia para el desarrollo regional, ya que se desarrolla en el medio rural, generando empleos principalmente a las mujeres, pues en las 711 granjas trabajan 3,199 varones y 2,079 mujeres. Los estados de la República donde están establecidas las granjas de peces ornamentales son Jalisco, México, Veracruz, Yucatán y Morelos, siendo este último el principal productor con 30 millones de peces al año. En algunas unidades de producción acuícola, además de tener



como principal cultivo la tilapia se ha integrado como segunda opción a los peces de ornato (CONAPESCA, 2017).

En México se comercializan anualmente más de 40 millones de peces de ornato de agua dulce, lo cual genera un ingreso de aproximadamente 1,650 millones de pesos, a precio de menudeo. El 48% se importa y el 52% restante se cultiva en más de 250 (Unidades de producción acuícola (UPA's) localizadas en 20 entidades federativas de la República Mexicana. Las primeras UPA's comerciales de peces de ornato de agua dulce se establecieron en el país durante la década de 1970, con la finalidad de diversificar la producción tradicional de la acuicultura. Sin embargo, fue hasta la década de 1990 cuando el cultivo logró establecerse y crecer, especialmente en el estado de Morelos, donde actualmente existen alrededor 200 UPA's distribuidas en 17 de los 33 municipios de la entidad, las cuales producen anualmente aproximadamente 17 millones de organismos de 61 variedades pertenecientes a 19 especies. Los principales estados productores de peces de ornato son: Morelos, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Jalisco. En el estado Morelos, se cultivan aproximadamente 25 especies de peces de ornato con más de 219 unidades de producción acuícola (Diario Oficial, 2012).

Con respecto a la producción de peces de ornato a nivel nacional, en el 2016 se tuvo una producción de 25 870 kilogramos con un valor de \$51,757.00, de las cuales el 40% (10,248 Kg) fueron cultivadas en Morelos, en segundo lugar, Tabasco con el 35% (9145 Kg) y después Jalisco con el 14% (3731 Kg) y Guerrero con el 8% (1923 Kg). 25 de estas especies son tropicales y representan el 70% de las ventas anuales del mercado nacional (CONAPESCA, 2017).

La acuicultura ornamental o acuariofilia es una actividad económica y social de gran relevancia para el desarrollo regional, ya que se desarrolla en el medio rural, generando empleos principalmente a las mujeres, pues en las 711 granjas trabajan 3,199 varones y 2,079 mujeres (65%). Los estados de la República donde están establecidas las granjas de peces ornamentales son Jalisco, México, Veracruz, Yucatán y Morelos, siendo este último el principal productor con 30



millones de peces al año. En algunas unidades de producción de Tilapia, se ha integrado como segunda opción a los peces de ornato (CONAPESCA, 2017).

En los estudios de biología pesquera, la determinación de la edad y el crecimiento de los peces es una herramienta importante en el manejo y aprovechamiento de los recursos acuáticos, principalmente en especies de interés comercial, sin dejar de lado a las especies que tienen una trascendencia ecológica en el ecosistema acuático.

La importancia de la obtención de la edad y la tasa de crecimiento aplicada en los modelos analíticos para la evaluación de las poblaciones, permiten determinar de una manera más adecuada los niveles de explotación a los que se debe someter el "stock" (parte de la población que normalmente se toma en cuenta para fines de explotación y administración pesquera, Csirke, 1989), así como conocer su ciclo de vida y de esta forma proporcionar criterios para una mejor administración y control para el aprovechamiento sustentable de los recursos acuáticos (González y Eslava, 1999; Caddy, 2011).

Para los biólogos pesqueros, los otolitos, las escamas y las estructuras duras (óseas) en general, son herramientas importantes para entender el comportamiento y desarrollo de la vida de los peces, así como de las poblaciones pesqueras (Ibañez y Romo-Coronel, 2007). Por lo tanto, para la estimación de la tasa de crecimiento por tallas y por peso, es indispensable determinar la edad de los peces individualmente, lo cual es esencial para establecer los grupos de edades, para entender la dinámica de la población y la explotación a la cual se están sometiendo los recursos pesqueros (Ihssen *et al.*, 1981).

Determinar correctamente la edad de los animales acuáticos es una de las tareas más importantes en la biología pesquera y en general en esta área. La importancia asignada a la determinación de la edad llega a definir: la longevidad de las especies; la identificación de las clases anuales que componen un efectivo; determinar la edad de primera madurez y la tasa de reclutamiento (Gulland, 1971; Everhart y Youngs, 1981).

La edad en los peces se registra como bandas de crecimiento en estructuras óseas (escamas, otolitos u opérculo), que rompen la uniformidad en estructuras



calcificadas. Estas corresponden a patrones de depositación diarios, estacionales o anuales. Las bandas de densidades anuales o bandas ópticas han sido encontradas en esqueletos de coral, conchas de bivalvos y dientes de mamíferos, así como, en otolitos de peces. Estos últimos, son útiles para los investigadores pesqueros por la exactitud y relativa facilidad de la preparación e interpretación de las bandas de crecimiento (Campana y Thorrold, 2001).

Existen diversos métodos para obtener la edad de los peces y se pueden clasificar en:

1. Directos, dentro de los que se considera:
 - a) La liberación y recuperación de peces marcados
 - b) Colocación de peces de edad conocida y/o tamaño en cuerpos de agua experimentales
 - c) Interpretación y conteo de capas anuales depositadas en estructuras duras como por ejemplo:
 - Escamas
 - Otolitos
 - Opérculo y otros huesos
2. Indirectos, los cuales se basan en la distribución de frecuencias de tallas de una población de peces (Gómez, 1994).

El método más frecuentemente utilizado para la determinación de la edad es la interpretación y conteo de las zonas o marcas de crecimiento, las cuales aparecen en las partes duras de los peces. Estas se forman una vez al año y son denominadas marcas anuales, anillos anuales o *annuli*. Se manifiestan durante períodos alternados de rápido y lento crecimiento y reflejan las influencias ambientales e internas (Tesch, 1978; Weatherley y Gill, 1987; Granado, 2002; Ibáñez y Romo-Coronel, 2007).

A continuación, se detallan algunos aspectos generales sobre estas estructuras.

Escamas

La piel de los peces está compuesta por 2 capas: una externa o epidermis y una interna denominada dermis o *corium*. La epidermis está formada por células



humectantes planas, las cuales se multiplican en las zonas más profundas de la dermis para reemplazar a aquellas desgastadas y para el crecimiento (Lagler *et al.*, 1990; Gómez, 1994) (Fig. 1).

La dermis contiene vasos sanguíneos, nervios, órganos sensoriales cutáneos y tejido conectivo. De esta forma las escamas funcionan como apéndices especiales de la piel.

Pueden ser clasificadas según su morfología en:

Placoideas: las cuales son placas con cúspide central y se encuentran principalmente en los tiburones y sus relativos.

Romboideas: éstas tienen forma de diamante y se encuentran en los esturiones y en el peje-lagarto.

Ctenoideas: tiene forma de disco con borde posterior dentado y se presentan en peces óseos con radios espinosos

Cicloideas: se caracterizan por tener forma de disco con bordes suaves, delgados y circulares, se encuentran en la mayoría de los peces con radios suaves

Por su estructura en:

Placoideas: las cuales son llamadas dentículos dérmicos, y están formadas por una sustancia parecida al esmalte conocida como vitrodentina,

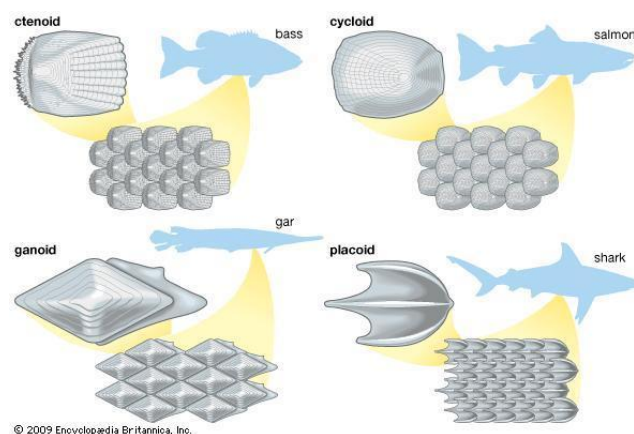


Figura 1. Tipos de escamas de peces (tomada de:

<https://www.britannica.com/science/placoid-scale/media/462623/157635>



Y **no placoideas**: son básicamente 3 tipos:

- 1) Cosmoideas: las cuales están formadas por una sustancia llamada cosmina t representadas principalmente en peces con aletas lobuladas, vivientes y extintos: *Latimeria sp.*
- 2) Ganoideas: estas están formadas por una sustancia dura denominada ganoína y se encuentra en el género *Lepisosteus*.
- 3) Escamas con borde óseo: caracterizan a la mayoría de los peces con escamas, tanto cicloideas como ctenoideas (Ehrhardt, 1981; Lagler *et al.*, 1990; Granado, 2002; Moyle y Cech, 2000; Gómez, 1994).

El crecimiento de estas escamas es tanto en la superficie externa como en la interna. En la mayoría de ellas se reconoce una zona central denominada foco. Una vez formado el foco, los círculos se van depositando uno a uno sobre la superficie de la escama en relación con el crecimiento (Fig. 2). Éstas por encontrarse en un repliegue de la piel cuentan con una parte externa y otra interna. La externa o margen posterior normalmente se encuentra desgastada por la abrasión con el ambiente y por esto se hace difícil la interpretación de las zonas de crecimiento. Por el contrario, por estar protegida la porción interna o margen anterior se presentan los círculos y estrías en forma mucho más clara (Salgado *et al.*, 2005).

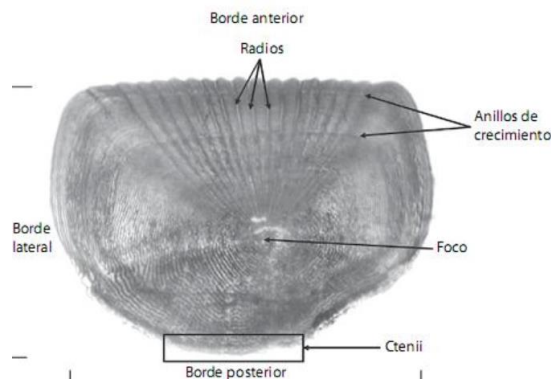


Figura 2. Términos empleados en la descripción de una escama (Tomada de: Gómez-Ponce *et al*, 2011)



Crecimiento

Es un parámetro básico para el análisis de las pesquerías, ya que implica el incremento en biomasa de los individuos y para su determinación es importante establecer la edad de los organismos. Las ecuaciones de crecimiento permiten incorporar sus constantes a modelos de rendimiento y de esta manera, se puede realizar una evaluación pesquera para una mejor explotación del recurso (Gómez, 1994).

El crecimiento es considerado como el proceso de incremento gradual o el desarrollo progresivo con el tiempo en tamaño o peso del organismo. Puede ser complejo y medirse por el cambio en la longitud o peso de un pez individual o un grupo de peces entre dos tiempos de muestreo. Se debe toma en cuenta que este tipo de crecimiento es diferente al de una población, el cual puede referirse al cambio en el número de peces observados a diferentes tiempos (Gómez, 1994).

Se trabajó con una especie que se posiciona en un nivel trófico bajo (omnívoro-detrítivo), que a pesar de esa característica tiene una gran importancia ecológica, como de forraje (alimento para otras especies), peces ornamentales, lo cual es una alternativa para mejorar la economía familiar del estado (especie de fácil reproducción, ciclo de vida corto, resistentes al manejo y no requiere de grandes extensiones de terreno) y control biológico (plagas, malezas, vectores de enfermedad), (Gido y Franssen, 2007; Peña *et al.*, 2006; Carmona-Galindo *et al.*, 2018), en el bordo Amate Amarillo, en Morelos, con la finalidad de reconocer la estructura de tallas, edades, los parámetros de los modelos de crecimiento que representen la manera de cómo crecen los individuos de *P. gracilis* ante el efecto de las variables ambientales, así como las tasas de mortalidad, explotación y longevidad, a las cuales está sometida la especie en el sistema acuático.



Antecedentes

Hasta el momento, son pocos los trabajos que existen sobre el estudio de la edad y el crecimiento en miembros de la familia *Poeciliidae* (peces vivíparos) y existe mucha literatura sobre este tópico, pero en especies con tipo de reproducción ovípara de agua dulce, estuarina y marina y de importancia comercial. Se han realizado diversos estudios sobre la relación peso-longitud y de característica reproductivas en especies vivíparas, pero pocos para determinar la edad utilizando estructuras duras. A continuación, se describirán algunas referencias consultadas y que apoyaron la investigación que se realizó sobre *P. gracilis*.

Para la especie *Heterandria bimaculata* que pertenece a la misma familia que *Poeciliopsis gracilis*, Gómez-Márquez *et al.* (1999) reportan que es una especie introducida, similar a la de este estudio. Se registró una longitud patrón máxima de 69 mm para machos, mientras que para las hembras su máxima fue de 60 mm. Los machos presentaron un crecimiento alométrico negativo (mayor crecimiento en talla), mientras que las hembras presentaron un comportamiento alométrico positivo (mayor crecimiento en peso). Observaron que la relación peso-longitud entre machos y hembras, presentan diferencia estadísticamente significativa

Durante el estudio realizado en el 2007 por Ayala y Vera en la presa Emiliano Zapata, registraron para la población y los machos de *P. gracilis* un crecimiento de tipo alométrico negativo, mientras que las hembras tuvieron un crecimiento positivo. En cuanto a la proporción sexual hubo dominancia de las hembras (1.27:1, H:M).

Gutiérrez y Hernández (2007) realizaron un estudio en la presa Emiliano Zapata, sobre edad y crecimiento en *P. gracilis* y obtuvieron que la talla y peso máximo para las hembras fueron de 75 mm y 5.93 g respectivamente y para machos 48 mm y 1.23 g. En la relación peso-longitud obtuvieron un crecimiento que *P. gracilis* tiene un crecimiento de tipo alométrico negativo (mayor crecimiento en talla). En



cuanto a la edad registraron organismos de 11 meses (hembras) y 6 meses (machos) por medio del conteo de los *circulis* en escamas.

Gómez-Márquez *et al.* (2008), realizaron un estudio con 1225 organismos de *P. gracilis* de los cuales se obtuvo una longitud corporal estándar de 19 a 43 mm (machos) y de 20 a 50 mm (hembras) con pesos entre 0.08 a 0.72 g (machos) y 0.1 a 5.0 g (hembras). La población tuvo un crecimiento alométrico negativo ($b=2.94$) y una proporción sexual 2.3:1 (hembra:macho).

Miranda *et al.* (2009), reportan que para *P. gracilis* la longitud total máxima en machos es de 4.8 cm y para hembras es de 9.0 cm; por lo tanto, las hembras tienen un mayor crecimiento, tanto en peso como en longitud. Se distinguieron a los machos de las hembras por una estructura en su aleta anal llamada gonopodio. Mencionan que la relación peso-longitud varía significativamente entre sexos.

Montesino (2013) realizó un estudio sobre edad y crecimiento de *Girardinichthys viviparus* en el cual obtuvo una longitud total máxima de 55 mm (hembras) y 38 mm (machos), la relación peso-longitud mostró un crecimiento alométrico positivo en hembras e indeterminados (o sea, mayor crecimiento en peso) y alométrico negativo (mayor crecimiento en talla) para la población total y los machos. El análisis de la edad se realizó por medio de los *circulis* en las escamas, obtuvo 10 grupos de edades para hembras y 5 para machos.

Galicia *et al.* (2014) describen diversas familias de peces de agua dulce en el estado de Hidalgo, entre ellas se encuentra la familia *Poecillidae* siendo la más diversa con el 50% de los especímenes registrados para esta zona.

Sánchez en el 2019, reportó para la misma especie y en el mismo sistema acuático, obtuvo un crecimiento poblacional alométrico, para las hembras fue alométrico positivo mientras que los machos fue alométrico negativo. Además,



reporta un factor de condición relativo por arriba de uno (1) durante todo el estudio, lo que indica que los organismos poseen un alto grado de bienestar.

Biología de la especie

Los miembros del orden *Cyprinodontiformes* son cosmopolitas y habitan en latitudes tropicales, subtropicales y templadas. El orden se divide en siete familias, de las cuales cuatro (*Poeciliidae*, *Anablepidae*, *Jenynsiidae* y *Goodeidae*) son endémicas del continente americano. La familia *Poeciliidae* incluye 37 géneros y 304 especies (Nelson *et al.*, 2016) y en México es posible encontrar 22 géneros y 180 especies. Los poecílidos son peces pequeños, ninguno rebasa los 20 cm de longitud y la mayoría son menores a la mitad de esta medida. Tienen fertilización interna por medio del gonopodio de los machos que funciona en la transferencia de paquetes espermáticos (los espermatozoides) al poro genital de las hembras y dan a luz a sus crías vivas (excepto *Tomeurus*) (Miller *et al.*, 2009). Los guayacones, topotes, espadas, gupis y molis son uno de los grupos de peces dominantes en las aguas dulces y salobres en tierras bajas de América Central y las Indias Occidentales; se distribuyen desde el este de Estados Unidos hasta el noreste de Argentina (Miller *et al.*, 2009).

Varias especies de esta familia se ha documentado que tienen una dieta oportunista, incluyendo larvas de zancudo (Trujillo-Jimenez y Toledo, 2007), además poseen una gran plasticidad en poder alimentarse exclusivamente de un solo tipo de alimento como larvas de zancudos, las cuales en algunos casos son vectores para muchas enfermedades humanas (Carmona-Galindo *et al.*, 2018).

De acuerdo con Miller *et al.* (2009), *Poeciliopsis gracilis* (Figura 3), denominado como guatopote jarocho se clasifica de la siguiente manera:



Figura 3. *Poeciliopsis gracilis*; izquierda: hembra y derecha: macho



Tabla 1. Información taxonómica de *P. gracilis*

Información taxonómica.	
Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Cyprinodontiformes
Familia	Poeciliidae
Género	<i>Poeciliopsis</i>
Nombre científico	<i>Poeciliopsis gracilis</i> (Heckel, 1848)

Poeciliopsis gracilis se distribuye en la Vertiente del Atlántico, de un arroyo 20 km al norte de Ciudad Cardel, Veracruz, hasta el sur en la cuenca Oaxaca-Veracruz y ha sido introducido y establecido en el río Pánuco, San Luis Potosí y Querétaro y las cuencas del río Balsas, Guerrero, Michoacán. Vive en un hábitat típicamente de aguas tranquilas en arroyos, estanques de inundación, lagunas, remansos y márgenes de ríos de tierras bajas, en agua clara a lodosas con gran contenido de sólidos en suspensión; corriente nula a moderada; sustrato de arcilla, lodo, arena, grava, rocas; vegetación nula a rala, pero son comunes las algas verdes, con una profundidad de hasta 0.6 m, por lo general menos. 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 longitud total (Lt) de fines de diciembre a principios de marzo; la reproducción podría tener lugar durante buena parte del año en hábitat favorables. La longitud patrón (Lp) máxima conocida es de 73 mm (Miller *et al.*, 2009). Es una especie que presenta lunares oscuros a lo largo de la línea media de los costados. Se alimenta principalmente de detritus, aunque suele consumir algas filamentosas e insectos bentónicos (Rodríguez, 2008). El cuerpo es verde a azul iridiscente, posee de 4 a 6 puntos irregulares en el cuerpo que le dan el nombre en inglés de “portholelivebearer”. Los juveniles de hasta 2 semanas de nacidos poseen estos puntos que los diferencian de las demás especies. Todas las aletas son sin coloración (Pérez, 2005).



Es una especie con un alto grado de invasión y ocupa prácticamente todos los ambientes, tanto lénticos como lóticos, tolera perfectamente aguas muy perturbadas que incluyen aquéllas 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, 1992) y el gran éxito de invasión que ha tenido en la región, se debe probablemente su forma de reproducción, que es vivípara (lecitotrófica o matrotrofica) (Ai-Li y Redznik, 2000); su alta tasa reproductiva, ya que las hembras a los 25 mm de longitud son reproductivamente fecundas y en la práctica se mantienen activas reproductivamente toda su vida, lo cual indica que no existe temporalidad en la reproducción y son receptivas en cualquier temporada del año, la temperatura ideal para esta especie esta entre 24 y 28°C, así como un pH de 6.5-7.8 (Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996; Miller *et al.*, 2009).

Poeciliopsis gracilis tiene una posición baja en el nivel trófico, como omnívoro detritívoro; esta capacidad de forrajear recursos de baja calidad es una tendencia que parece ser favorable para peces de agua dulce que invaden medios lóticos (Gido y Franssen, 2007). El efecto del poecílido sobre la fauna nativa no ha sido evaluado y aunque aparentemente es una especie inerte, su valoración debe ser cuidadosamente interpretada, sobre todo por el escaso conocimiento de la fauna nativa existente previa a su liberación; en otras áreas en donde *P. gracilis* se ha establecido, figura como una especie no problemática (Welcomme, 1988).

Justificación

Con base en la información recabada, es de notar que es poca la información sobre la determinación de la edad de esta especie o similares, usando el conteo de los *circulis* de las escamas, por lo que es de suma importancia complementar la información existente con nuevos estudios que lleven a determinar la edad de especies con valor económico o ecológica en los diversos sistemas acuáticos del país, por lo que esta investigación se enfocará en conocer la relación que existe



entre la edad y la talla en *P. gracilis*, la cual se verá afectada por los cambios en los factores bióticos y abióticos que se presentan en el sistema (bordo Amate amarillo, Morelos) y zonas aledañas. Gómez-Márquez *et al.* (2008), mencionan que la importancia de esta especie en México es de forraje (alimento para otras especies) ya que poseen un alto grado de nutrientes, útiles para otras especies. Pero también puede causar problemas al ser introducido ya que afecta a especies autóctonas, a pesar de esto puede fungir como biocontrol en los sistemas acuáticos ya que tiene la capacidad de alimentarse de organismos vectores de enfermedades (larvas de insectos).

Objetivos

General

Determinar la edad y el crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* por medio de estructuras duras (escamas) y su relación con los factores ambientales, en el bordo Amate Amarillo, Morelos.

Particulares

- Obtener la relación peso-longitud, así como el factor de condición de la especie en estudio, con la finalidad de determinar el tipo de crecimiento y el bienestar que presenta la especie en el sistema acuático.
- Utilizar las escamas y el análisis de la distribución de frecuencia de tallas de los organismos, para determinar la edad de cada uno de ellos.
- Reconocer la temporada de depositación de las marcas de crecimiento por medio de la depositación de los *circulis* en la zona anterior de la estructura dura
- Obtener la estructura de tallas y edades a partir del análisis de la distribución de frecuencia de tallas para determinar la longevidad de la especie.
- Utilizar los modelos de crecimiento (von Bertalanffy y Gompertz) para determinar sus parámetros y determinar el ritmo de crecimiento que presenta la especie



- Analizar la relación de los parámetros físicos (temperatura) y químicos (pH, dureza de calcio, dureza total, conductividad y alcalinidad) del agua con las constantes de crecimiento de la especie en el bordo Amate amarillo, Morelos

Material y método

Zona de estudio

El municipio de Ayala (Fig. 4), se encuentra en la parte centro-oriental del estado y se ubica entre los 18° 46' norte y los 98° 59' oeste. Limita al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla, al sur con Tepalcingo y Tlaquiltenango; al este con Temoac, Jantetelco y Jonacatepec y al oeste con Tlaltizapán y Yautepec.

Tiene una extensión territorial de 345.688 km² y representa el 6.97% con respecto a la superficie del estado.

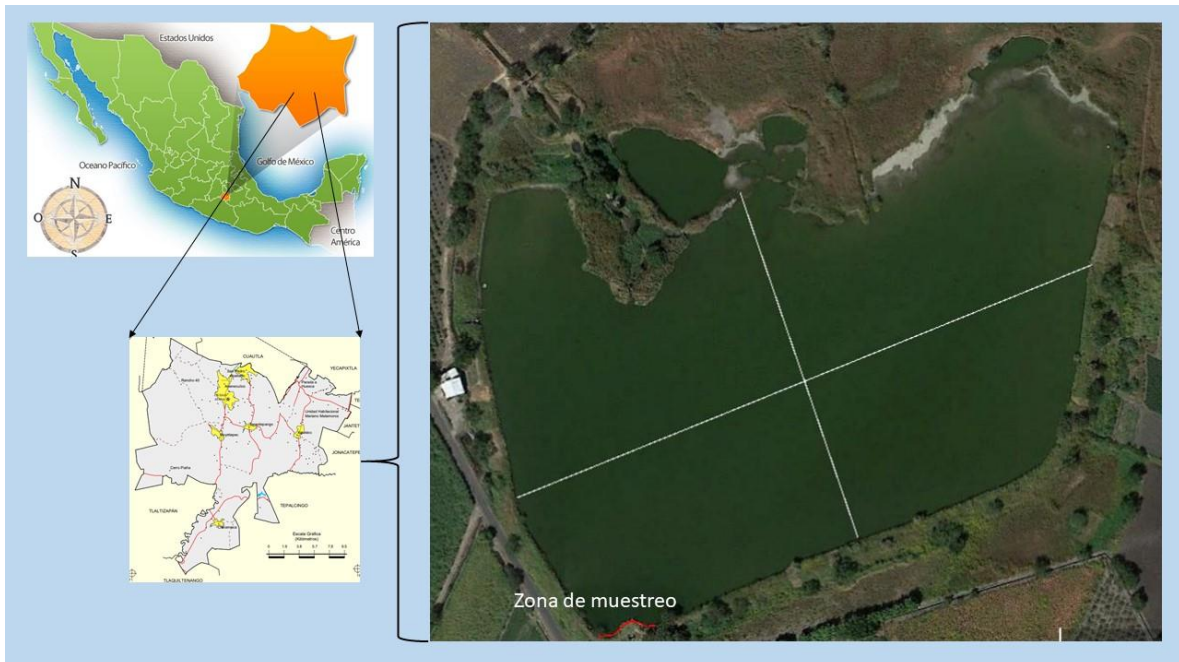


Fig. 4. Mapa de la ubicación del bordo Amate Amarillo en el municipio de Ayala, Morelos.

El bordo de Amate amarillo se encuentra en la parte central del estado a 1 220 metros sobre el nivel del mar.



Clima

El clima en este municipio es cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Marcha de la temperatura tipo Ganges, esto es el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano y de la temporada lluviosa, el viento tiene una dirección de noreste a suroeste (Aw''(w) i g) (García, 1983).

Este municipio se beneficia con la afluencia de la microcuenca del río Cuautla, del río Ayala que se favorece con los escurrimientos de las barrancas, El Hospital y Calderón. Cuenta con ocho sistemas lénticos permanentes y tres temporales; entre todos cubren un área de 57.3906 Ha, que representa el 0.15% del área total del municipio con un volumen de 3478182 m³. En este estudio, se reportan solo seis ambientes acuáticos, cinco permanentes y un temporal, que representan un área de 41.362 Ha, es decir el 0.11% del área total del municipio.

Geología

Tipos de rocas: Sedimentaria: arenisca-conglomerado (20.72%), caliza (19.8%), conglomerado (18.29%) y lutita-arenisca (2.39%) 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: skarn (1.32%)

Suelo: aluvial (17.63%)

Suelo dominante Vertisol (34.55%), Leptosol (33.45%), Kastañozem (12.15%), Phaeozem (10.03%), Chernozem (4.8%) y Regosol (1.28%)

(INEGI, 2010)

Vegetación

La vegetación es la de selva baja caducifolia, principalmente encontramos cubatas (*Acacia spp.*), casahuates (*Ipomoea arborescens*), tulipanes, amates (*Ficus insípida*), framboyanes (*Delonix regia*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), guaje



colorado (*Leucaena leucocephala*), mezquite, palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), bonete (*Pileus mexicanus*), tepeguaje (*Lysiloma acapulcense*), frutales tales como anono (*Annona squamosa*), chirimoyo (*Annona cherimola*), mamey (*Pouteria sapota*), ciruelo (*Prunus domestica*) y guayabo (*Psidium guajava*) (INAFED, 2010)

La fauna es muy variada, entre ellos tenemos al mapache, conejo (*Oryctolagus cuniculus*), zorrillo (*Mephitidae*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), coyote (*Canis latrans*), urraca (*Aphelocoma wollweberi*), zopilote (*Coragyps atratus*), lechuza (*Tyto alba*), gavilán (*Accipiter nisus*), iguana (*Iguana iguana*) y escorpión (*Scorpiones*). Entre los peces se cuenta con bagre (*Ictalurus punctatus*) y mojarra (*Oreochromis niloticus*) (INAFED, 2010).

Con respecto a la calidad del agua del cuerpo acuático a analizar (tabla 2) muestra el mínimo y máximo, así como el promedio para cada variable.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de Amate Amarillo (Datos tomados de Palomo, 2016)

Parámetros del agua	Máximo	Mínimo	Promedio
Temperatura (C°)	28.2	22	25
Profundidad (m)	3.07	0.87	1.97
Transparencia (cm)	0.5	0.25	0.37
Oxígeno disuelto (ppm)	17.7	4.03	10.8
Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)	233	22	128
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	718	301	509
pH	8.74	7.54	8.14



Fase de campo

Al llegar a localidad se debe de tomaron las coordenadas del sitio de muestreo con ayuda de un GPS, posteriormente la temperatura (con un termómetro de $\pm 1^{\circ}\text{C}$), nubosidad, hora y altitud.

Se realizaron determinaciones *in situ* para conocer el estado trófico del sistema: Transparencia (visibilidad con el disco de Secchi) y directamente en el sistema acuático se midió el oxígeno disuelto y la temperatura del agua con ayuda de un oxímetro marca Hanna, modelo: HI9146 a 0.30 m, 0.50 m, 1 m y hasta la máxima profundidad que registre el sistema o hasta que el electrodo toque el fondo.

- **Muestras para calidad de agua (*in situ*)**

La toma de la muestra de agua se realizó en la estación que está cerca de la compuerta y que es el sitio de mayor profundidad; ésta se obtuvo con la botella Van Dorn con capacidad de dos litros a diferentes profundidades (0.30 m la muestra inicial y después cada metro de profundidad) para el análisis de los parámetros físicos y químicos; las muestras se conservan en botellas de polipropileno a 4°C .

Se determinó el pH, conductividad y total de sólidos disueltos, con ayuda de un multiparámetro marca Hanna, modelo HI 991300. A cada una de las muestras se les realizaron diversas pruebas químicas *in situ* como dureza total y de calcio (método complejométrico), alcalinidad total (método de indicadores) y concentración de CO_2 (método volumétrico) por medio de métodos convencionales reportados en Gómez-Márquez *et al.* (2014).

- **Muestreo biológico de peces**

La recolecta de peces se realizó de septiembre 2018 a agosto 2019, utilizando un chinchorro de 10 m con una luz de malla de 0.5 cm, en la orilla del sistema. Posteriormente los peces fueron colocados en una cubeta y se le adicionaron de 3 a 4 gotas de esencia de clavo para anestesiarse a los organismos (García-Gómez *et al.*, 2002) y después se colocaron en formol al 10% para su preservación.



Trabajo de laboratorio

- **Biometría**

Se utilizó un Vernier (precisión de 0.1mm) para medir la longitud patrón (Lp), longitud total (Lt) y altura (A) de cada uno de los organismos; con ayuda de una balanza analítica (marca Velab VE-204, precisión de 0.01mg se obtuvo el peso total (Pt) (Fig. 5).

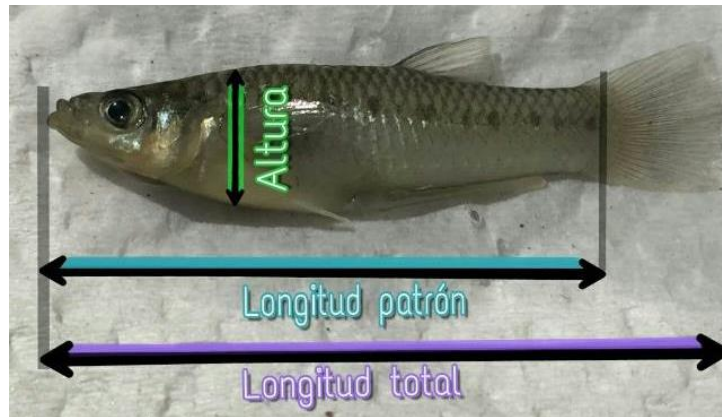


Figura 5. Biometría de *P. gracilis*

Para determinar el sexo y la madurez gonádica de los organismos, se realizó un corte ventral desde la abertura anal hasta la cintura escapular para dejar al descubierto las gónadas. Con ayuda de un estereoscopio se determinaron las fases de desarrollo ovárico, considerando la propuesta realizada por Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996).

Esta especie se caracteriza por presentar dimorfismo sexual. El sexo se determinó por medio de la observación de una estructura llamada gonopodio y según su desarrollo se clasificaron en inmaduros y maduros (Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996).

- **Extracción de escamas**

Escamas

Con ayuda de un estereoscopio y unas pinzas de disección con punta fina se tomaron 10 escamas (Fig. 6) de la región que se encuentra entre la aleta pectoral



por debajo de la línea lateral, (sin foco regenerado, escama con borde anterior y posterior completo). Se limpiaron con un cepillo y agua, se montaron entre dos portaobjetos y se etiquetaron con el número del ejemplar, mes y año. Posteriormente con un microscopio se observaron y contaron los *circullis* de al menos tres escamas, se midió la distancia del foco de la escama al margen anterior de la misma (radio) (Figura 7).

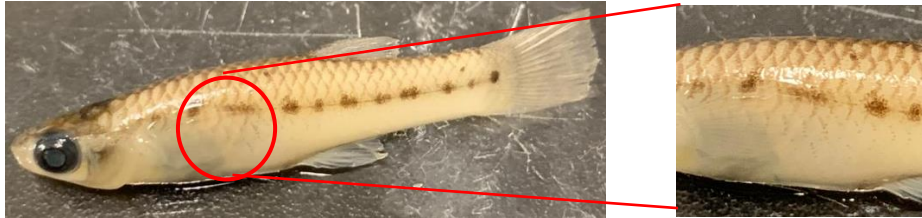


Figura 6. Región de donde se tomarán las escamas

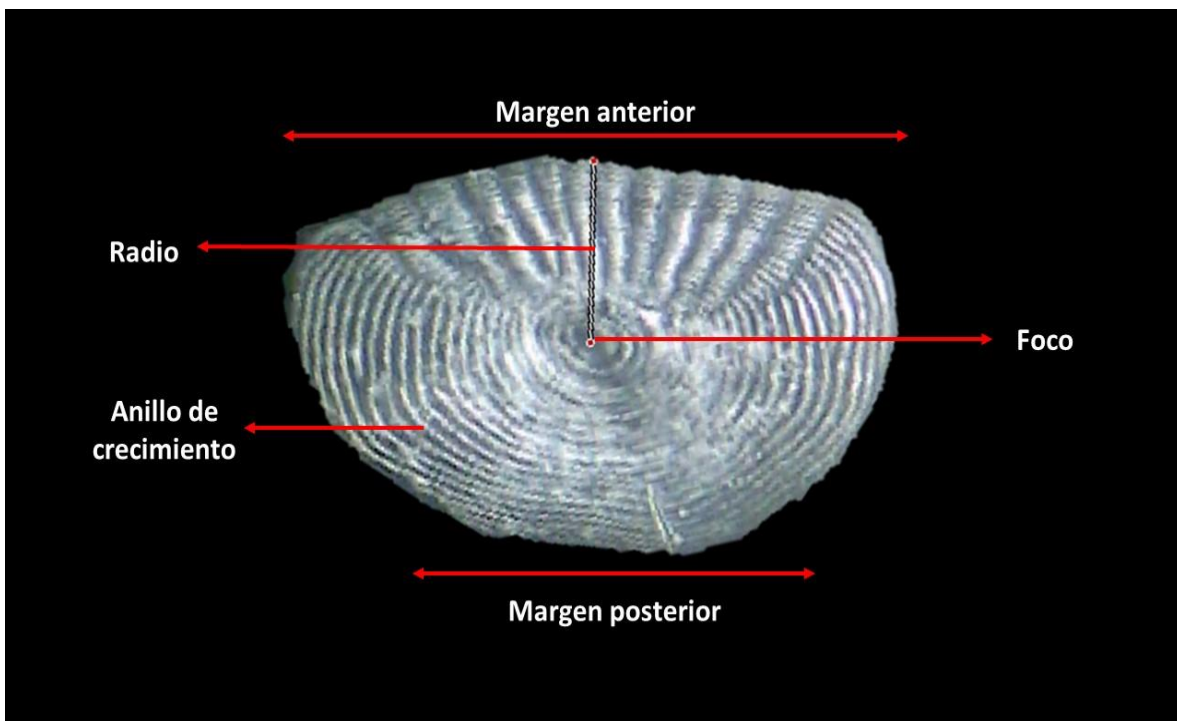


Figura 7. Escama cicloidea de *P. gracilis* con margen completo y sin foco regenerad



Trabajo de gabinete

- **Distribución de frecuencia de tallas**

Para determinar la estructura de tallas de la población, mes a mes se realizó un histograma de distribución de frecuencia de tallas, en el cual se pueden identificar el número de modas (clases de talla) que hacen inferencia en el reclutamiento de organismos. Para realizar el cálculo adecuado de intervalos de tallas que hay en la población, se utiliza la regla de Sturges ((Wayne, 1987)) que propone la siguiente expresión:

$$k = 1 + 3.322 * \log (n)$$

Donde n es el total de individuos, L es el número de intervalos de talla; para conocer el tamaño del intervalo (A), se divide el rango intercuartílico (R= valor máximo - valor mínimo) con el intervalo de talla (k). Esto con el fin de definir el tamaño adecuado para las clases de tallas.

- **Relación peso-longitud**

Antes de realizar este análisis, se aplicó el Análisis de Covarianza (AC) con ayuda del paquete estadístico Stata ver. 11, para determinar si existen diferencias entre la talla y el peso entre los sexos; si las hay entonces se realiza la relación peso-longitud por sexo, además de calcular dicha relación para la población total.

Se analizó la relación Peso-Longitud 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).

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



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, presentando crecimiento alométrico positivo. En cambio, cuando $b<3$, los individuos incrementan preferencialmente su longitud relativa 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). El tipo de crecimiento (alométrico o isométrico), se obtuvo con el valor de la pendiente de la gráfica peso-longitud, y para saber si este valor tiene diferencia estadística se hizo una comprobación utilizando el estadístico de *t* student (Salgado *et al.*, 2005):

$$t = \frac{d.e.\log(x)}{d.e.\log(y)} * \frac{|b-3|}{\sqrt{1-r^2}} * \sqrt{n-1}$$

- **Proporción de sexos**

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

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

- **Factor de condición**

El factor de condición se utilizó como indicador del estado de bienestar de los organismos. Este factor de condición relativo o de Le Creen (1951) (Kr) expresa en peces, la relación entre el peso observado y el peso calculado según la siguiente expresión matemática:

$$Kr = \frac{W}{\bar{W}}$$



Donde w es el peso del pez en gramos y \bar{w} el peso calculado en función de la relación peso-longitud (Weatherley y Gill, 1987). Así mismo, se relacionará el factor de condición (Kr) con los factores ambientales de temperatura y concentración de clorofila “a” presentes en el cuerpo de agua.

- **Tallas pretéritas**

Se utilizó el método de retrocálculo (Gómez, 1994) para obtener la relación talla-edad.

- Se midió el radio de la escama en su eje medio, el cual va desde el foco hasta el margen anterior.
- Se graficaron los radios de las escamas contra las longitudes observadas de los individuos al tiempo que se obtuvo la muestra de escamas, con el fin de definir el tipo de relación que existe entre el cuerpo del individuo y la estructura dura (escama).
- longitud aproximada alcanzada al término de cada año de vida

$$l_n - c = \frac{r_n}{R}(L - c)$$

l_n = longitud del pez cuando el anillo n fue formado

r_n = radio del anillo n

R = radio de la escama

L = longitud del pez cuando la escama fue obtenida.

c = intercepto, corresponde de acuerdo con el fenómeno de Lee, a la longitud del pez al tiempo de la aparición de las escamas.

Se aplicaron 2 modelos para poder saber cuál es el que mejor se ajusta a la especie.

- **Modelo de von Bertalanffy** (Salgado *et al.*, 2005)

$$Lt = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}) \text{ y } Pt = P_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$



Donde (L_t) y (P_t) son la longitud y el peso total en la edad (t)

- L_∞ y P_∞ se interpreta biológicamente como "el peso o la talla media de un pez muy viejo (en sentido estricto: Infinitamente viejo)", parámetro que también es denominado como "peso asintótico" y "longitud asintótica".
- (k) es el "parámetro de curvatura" que determina la rapidez con la que el pez alcanza L_∞ y es una constante relacionada con la tasa metabólica.
- La constante (t_0) a veces llamado "parámetro de condición inicial", es el tiempo teórico en el cual el organismo inicia su crecimiento y carece de significado biológico.
- (b) es una constante y representa la potencia a la cual el crecimiento en longitud es proporcional al crecimiento en peso y proviene de la relación peso-longitud (Gulland, 1971, Everhart y Youngs, 1981, Pereiro, 1982, Sparre y Venema, 1997).

Existen diversos métodos para obtener las constantes del modelo de von Bertalanffy, para esta investigación se utilizaron los métodos de:

Ford-Walford (Salgado *et al.*, 2005).

A partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, y considerando el crecimiento a un tiempo L_{t+1} se obtiene la siguiente expresión para obtener las constantes de dicho modelo de crecimiento:

$$L_{t+1} = L_\infty(1 - \exp^{-k}) + \exp^{-k}L_t$$

Despejando se obtendrán las siguientes fórmulas para obtener las constantes:

$$b = \exp^{-k} \quad \Leftrightarrow \quad k = -\ln b \quad y,$$

$$a = L_\infty(1 - \exp^{-k}) \quad \Leftrightarrow \quad L_\infty = \frac{a}{1-b}$$



Beverton y Holt

Para obtener una mejor estimación del valor de k y t_0 se puede utilizar este método. A partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, se realizó un reacomodo de la ecuación y reexpresa en la siguiente forma (Carrara *et al.*, 2009)

$$\ln \left(1 - \frac{Lt}{L_\infty} \right) = kt_0 - kt$$

Expresión que tiene una forma lineal, despejando se obtendrán las siguientes fórmulas para obtener t_0 y k

$$t_0 = \frac{a}{b}$$

$$K = -b$$

Para el modelo en peso $P_t = P_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$, se utilizó la relación peso-longitud, donde la L_∞ se sustituyó en la ecuación potencial y así se obtuvo el valor de P_∞ . Posteriormente se utilizaron las variables ya obtenidas de k y t_0 para obtener el modelo completo.

- **Modelo de Gompertz**

El modelo de Gompertz es una curva de forma (S), presentando un punto de inflexión (P_i) de: $P_i = 1 / 2.718 = 0.368 H$, dado por Ricker (1979), donde (H) es la distancia vertical desde la base de la curva hasta su parte superior (altura del intervalo). En estudios de dinámica de poblaciones, la curva de Gompertz ha sido utilizada para describir el crecimiento en organismos acuáticos, principalmente peces realizado por Silliman (1967; citado en Ricker, 1979) (Salgado *et al.*, 2005).

$$P_t = P_\infty e^{-Be^{-kt}} \quad \text{y} \quad L_t = e^{b-ce^{-kt}}$$

Para obtener las variables de los modelos de von Bertalanffy y Gompertz en longitud total se utilizó el paquete estadístico STATA ver. 11 con las rutinas de Salgado-Ugarte *et al.*, 2005 en el programa, mientras que para el modelo en peso se utilizó la hoja de cálculo Excel de Microsoft Office 365.



- **Longevidad**

La longevidad se obtuvo a partir de la ecuación de Taylor (1958):

$$A_{0.95} = t_0 + \frac{2.996}{k}$$

Es la edad límite teórica o tiempo requerido para que el pez alcance el 95% de su longitud máxima (L_{∞}). Para obtener la longevidad es necesario usar las variables calculadas con el modelo de von Bertalanffy.



Resultados

Factores ambientales

En este trabajo que se realizó de septiembre de 2018 al mes de agosto de 2019 se tomaron muestras de agua con la finalidad de conocer la calidad de ésta, así como la influencia que tiene en el crecimiento de *P. gracilis*.

El bordo Amate Amarillo donde se realizó el estudio cuenta con 7.56 ha de superficie. Durante el estudio el sistema presentó profundidad total máxima de 4.5 m en el mes de septiembre y la mínima de 2,4 m en enero y abril, con una temperatura del agua máxima de 26.08 °C (abril) y mínima de 21.3 °C (enero).

En cuanto a la temperatura ambiente se registró la máxima en el mes de mayo (34°C) y la mínima en septiembre (25°C). En la temporada de septiembre a diciembre el sistema presentó una temperatura por debajo de los 25°C y de marzo a mayo tuvo un aumento (figura 8).

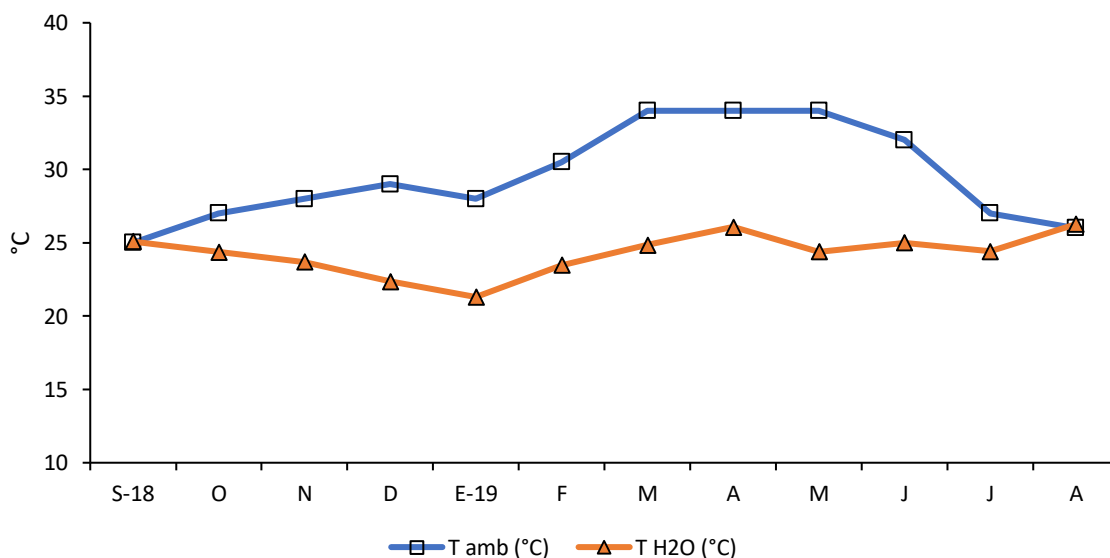


Figura 8. Comportamiento de la temperatura ambiente y la temperatura del H₂O durante el periodo de estudio



Hay una relación muy estrecha entre la temperatura y la profundidad del sistema como se puede observar en la Figura 9, mientras mayor sea la profundidad hay una disminución en la temperatura, esto se debe a un comportamiento normal de estos cuerpos acuáticos que en ciertas horas de día se encuentran estratificados, ya que la zona superficial al absorber más radiación solar, se tiene un aumento de temperatura y al presentarse un gradiente de densidad, la transferencia de energía es poca y la capa más profunda se mantiene con una temperatura menor. Sin embargo, esta estratificación solo se presenta durante el día.

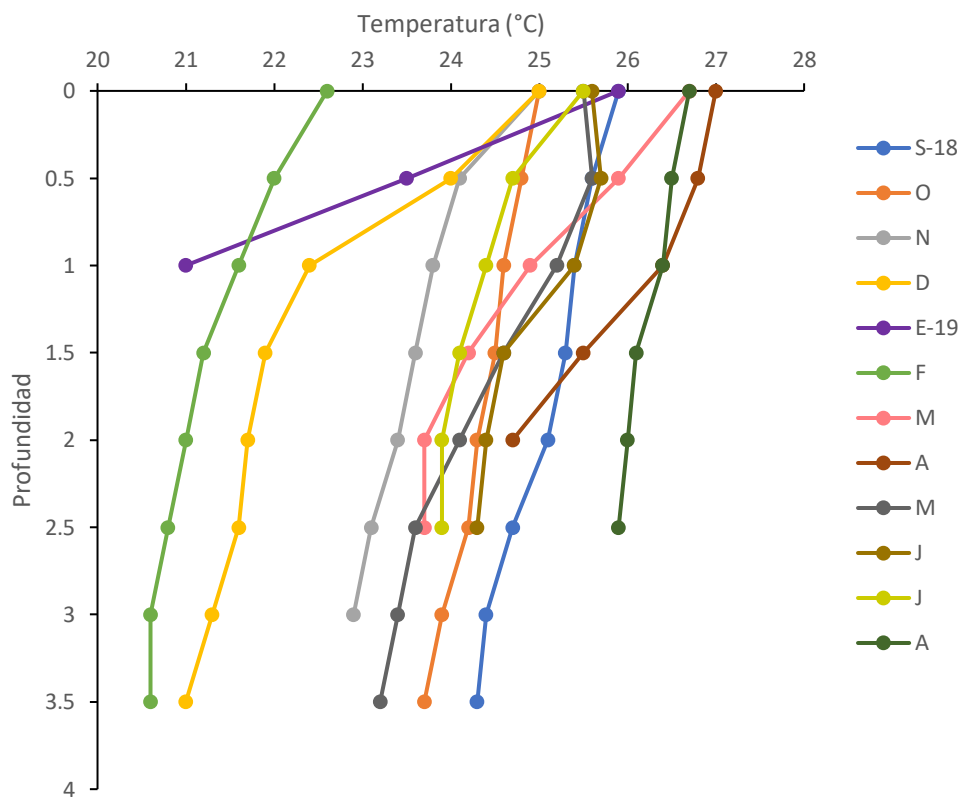


Figura 9. Perfil de la temperatura del agua (°C) en el bordo Amate Amarillo, durante el periodo de estudio

Lo mismo sucede con el comportamiento del oxígeno disuelto (Figura 10), donde hay una disminución de este gas conforme aumenta la profundidad, a este comportamiento del perfil de oxígeno se le conoce como clinógrafo. Esto se debe a la mayor cantidad de organismos que realizan el proceso de la fotosíntesis y por eso hay una mayor concentración de oxígeno disuelto en el sustrato superficial



(epilimnion) y conforme aumenta la profundidad, se reduce la entrada de luz y por lo tanto, la fotosíntesis se inhibe y prevalecen los procesos respiratorios y de degradación de la materia orgánica.

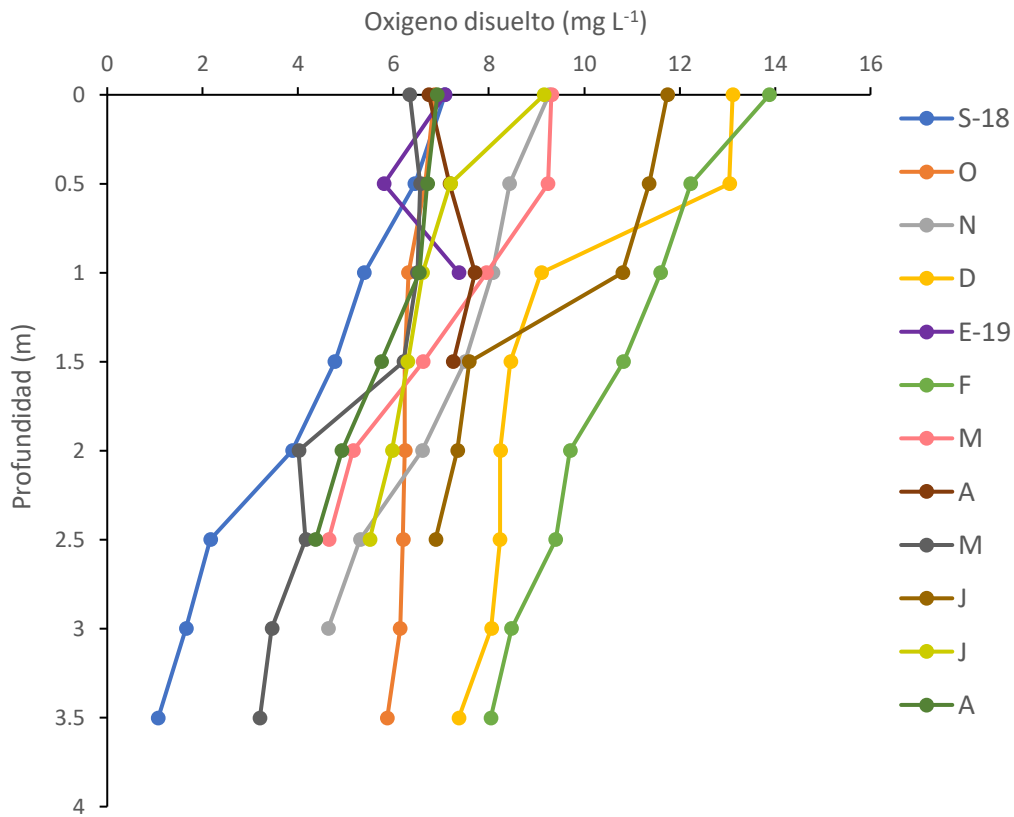


Figura 10. Perfil de oxígeno disuelto (mg L^{-1}) en el agua del bordo Amate Amarillo

Además, registró su máxima $[\text{O}_2]$ en el mes de febrero con 10.5 mg/L donde hubo una temperatura de $21.3 \text{ }^\circ\text{C}$ y la más baja en mayo con 5.05 mg/L donde el sistema presentó $24.4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Se puede observar que las dos variables son inversamente proporcionales (Figura 11), ya que cuando la temperatura aumenta la concentración de oxígeno tiende a disminuir y viceversa, como se puede ver en el mes de febrero donde es muy notorio este comportamiento.



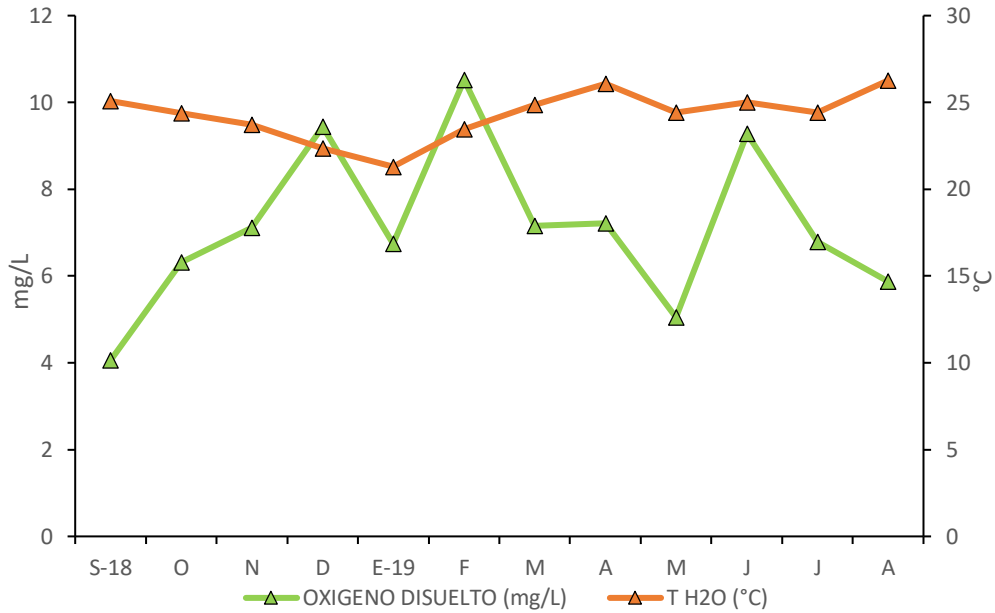


Figura 11. Variación mensual de la temperatura del agua (°C) y la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) en el bordo Amate Amarillo

Durante el estudio se obtuvo un valor máximo de pH de 8.68 en el mes de octubre y el mínimo de 7.86 en agosto, en los demás meses hubo valores que oscilaron entre pH neutro a ligeramente alcalino. En cuanto a la alcalinidad total el valor máximo fue en junio con 212 mg CaCO₃ L⁻¹ y el mínimo en febrero con 64 mg CaCO₃ L⁻¹; por lo tanto, el sistema acuático tiene una alta productividad. La dureza total del bordo mostró un comportamiento variable durante el estudio, con un valor máximo 392 mg CaCO₃ L⁻¹ y el mínimo de 216 mg CaCO₃ L⁻¹ (Figura 12), con lo que se puede decir que el agua de este sistema es dura y los organismos presentan un metabolismo eficiente con base en la calidad del agua.



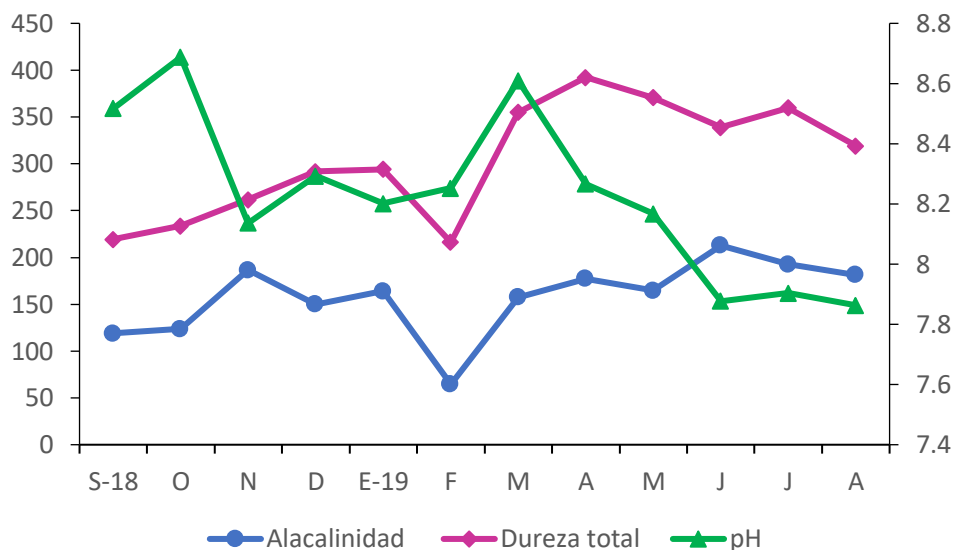


Figura 12. Variación mensual de la dureza total, alcalinidad total y pH para el Bordo Amate Amarillo

Con el fin de conocer la heterogeneidad del sistema en cuanto a los factores químicos (alcalinidad, dureza total y pH) que hubo a lo largo del estudio se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (al no cumplir que los supuestos de normalidad y homocedasticidad) y se obtuvo que entre los meses existe una diferencia significativa, lo cual indica que siempre hubo variabilidad en el comportamiento de cada una de las variables.

Biometría de la especie

Durante este estudio se capturaron 639 organismos, 397 hembras, 93 macho y 149 indefinidos. La longitud total (Lt) mínima de los organismos durante el estudio fue de 1.1 cm y la talla (Lt) máxima de 6.5 cm de longitud total, esto para toda la población. Para las hembras la talla menor fue de 1.9 cm y la mayor fue de 6.5 cm (peso total de 0.069 a 3.83 g), mientras que para los machos fue de 1.7 hasta 4.5 cm (peso total de 0.04 a 1.12 g) respectivamente e indeterminados la talla (Lt) osciló entre 1.1 cm hasta 2.9 cm con peso total de .0089 a 0.21 g (Tabla 3).



Tabla 3. Biometría para hembras, machos e indeterminados de *P. gracilis*

	Longitud total (cm)		Peso total (g)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Hembras	1.9	6.5	0.069	3.83
Machos	1.7	4.5	0.04	1.12
Indeterminados	1.1	2.9	0.0089	0.21

En cuanto a las longitudes totales observadas a lo largo del estudio (Figura 13) se puede observar que en el primer muestreo (septiembre 2018) se colectaron los organismos más pequeños y no hay poca variabilidad de tallas, comparado con el mes de octubre donde la heterogeneidad de las tallas es mayor.

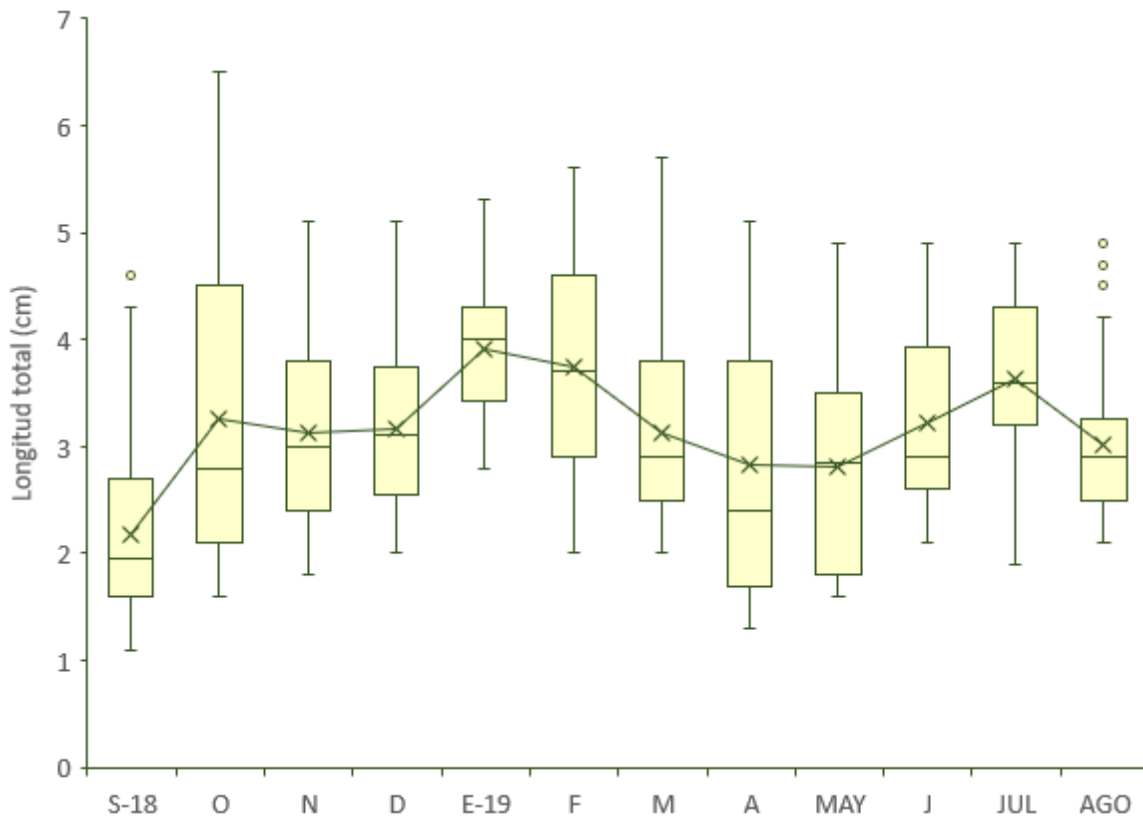


Figura 13. Distribución temporal de la longitud total (cm) de *P. gracilis*.



Relaciones biométricas

- **Análisis de covarianza**

Se realizó un ANCOVA para conocer si existen diferencias entre el peso y la talla, tomando en cuenta el sexo y se obtuvo que entre hembras y machos existe una diferencia significativa con respecto a la talla y el peso ($F= 55.02$, $p<0.05$)

Debido a que existen diferencias estadísticas entre los sexos, la relación peso-talla (longitud total) se realizó de manera independiente.

- **Longitud total-longitud patrón**

Se estimó la relación longitud total con la longitud patrón (Figura 14) y se obtuvo un comportamiento de tipo lineal entre las variables con un valor de $b= 0.8648$ y $R^2= 0.9927$, lo cual indica que existe una alta correlación entre estas variables y a través de una se puede obtener el valor de la otra variable.

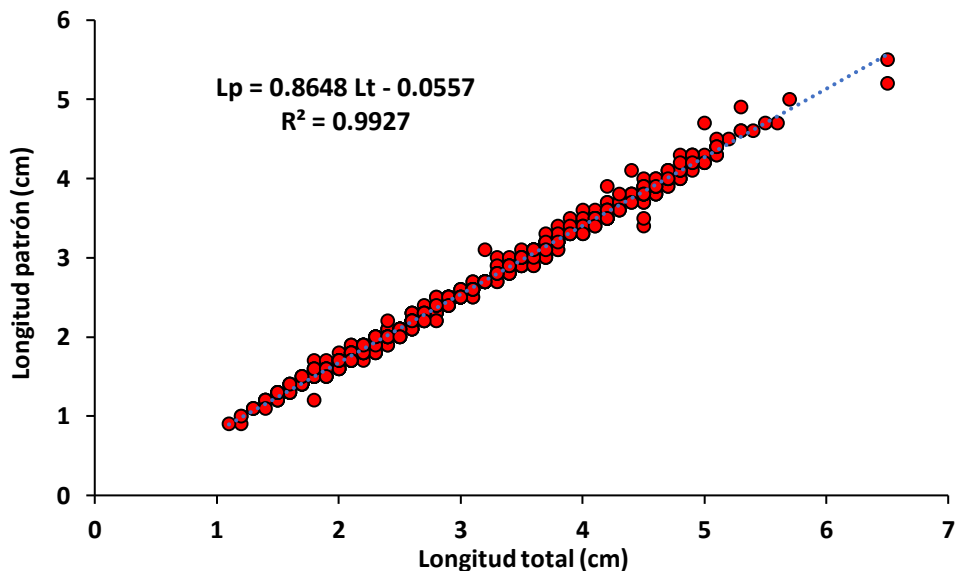


Figura 14. Relación longitud total-longitud patrón para la población de *P. gracilis*.



- **Relación peso-longitud**

- ✓ **Población**

La relación peso-longitud para la población está representada por un modelo potencial, donde el valor de la pendiente ($b=3.1348$) indicó el tipo de crecimiento es alométrico positivo para la población total de *P. gracilis*, esto indica, que el crecimiento de los organismos tiende a aumentar más en peso que en talla. (Figura 15) y tal vez este esté influenciado por el estado de maduración de las gónadas de las hembras.

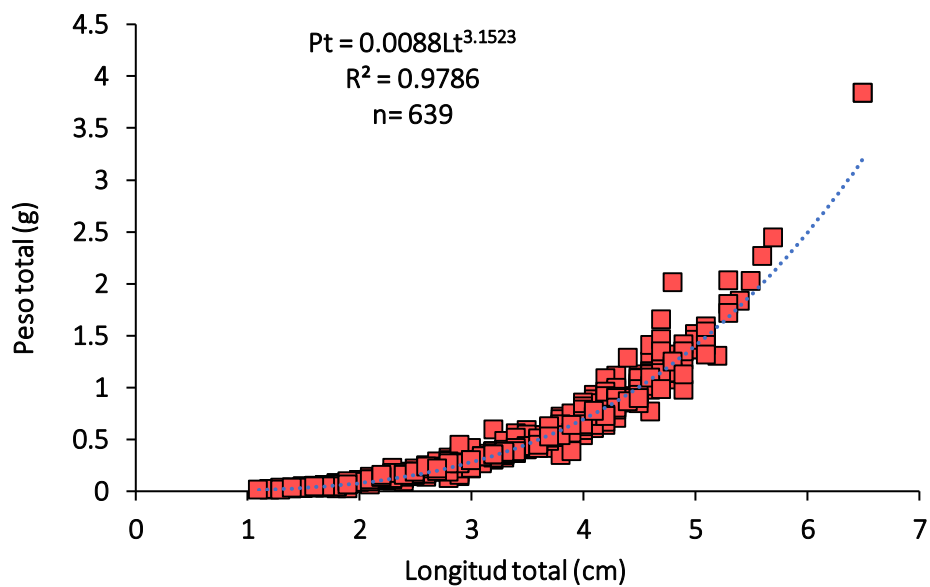


Figura 15. Relación peso-longitud para la población total de *P. gracilis*

Durante todo el estudio se analizó la relación peso-longitud mensualmente para poder conocer el comportamiento de la pendiente, así como el tipo de crecimiento de esta especie.

En la Tabla 4 se pueden observar que los valores marcados con un asterisco (*), indican que estadísticamente, las pendientes, no son diferentes a 3; por lo tanto, su crecimiento tiende a la isometría. Hubo tres meses donde se registró un crecimiento alométrico negativo, lo que significa que los organismos aumentan más en longitud que en peso.



Tabla 4. Análisis de la población mensual para la relación peso-longitud total

	n	Pendiente (b)	Ordenada (a)	t-student (p<0.05)	Tipo de crecimiento
Septiembre 2018	76	3.3825	-2.1438	4.9909	Alométrico positivo
Octubre	60	3.2050	-2.0694	4.7524	Alométrico positivo
Noviembre	47	2.9707	-1.9618	0.4180*	Alométrico negativo
Diciembre	45	3.3449	-2.1637	3.9767	Alométrico positivo
Enero 2019	60	3.1990	-2.0842	2.3773	Alométrico positivo
Febrero	51	3.1279	-2.0511	2.7020	Alométrico positivo
Marzo	59	3.1652	-2.0036	2.9710	Alométrico positivo
Abril	59	3.0851	-2.0256	1.9062	Alométrico positivo
Mayo	48	3.0933	-2.0680	1.5907*	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Junio	46	2.872	-1.9326	0.8509*	Alométrico negativo
Julio	43	3.0639	-2.0363	1.0035*	Alométrico positivo con tendencia a la isometría
Agosto	45	2.7302	-1.8329	4.3715	Alométrico negativo

*No es diferente de 3 o no hay diferencia estadística significativa



✓ **Hembras y machos**

Para las hembras se tuvo un comportamiento de tipo potencial con un valor de $b=3.1573$ (Figura 16), lo cual indica que el crecimiento es alométrico positivo, esto es, tienden a aumentar más en peso que en talla. El mismo comportamiento presentaron los machos (Figura 17), cuyo valor de la pendiente fue de $b=3.2070$, que indica el mismo tipo de crecimiento alométrico positivo.

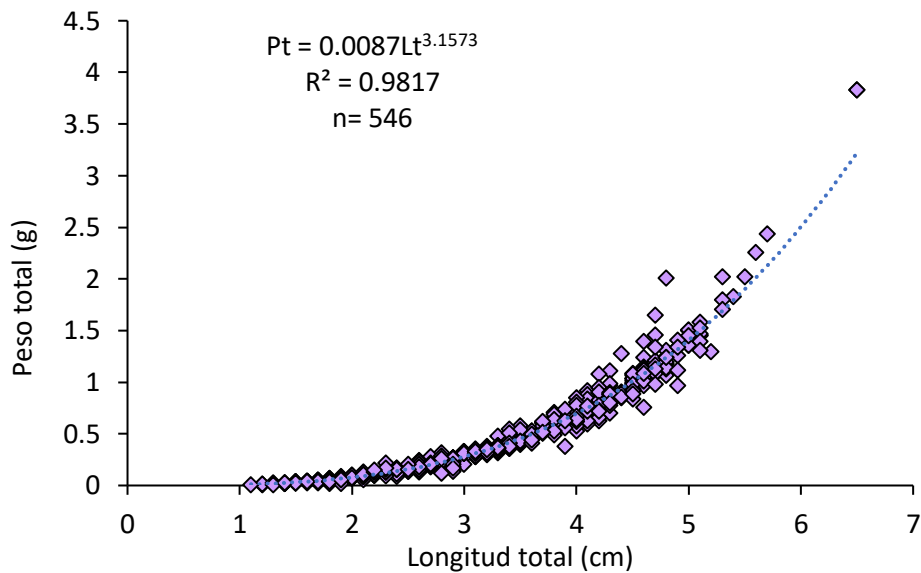


Figura 16. Relación peso-longitud para las hembras *P. gracilis*

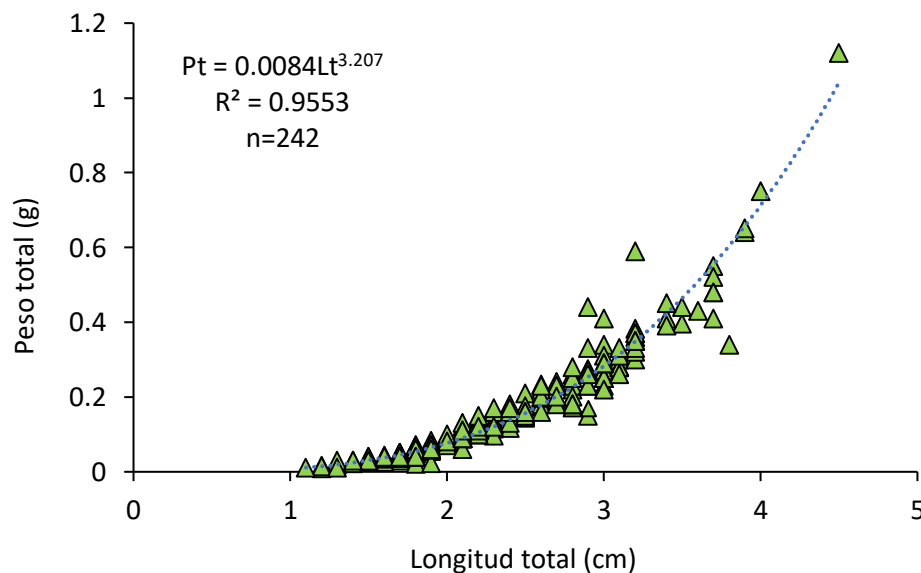


Figura 17. Relación peso-longitud para los machos *P. gracilis*



Se aplicó la prueba t-student (Tabla 5) al valor de la pendiente de los machos, hembras y población total y se obtuvo que los valores de t son mayores a tres; por lo tanto, existe una diferencia estadística significativa de $b=3$ o sea se alejan de la isometría.

Tabla 5. Resultados de la prueba de t-student para el valor de la pendiente de la relación peso-longitud para hembras, machos y población

	n	Pendiente (b)	Ordenada (a)	t-Student (p<0.05)	Tipo de crecimiento
Hembras	546	3.1573	-2.0585	8.2447	Alométrico positivo
Machos	242	3.2070	-2.0779	4.6232	Alométrico positivo
Global	639	3.1523	-2.0563	8.5116	Alométrico positivo

- **Comparación de pendientes entre sexos**

Con la finalidad de conocer si existen diferencias entre las pendientes de la relación peso-longitud entre sexos, se realizó una comparación de estas y se obtuvo un valor de $p=0.9381$ y $F= 0.01$; por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa, lo que indica que la pendiente para ambos sexos es similar.

Factor de condición (Le Cren)

Para toda la población el factor de condición relativo (K_r) tiene un comportamiento particular que está estrechamente relacionado con la temperatura del sistema acuático (Figura 18). Se puede observar que a lo largo del estudio se presentaron dos meses en los cuales se incrementó el factor de condición, y que se correlaciona gráficamente con el incremento de la temperatura, uno en el mes de octubre con un valor de $K=1.68$ y una temperatura de 24.8°C y otro en abril con



valores de $K=1.61$ y 26.7°C , mientras que en el mes de enero hay una disminución donde $K=1.08$ y la temperatura disminuye a su valor más bajo de 22.06°C .

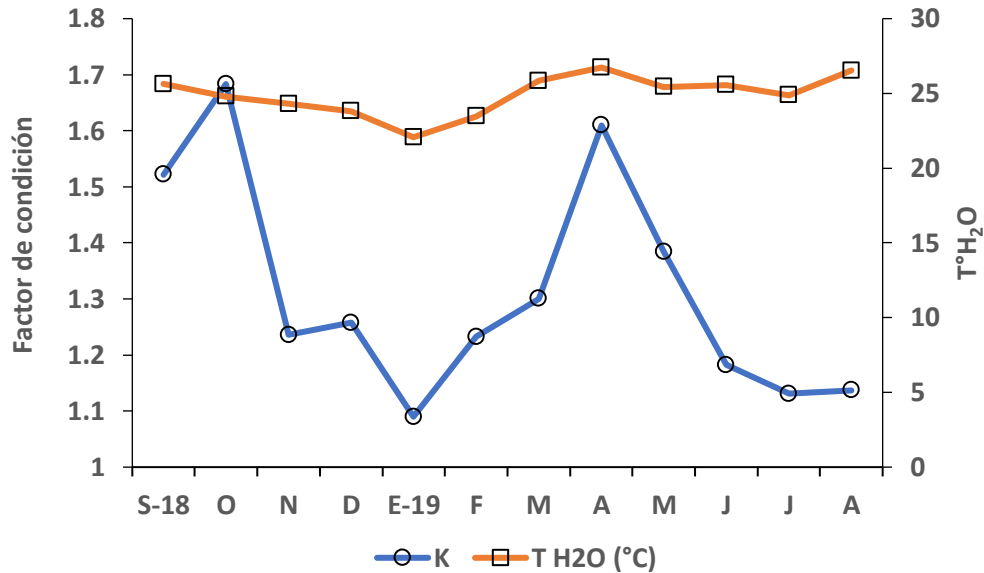


Figura 18. Variación temporal del factor de condición relativo y la temperatura del agua para la población de *P. gracilis*

El factor de condición relativo para las hembras tuvo un valor mínimo de 1.07 (enero) y 2.14 (agosto) como máximo, contrario a los machos los cuales presentaron valores menores, con un mínimo de 1.027 (junio) y máximo de 1.39 (septiembre), además se ve una relación con la temperatura del sistema, ya que cuando la temperatura es mayor, los organismos tienden a tener un grado de bienestar adecuado, a diferencia de cuando la temperatura disminuye, como fue el caso del mes de enero, cuando la temperatura fue de 21.3°C (Figura 19).



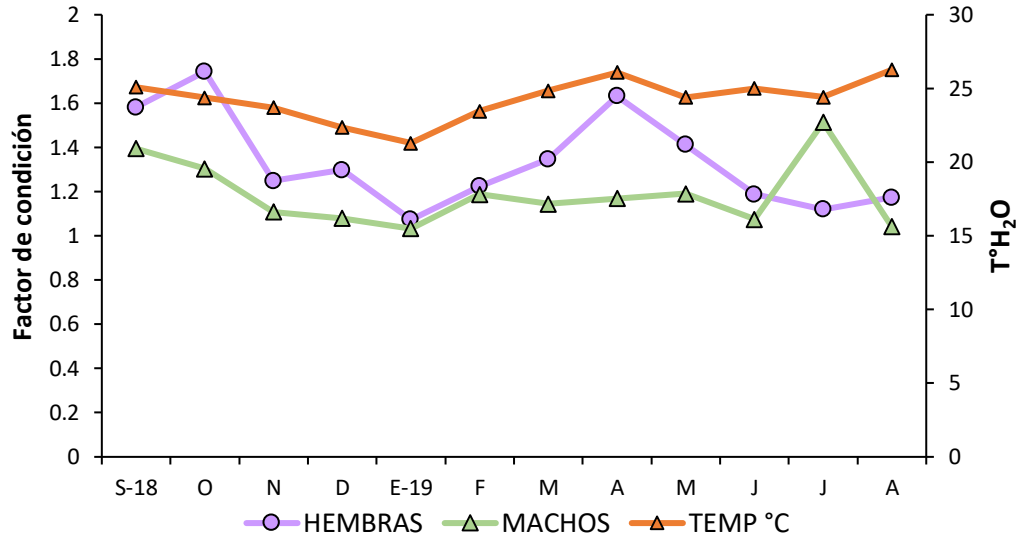


Figura 19. Variación temporal del factor de condición relativo y la temperatura del agua para las hembras y machos de *P. gracilis*

Frecuencia de tallas

Se realizó un histograma de frecuencias de tallas por sexos, donde la talla más representativa fue del intervalo de 3.5-4.5 cm para hembras. La talla modal para los machos estuvo en el rango de 3 cm y para los indeterminados fue de 2-2.5 cm (Figura 20).

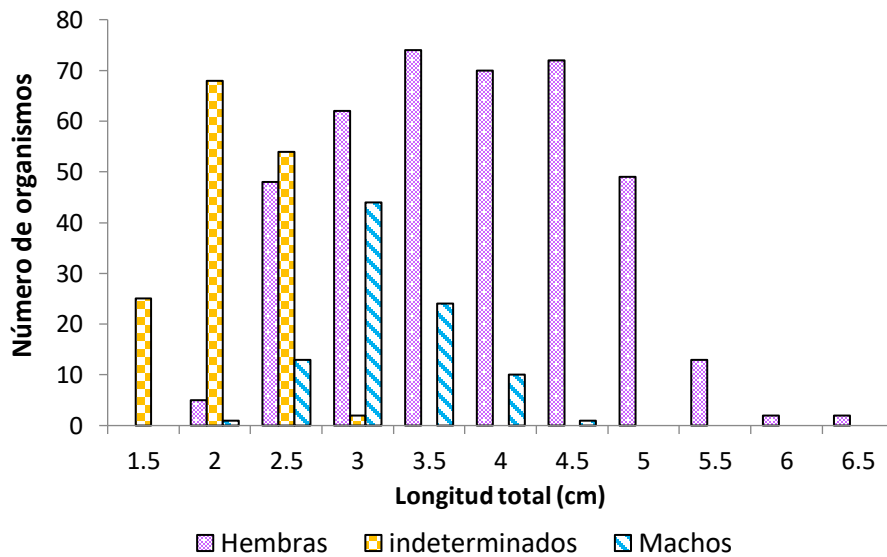


Figura 20. Distribución de frecuencia de tallas para *P. gracilis*



Proporción sexual

Se obtuvo un total de 639 organismos, de los cuales 397 hembras (62.12%), 93 machos (14.50%) y 149 indeterminados (23.24%), por lo tanto, la proporción sexual es de 4.2:1 (H:M) ($\chi^2=187.3653$; $p<0.05$). Todo el estudio siempre hubo dominancia de las hembras (Figura 21).

Se realizó la prueba de χ^2 con la corrección de Yates ($p<0.05$), con lo que se obtuvo que durante 11 meses del estudio hubo diferencia estadísticamente significativa mientras que en agosto no se registraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 6).

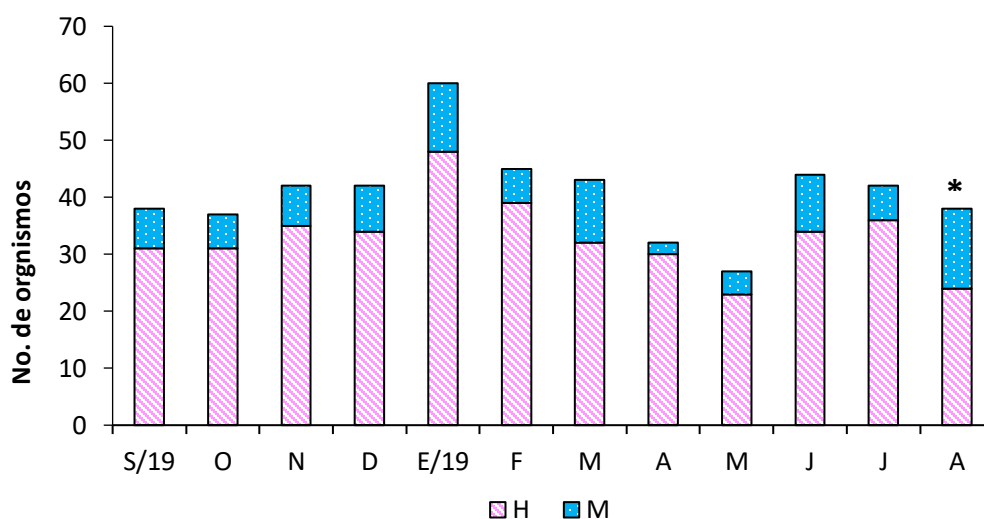


Figura 21. Variación de la relación hembras-machos para *P. gracilis*



Tabla 6. Variación mensual de la proporción de sexos para *P. gracilis*

	H	M	TOTAL	$\chi^2_{(3.841)}$
S/19	31	7	38	13.9210
O	31	6	37	15.5675
N	35	7	42	17.3571
D	34	8	42	14.8809
E/19	48	12	60	20.4166
F	39	6	45	22.7555
M	32	11	43	9.3023
A	30	2	32	22.7812
M	23	4	27	12.0000
J	34	10	44	12.0227
J	36	6	42	20.0238
A	24	14	38	2.1315
TOTAL	397	93	490	187.3653

Edad con método directo (escamas)

Se determinó la edad de 365 individuos de *P. gracilis*, y para ello, se analizaron 1090 escamas, de las cuales se obtuvo el radio y el número de *circullis* de cada una.

Relación longitud total-radio de la escama

El comportamiento de estas dos variables es de tipo potencial con origen diferente de cero, la cual fue la que tuvo mejor ajuste con base en el valor del coeficiente de determinación, lo que indica que no hay una proporcionalidad directa entre estas variables. Durante el estudio se obtuvo un radio mínimo de 0.15 mm para un organismo con longitud total de 1.1 cm y el máximo de 1.87 mm para un pez con longitud total de 6.5 cm (Figura 22).



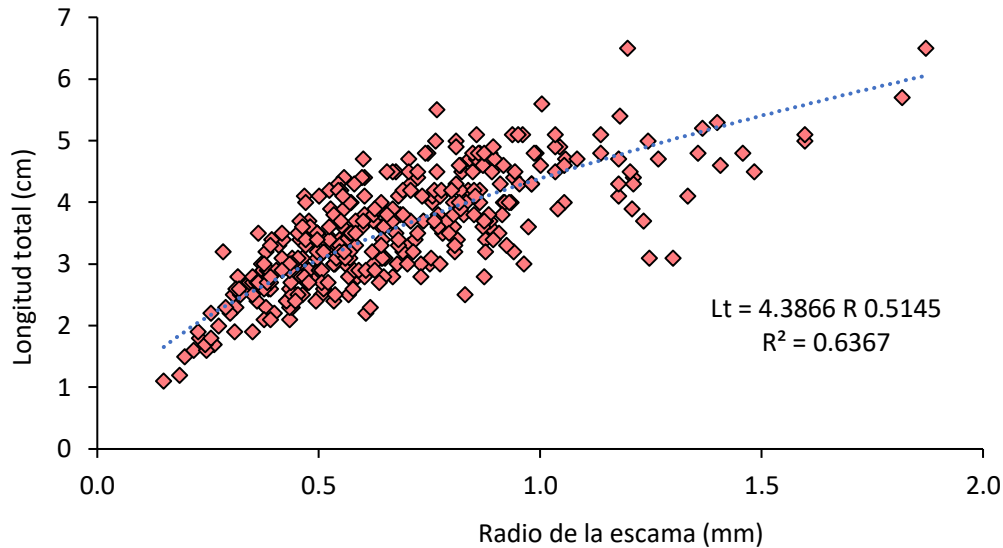


Figura 22. Relación entre el radio de la escama (mm) y longitud total (cm) para la población total de *P. gracilis*

Validación de la edad

Para validar los datos de la depositación de las marcas de crecimiento en las escamas, se hizo un cultivo de *P. gracilis* en condiciones de laboratorio, tratando de mantener las mismas condiciones ambientales lo más adecuadas o similares al bordo Amate Amarillo, con el fin de conocer el tiempo en que se depositan los *circullis*. Se observó que cada marca era depositada cada 3 días y con esto se obtuvo la edad estimada de cada uno de los organismos.

Edad de los organismos con el conteo de *circullis*

Al realizar el conteo de los *circullis* se obtuvo que la edad mínima es de 0.4 meses (12 días) en organismos con una longitud de 1.1 cm y el número máximo de *circullis* corresponden a una edad de 4 meses, en organismos con longitud de 6.5 cm (Figura 23).



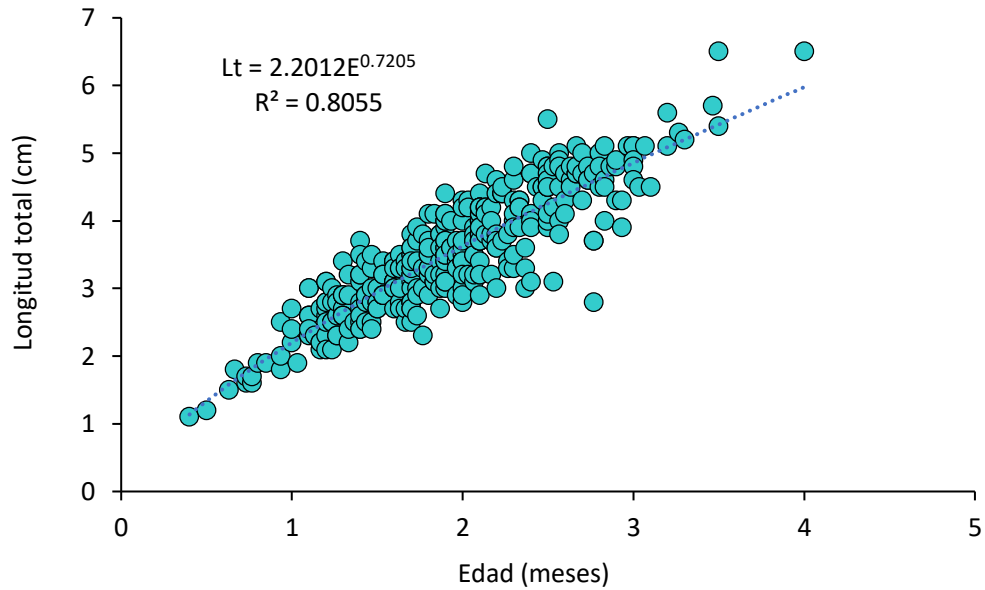


Figura 23. Relación entre la longitud total-edad para la población *P. gracilis*

Modelos de crecimiento

Se obtuvieron 7 grupos de edades (Tabla 7) con su respectiva talla y con ellos se calcularon los modelos de Gompertz y von Bertalanffy.

Tabla 7. Valores de Edad y longitud total para *P. gracilis*.

Edad (meses)	Longitud total (cm)
0	1.15
0.5	1.73
1	2.68
1.5	3.38
2	4.02
2.5	4.54
3	5.03
3.5	5.55
4	6.5



Al realizar el gráfico de todos los datos de talla con cada una de las edades, el comportamiento de la distribución de la talla-edad es de tipo curvilíneo con datos atípicos moderados entre la edad de 0.5 y 2 meses; la edad máxima registrada es de 4 meses con una longitud total de 6.5 cm (Figura 24). La tallas que integran el grupo de 2 meses al parecer tienen un comportamiento normal, mientras que en los demás hay mayor dispersión.

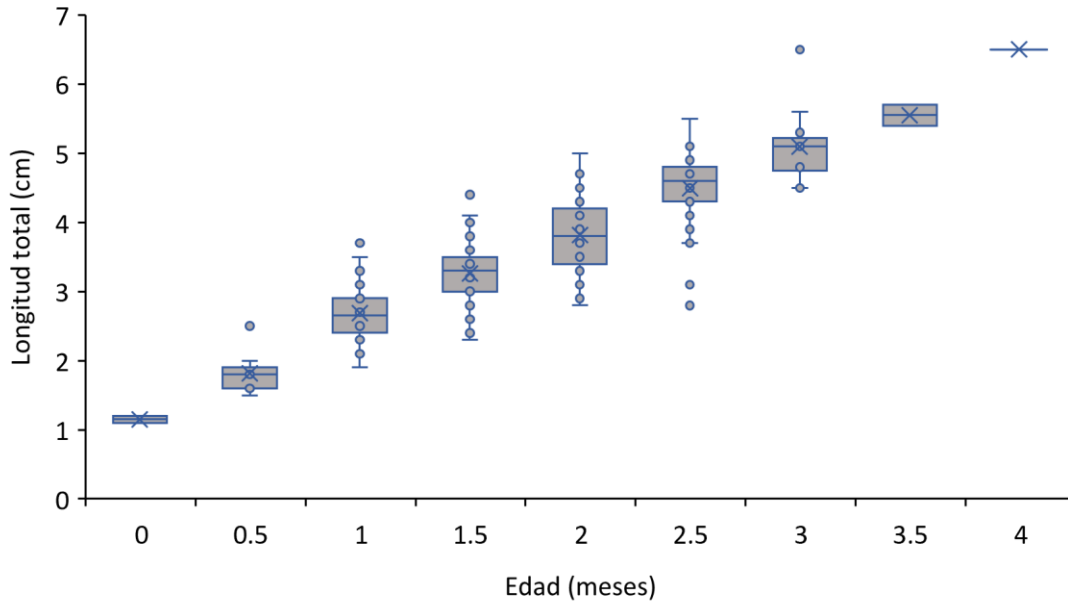


Figura 24 . Distribución de la longitud total en relación edad de *P. gracilis*

Modelo de von Bertalanffy Población

Se obtuvieron las constantes de k , t_0 y L_∞ (Tabla 8) para la población utilizando los dos métodos enmarcados en materiales y métodos.

Tabla 8. Valores de las constantes del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la población.

Constante	Ford y Walford	Beverton y Holt
K		0.0799
t_0		-0.7485
L_∞	19.6504	



Por lo tanto, se obtuvo la ecuación del modelo para poder estimar las longitudes en edades más avanzadas quedando el modelo en talla de la siguiente manera:

$$Lt = 19.6504(1 - e^{-0.0799(\text{edad} - (-0.7485))})$$

La relación longitud-edad para la población muestra un crecimiento con tendencia a linealidad, de acuerdo con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Figura 25), en dicho gráfico, se puede observar que los primeros meses de crecimiento, el aumento en talla es muy rápido, lo cual es representativo del valor de la constante de crecimiento (K).

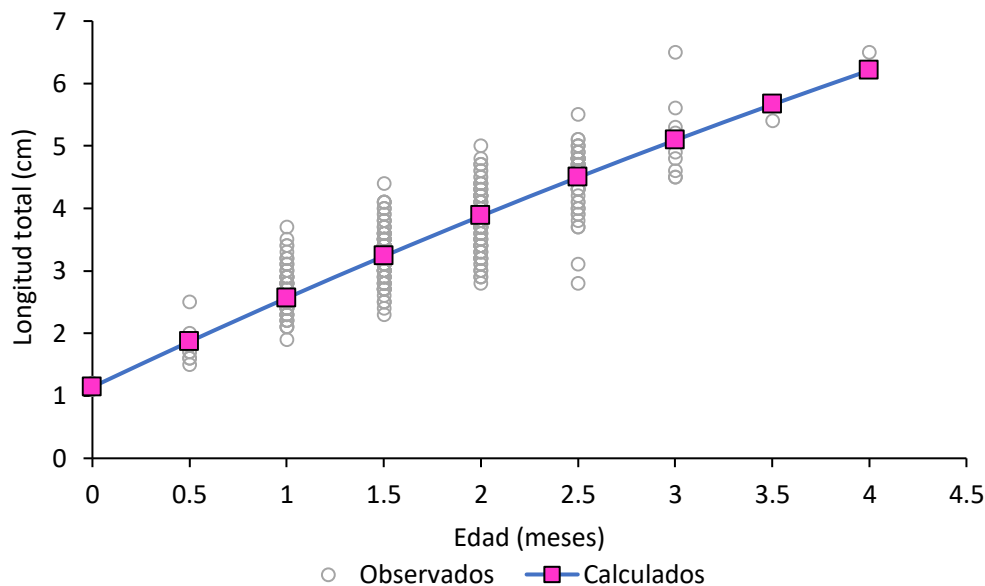


Figura 25. Curva de crecimiento en longitud para la población de *P. gracilis*

Utilizando las variables del modelo para longitud (Tabla 7) y el valor de la pendiente de la relación peso-longitud de la población ($b= 3.1523$), se obtuvo la ecuación en función del peso:

$$Pt = 30.1253 (1 - e^{-0.0799(\text{edad} - (-0.7485))})^{3.1523}$$



Con esta ecuación se calcularon los pesos para cada uno de los grupos para poder obtener la curva peso-edad, en esta grafica se puede observar que en las primeras edades hay un rápido aumento de peso, de acuerdo con el valor de K, esta especie tarda más en alcanzar el peso asintótico que su longitud máxima (Figura 26).

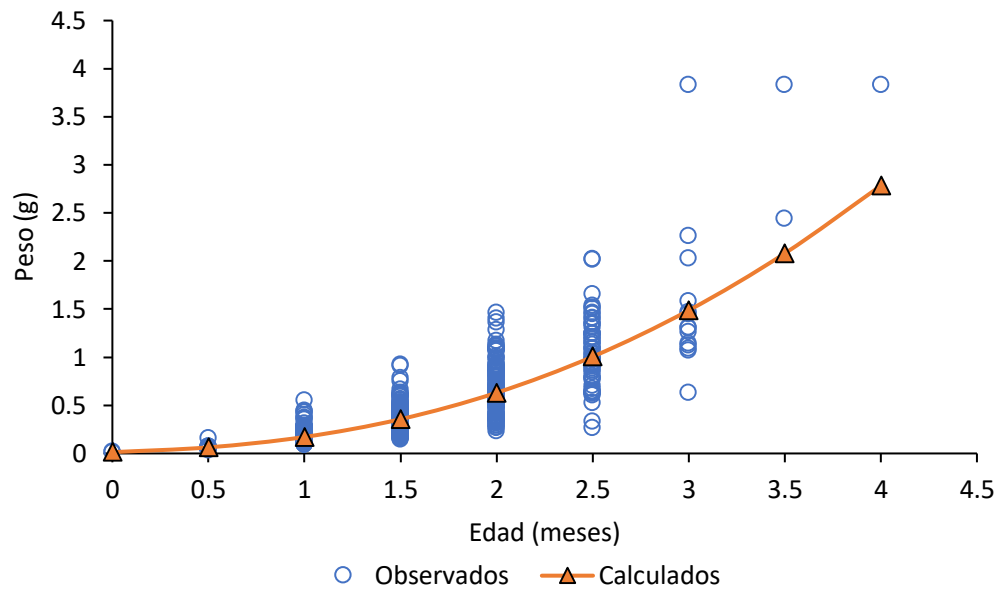


Figura 26. Curva de crecimiento en peso para la población de *P. gracilis* (von Bertalanffy)

Se utilizaron los mismos grupos de edades que para la población, se sacó el promedio de las longitudes para cada uno y así se obtuvieron las constantes del modelo para las hembras (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de las constantes del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para hembras

Constante	Ford y Walford	Beverton y Holt
K		0.1642
t_0		-0.6176
L_∞	11.3382	



Utilizando estos valores se obtuvo la ecuación del modelo con la que es posible calcular la longitud de edades más avanzadas:

$$Lt = 11.3382(1 - e^{-0.1642(edad - (-0.6176))})$$

Para las hembras la relación longitud-edad muestra un crecimiento de tipo curvilíneo, de acuerdo con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Figura 27), en dicho gráfico, se puede observar que los primeros meses de crecimiento las hembras tienden a aumentar rápidamente en talla, lo cual es representativo del valor de la constante de crecimiento (K).

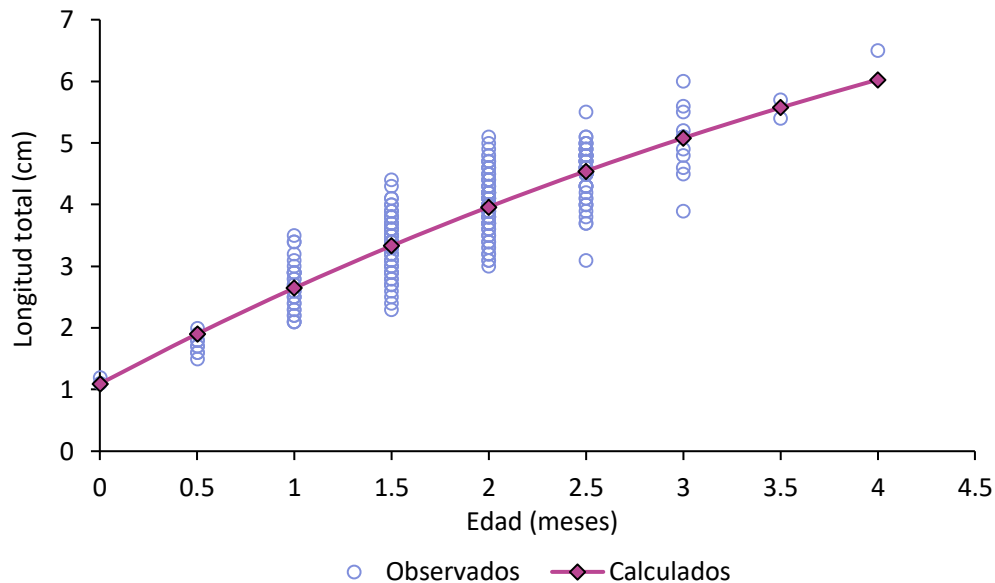


Figura 27. Curva de crecimiento en longitud para las hembras de *P. gracilis*

Para el modelo en peso se utilizaron los valores de las constantes del modelo para longitud y el valor de la pendiente de la relación peso-longitud de las hembras ($b=3.1573$), así se obtuvo la ecuación en función del peso:

$$Pt = 18.5661 (1 - e^{-0.1642(edad - (-0.6176))})^{3.1573}$$



Se obtuvo el peso calculado con la ecuación anterior lo cual nos da la curva peso- edad y se comparó con los datos del peso total observado (Figura 28).

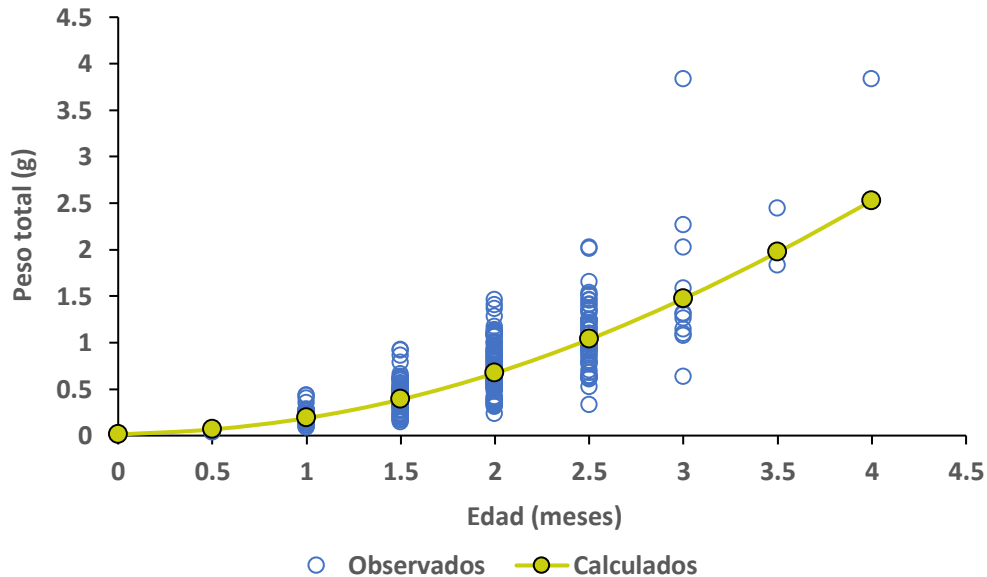


Figura 28. Curva de crecimiento en peso para las hembras de *P. gracilis*

A diferencia de la población y las hembras solo se utilizaron 6 de los 9 grupos de edades, no hubo organismos del grupo de 2.5 meses, con esto se obtuvieron las constantes del modelo (Tabla 10)

Tabla 10. Valores de las constantes del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para machos

Constante	Ford y Walford	Beverton y Holt
K		0.1938
t_0		-0.7483
L_∞	8.2529	

Con estos valores se pudo construir la ecuación de Bertalanffy, la cual ayuda a calcular valores de longitud para edades avanzadas.

$$Lt = 8.2529 (1 - e^{-0.1938(edad - (-0.7483))})$$



La relación longitud-edad para los machos (Figura 29) tiene un comportamiento curvilíneo y al igual que las hembras tiende a crecer más rápido en las primeras etapas de crecimiento, pero mientras las hembras siguen creciendo a lo largo de su vida los machos dejan de crecer a edades muy tempranas. A diferencia de las hembras se puede observar que los machos presentan un menor crecimiento en longitud, ya que la tasa de catabolismo es más pequeña que para las hembras, por lo tanto, tardan más tiempo en alcanzar su longitud asintótica.

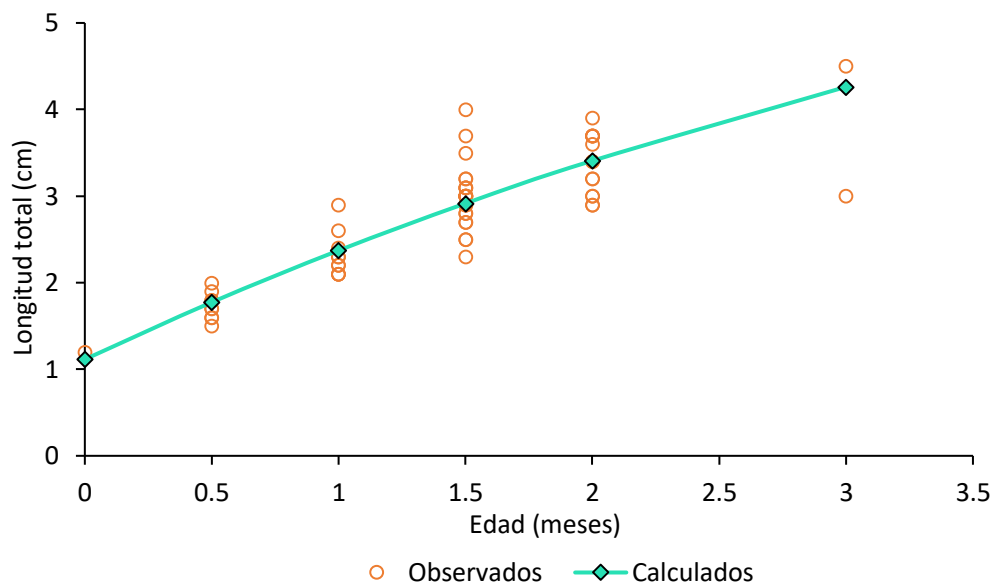


Figura 29. Curva de crecimiento en longitud para los machos de *P. gracilis*

Con los valores obtenidos del modelo en longitud y el valor de la pendiente de la relación peso-longitud ($b=3.2070$) se obtuvo el modelo en peso

$$Pt = 8.2529 \left(1 - e^{-0.1938(\text{edad} - (-0.7483))} \right)^{3.2070}$$

Con la ecuación completa y el promedio del peso para cada grupo de edades se obtuvieron los pesos calculados y se comparó con los observados (Gráfica 30), comparado con las hembras se observa que los machos no aumentan tanto en peso.



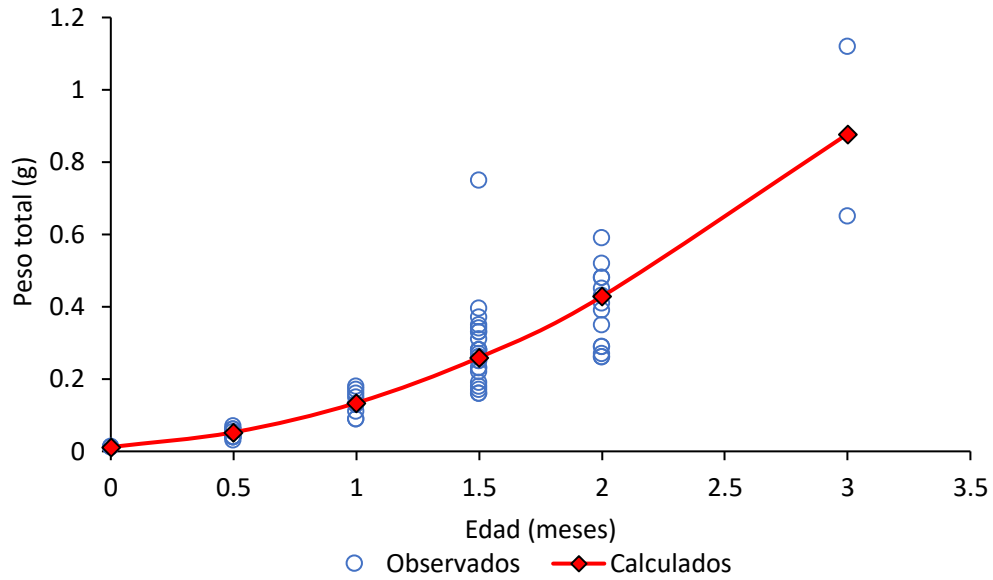


Figura 30. Curva de crecimiento en peso para los machos de *P. gracilis*

Se realizó la prueba de T^2 de Hotelling (Bernard, 1981) implementado por Salgado-Ugarte *et al.* (2005) con el fin de comparar si las constantes de crecimiento de von Bertalanffy de las hembras y los machos eran diferentes entre sí. En la tabla 11, se puede observar que hay diferencias significativas entre hembras y machos, y que las variables que más afectan el crecimiento en la L_∞ y K .



Tabla 11. Prueba multivariada para la comparación de los parámetros del modelo de crecimiento von Bertalanffy al 95% de confianza (Basada en Bernard, 1981).

Matriz S			Matriz S inversa						
	3.4908442	-0.12532237	-0.14336487		0.515106959	4.31630917	1.79421968		
		0.01047093	0.01078945			391.562821	-237.185147		
			0.01520306				251.023465		
<hr/>									
	-5.5132	0.2614	0.0069		= [P1 - P2]'				
<hr/>									
T ² =	93.6951	T ² _{0.05: 3,9} =	14.1627	F _{0.05: 3,9} =	3.8625				
<hr/>									
Intervalo de confianza 95 %				F Crítica					
-9.4251 <= L _{inf1} - L _{inf2} <=				-1.6014					7.6722
0.0472 <= K1 - K2 <=				0.4757					5.7521
-0.2513 <= t _{o1} - t _{o2} <=				0.2650					0.0027

S= Matriz varianza-covarianza, P= vectores con los parámetros de crecimiento, T² = Estadístico de Hotelling

Se realizó la misma prueba pero con un intervalo de confianza del 99% y como resultado se obtuvieron los mismos valores que con un $\alpha=0.05$.

Modelo de Gompertz

Utilizando los mismos grupos de edades, se prosiguió a sacar las constantes del modelo de crecimiento de Gompertz para el peso (Tabla 9).

Tabla 12. Valores de las constantes de crecimiento de Gompertz para la población

Constante	
P _∞	4.0315
B	5.6210
k	0.5841

Se obtuvo la ecuación completa del modelo:

$$P_t = 4.0315 e^{-5.6210 * e^{-0.5841 * edad}}$$

Al igual que el modelo de von Bertalanffy, el modelo de Gompertz presenta un comportamiento de tipo curvilíneo y se puede observar que para los primeros grupos de edades hay un aumento de peso más rápido que para las edades más



avanzadas, esto se debe a distintos procesos tanto metabólicos como reproductivos (Figura 31).

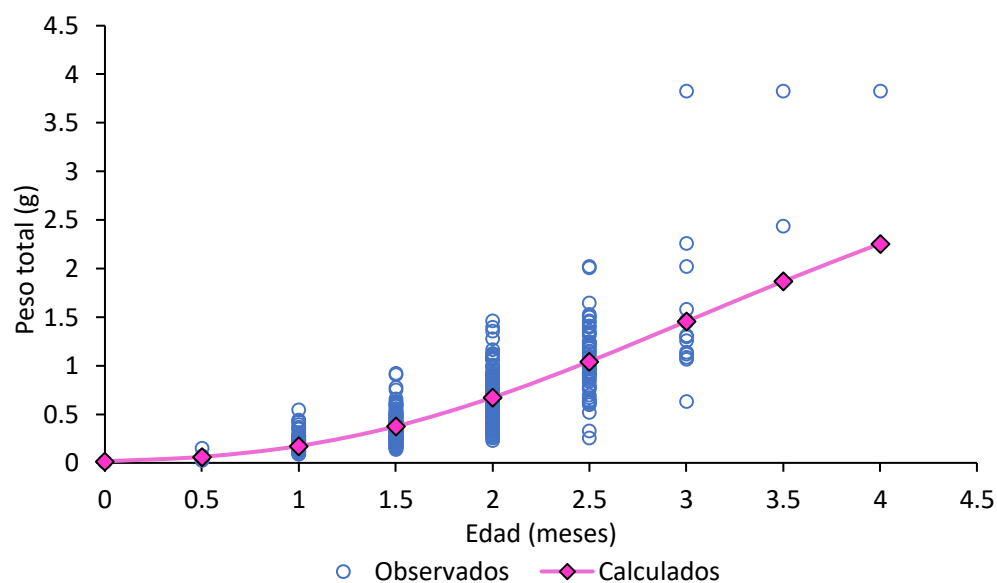


Figura 31. Curva de crecimiento de Gompertz en peso para la población de *P. gracilis*

En cuanto a las hembras se obtuvieron los siguientes valores para las constantes del modelo:

Tabla 13. Valores de las constantes de crecimiento de Gompertz para hembras.

Constante	
P_{∞}	4.0315
B	5.5335
k	0.5874

Obteniendo estos valores se obtuvo la ecuación completa del modelo, para poder calcular los pesos de cada grupo:

$$Pt = 4.0315 e^{-5.5335 * e^{-0.5874 * edad}}$$



Al obtener la curva de crecimiento para peso, al igual que el modelo anterior, en los primeros meses siempre hay un aumento rápido (Figura 32), las hembras en edades avanzadas tienden a tener un peso mayor, esto debido a procesos reproductivos.

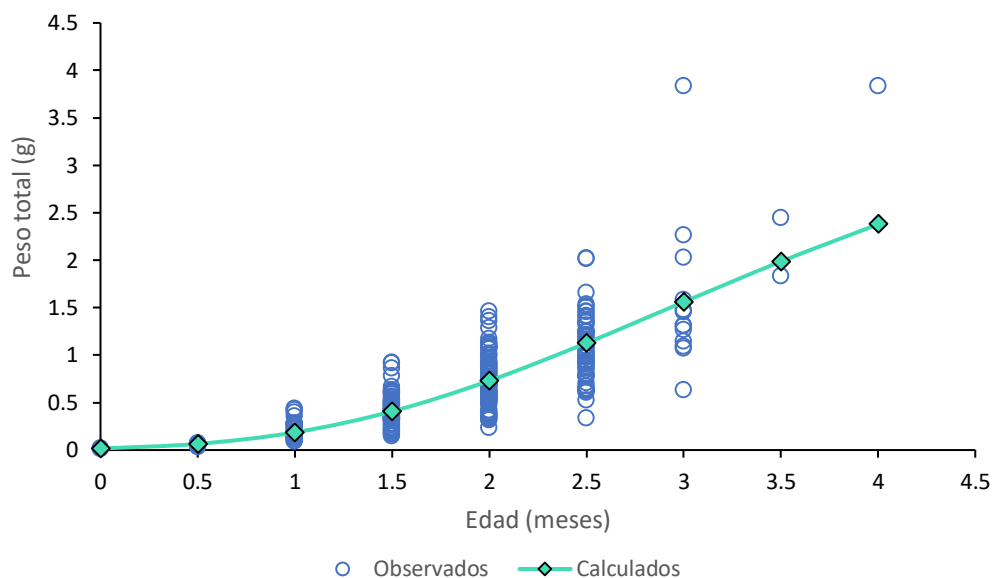


Figura 32. Curva de crecimiento de Gompertz en peso para las hembras de *P. gracilis*

Para los machos las constantes tuvieron los siguientes valores y al igual que en el modelo de von Bertalanffy solo se tomaron en cuenta 6 de las 9 clases:

Tabla 14. Valores de las constantes del modelo de Gompertz en función del peso para machos de *P. gracilis*.

Constante	
P_{∞}	1.1789
B	4.5369
k	0.7306

Teniendo estos valores se contruye la ecuación del modelo y queda de la siguiente manera:

$$Pt = 1.1789 e^{-4.5369 * e^{-0.7306 * edad}}$$



Teniendo la ecuación completa, se sustituyen los valores de la edad, los cuales van desde el 0 al 3 excepto el grupo 2.5 del cual no se registró ningún organismo, con esto se obtiene la curva de crecimiento (Figura 33) en la cual se observa que las primeras edades son cuando aumenta más en peso, lo cual se expresa en el valor que tiene su tasa instantánea de crecimiento.

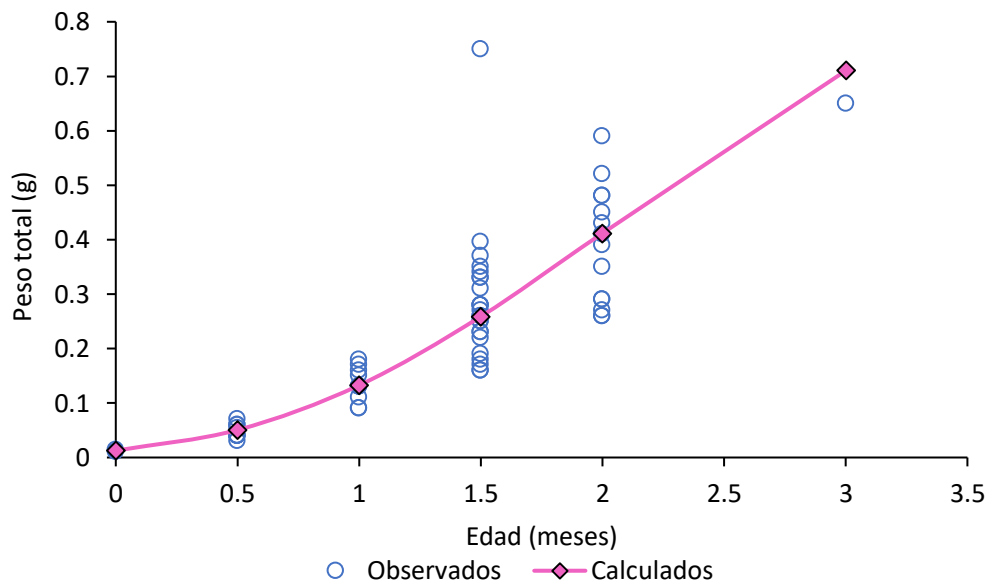


Figura 33. Curva de crecimiento de Gompertz en función del peso para los machos de *P. gracilis*

Utilizando los mismos grupos de edades y con ayuda del paquete estadístico STATA 11 se obtuvo las variables para el modelo de Gompertz en longitud para la población de *P. gracilis* (Tabla 15):



Tabla 15. Función no lineal de crecimiento de Gompertz para la población de *P. gracilis*.

Source	SS	df	MS			
Modelo	158.498916	3	52.8329721	Número de obs. =	9	
Residuo	.145838441	6	.024306407	F(3, 6) =	2173.62	
Total	158.644755	9	17.627195	Prob > F =	0.0000	
				R-cuadrada =	0.9991	
				Adj R-cuadrada =	0.9986	
				Raíz MSE =	.1559051	
				Res. dev. =	-11.56143	

3-parameter función Gompertz, longitudP=b1*exp(-exp(-b2*(edadP-b3)))

longitudP	Coef.	Err. Std.	t	P> t	[95% Intervalo conf.]	
b1	10.07425	1.467343	6.87	0.000	6.483793	13.66471
b2	0.3782081	0.0630193	6.00	0.001	0.2240055	.5324108
b3	1.903302	0.4265289	4.46	0.004	0.859623	2.94698

(SEs, valores P, CIs, y correlación son aproximaciones asintóticas)

Con esto se obtiene la ecuación completa del modelo de Gompertz para longitud total:

$$Lt = 10.0742 * e^{-e^{(-0.3782*(edad-1.9033)}}$$

Utilizando esta ecuación se obtuvo la gráfica edad-longitud (Figura 34), la cual presenta un comportamiento con tendencia a una línea recta, en la que se puede observar que en los primeros meses tiene un aumento en talla rápido, además de que el valor de K expresa una tasa de crecimiento rápida, por lo tanto, alcance su longitud asintótica en un tiempo corto.



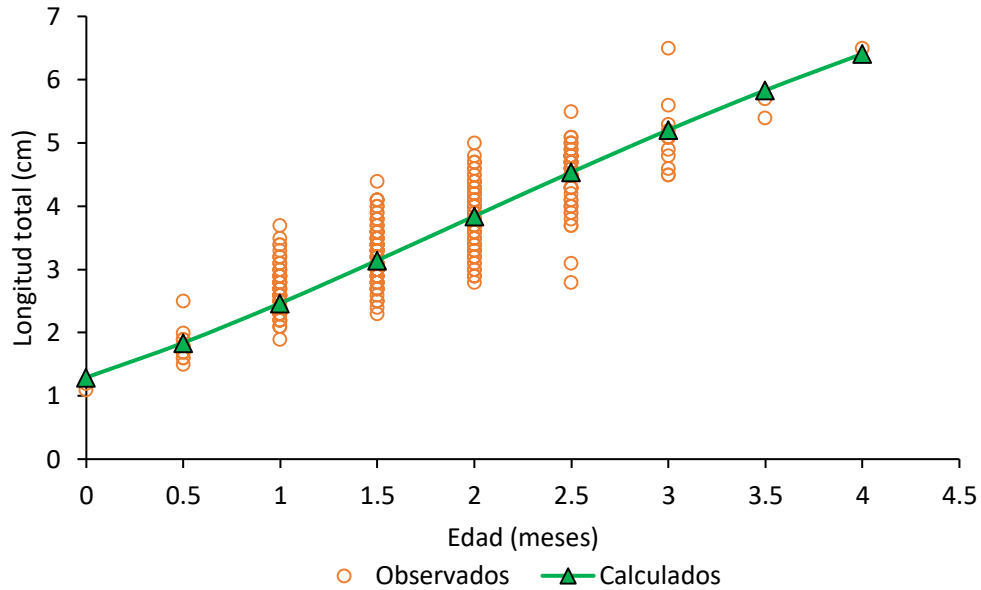


Figura 34. Curva de crecimiento de Gompertz en longitud para la población de *P. gracilis*

Para las hembras se realizó el mismo procedimiento y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 16. Función no lineal de crecimiento de Gompertz para hembras de *P. gracilis*.

Source	SS	df	MS	Number of obs = 9		
Model	157.974449	3	52.6581498	F(3, 6) =	1356.75	
Residual	.232872305	6	.038812051	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9985	
				Adj R-squared =	0.9978	
				Root MSE =	.1970077	
				Res. dev. =	-7.349513	
3-parameter Gompertz function, longitud1=b1*exp(-exp(-b2*(edad1-b3)))						
longitud1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
b1	8.489795	1.084592	7.83	0.000	5.835894	11.1437
b2	0.456453	.0832487	5.48	0.002	.2527508	.6601552
b3	1.421387	.3199941	4.44	0.004	.6383902	2.204385

(SEs, P values, CIs, and correlations are asymptotic approximations)



Tomando en cuenta los valores que arrojó Stata 11, se puede construir la ecuación del modelo y obtener los valores de longitud total para cada uno de los grupos de edades:

$$Lt = 8.4897 * e^{-e^{(-0.4564*(edad-1.4213))}}$$

Se obtuvo la curva de crecimiento en longitud total (Figura 35), en esta gráfica se puede observar, como en todas, que en los primeros meses los organismos tienden a aumentar rápidamente en talla, el valor de K expresa que las hembras tienden a llegar más rápido a la longitud asintótica, además de que abarcan mas edades a diferencia de los machos.

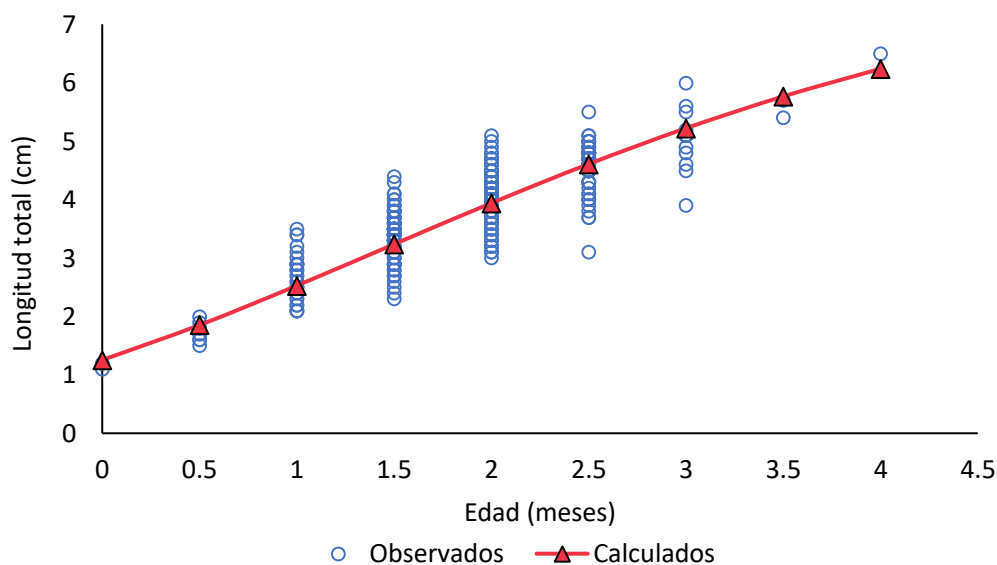


Figura 35. Curva de crecimiento de Gompertz en longitud para hembras de *P. gracilis*

En cuanto a los machos se obtuvieron los siguientes valores para las constantes del modelo, esto con ayuda de Stata 11 (Tabla 17).



Tabla 17. Función no lineal de crecimiento de Gompertz para machos de *P. gracilis*.

Source	SS	df	MS			
Modelo	44.1649168	3	14.7216389	Número de obs. =	6	
Residuo	.021672801	3	.007224267	F(3, 3) =	2037.80	
Total	44.1865896	6	7.3644316	Prob > F =	0.0000	
				R-cuadrada =	0.9995	
				Adj R-cuadrada =	0.9990	
				Root MSE =	.0849957	
				Dev. Res. =	-16.71348	
3-parametros función Gompertz, longitud1=b1*exp(-exp(-b2*(edad1-b3)))						
longitud1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Intervalo Conf.]	
b1	4.161181	.1865272	22.31	0.000	3.567568	4.754794
b2	.8895034	.1019923	8.72	0.003	.5649185	1.214088
b3	.3222831	.0618437	5.21	0.014	.1254688	.5190975

(SEs, valores P, CIs, y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

Con estos datos se construye la ecuación completa para posteriormente calcular las longitudes de cada grupo:

$$Lt = 4.1611 * e^{-e^{(-0.8895*(edad-0.3228)}}$$

La siguiente gráfica (Figura 37) muestra el crecimiento de los machos, en la que se observa un rápido aumento de talla en los primeros meses y además tiende a llegar rápidamente a su longitud asintótica, esto se demuestra por el valor de K que presenta el modelo.



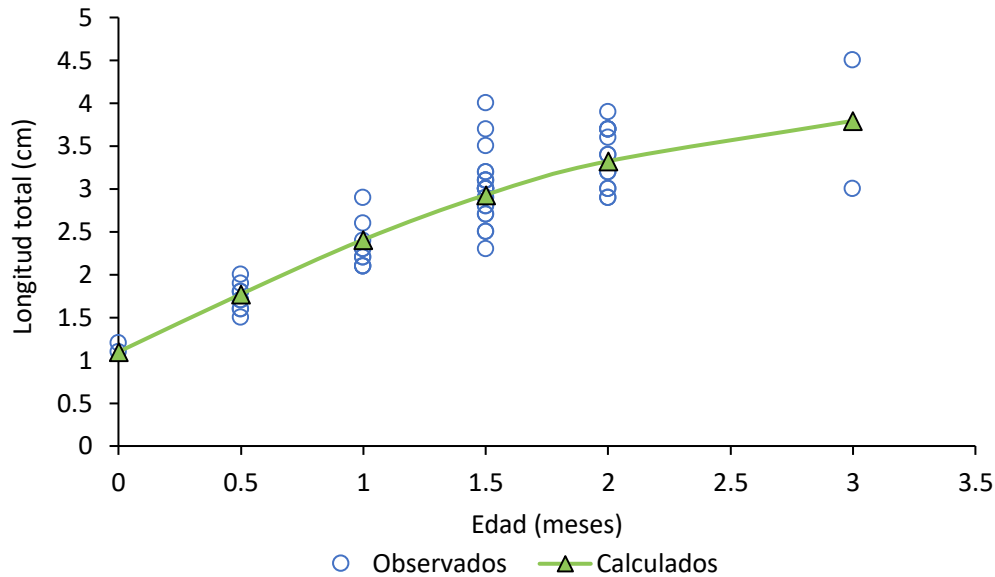


Figura 36. Curva de crecimiento de Gompertz en longitud para machos de *P. gracilis*

Al igual que el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, también se le aplicó la prueba de T^2 de Hotelling (Tabla 18), la cual demostró que entre machos y hembras existe una diferencia significativa y que las variables que afectaron el crecimiento de los organismos fue la L_∞ y K .

Tabla 18. Prueba multivariada para la comparación de los parámetros del modelo de crecimiento Gompertz al 95% de confianza (Basada en Bernard, 1981).

Matrix S			Matrix S inverse					
	.47384899	-.04405798	.13675951		50.9944096	52.235015	-152.5472	
		.00906701	-.01162326			225.030898	-108.490456	
			.04173678				493.599798	

$$| \quad -4.3286 \quad 0.4331 \quad -1.0991 \quad | \quad = [P1 - P2]'$$

$$T^2 = 179.6063 \quad T^2_{0.01: 3,11} = 22.0411 \quad F_{0.01: 3,11} = 6.2167$$

Confidence intervals of 99 %	Critical F
-6.0319 <= $L_{inf1} - L_{inf2}$ <= -2.6253	40.1503
0.1974 <= $K1 - K2$ <= 0.6687	21.0012
-1.6046 <= $t_{o1} - t_{o2}$ <= -0.5936	29.3893



Comparación de modelos Gompertz y von Bertalanffy

Se obtuvo el coeficiente de correlación para los dos modelos de crecimiento (Figura 37) para von Bertalanffy se tuvo una $R=0.9989$ y para Gompertz $R=0.9996$, con lo que se puede decir que el modelo que mejor se ajusta a los datos observados para la población es el de Gompertz, además el valor de la talla asintótica es más cercano a los valores observados en campo ya que el modelo de Bertalanffy sobreestima la L_{∞} . Sin embargo, al revisar la figura 38, se observa que hasta la edad de cuatro meses el comportamiento que describen ambos modelos es similar.

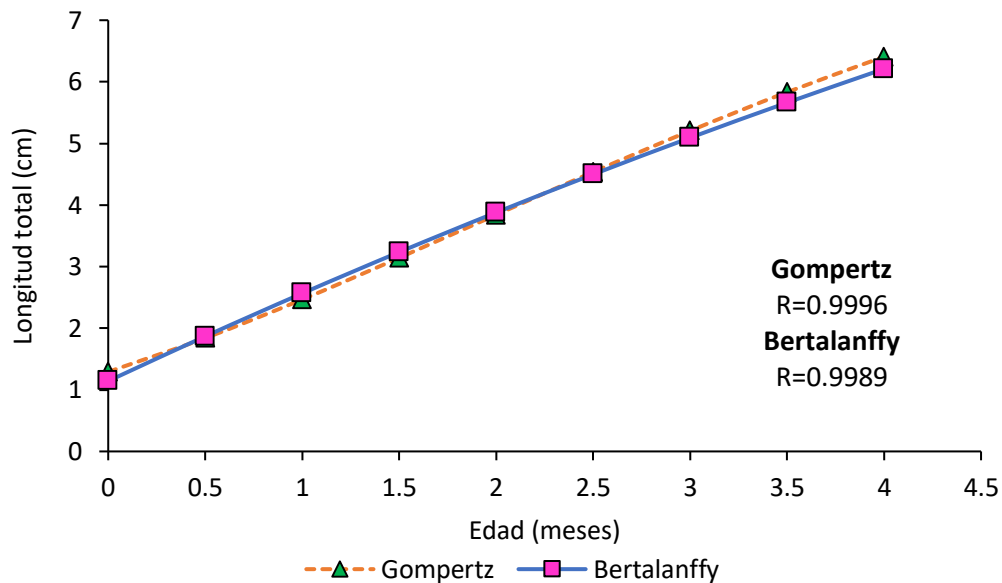


Figura 37. Comparación de los modelos de crecimiento de Gompertz y von Bertalanffy para la población.

Longevidad

Después de haber obtenido las constantes del modelo de von Bertalanffy se obtuvo la longevidad o la edad máxima para *Poeciliopsis gracilis*, esto con ayuda de la ecuación de Taylor (1958), la cual fue de **2 años**, en condiciones naturales.



Discusión

En las últimas décadas, la pesca en aguas continentales se ha incrementado debido a la construcción de embalses artificiales (presa, bordos, etc.) sobre corrientes permanentes y en algunos casos donde el agua es escaza, para retener el líquido, con diferentes propósitos como el abastecimiento para la agricultura de riego, en ocasiones como fuentes de recreación y actualmente, para la generación de recurso íctico de alta calidad proteica, con la finalidad de que se desarrollen diversas pesquerías con especies de interés comercial.

Estos sistemas de pocas hectáreas de área, se les conoce bajo los términos “pequeños embalses” (Remedios, 2001) o “microembalses” (Hernández-Avilés *et al.*, 2007) y hacen referencia a los cuerpos de agua construidos con la finalidad de capacitación del agua de lluvia para el riego en la agricultura o como abrevaderos para el ganado (Arredondo-Figueroa & Flores-Nava, 1992), aunque la clasificación de los cuerpos de agua naturales y artificiales en México resulta un tanto vaga (Sugunan, 1997) al carecer de una terminología única y precisa. Cabe destacar que los “microembalses”, sistemas acuáticos menores de 10 ha constituyen el 84% del total de cuerpos de agua en México (Rojas-Hoyo, 1986; Quiroz *et al.*, 2009), lo que refleja en gran medida la dependencia hídrica respecto al clima. En especial, los microembalses “temporales” de la Meseta Central de México retienen agua pluvial desde el inicio de la temporada de lluvias a partir de junio aproximadamente hasta principios del año siguiente, cuando experimentan un proceso de desecación por influencia climática de la época de secas (noviembre-mayo). En este sentido, constituyen un ejemplo de ecosistemas acuáticos intermitentes, al contrario de los cuerpos de agua permanentes donde existen poblaciones de peces autosuficientes a través de la reproducción natural (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992). Pero a pesar de su intermitencia se tiene un gran aprovechamiento de los recursos pesqueros, además de que el agua que recolectan estos microembalses es de utilidad para otras actividades. Estos sistemas se caracterizan por presentar dos etapas: la primera en la que presenta dilución de los materiales en solución y suspensión, con el decremento en la



alcalinidad, dureza y conductividad, consecuencia de la época de lluvias y la otra considerada como fase de concentración durante la época de secas, en la cual se incrementa estos componentes, al reducirse el volumen por evaporación, infiltración, uso del agua para riego y abrevadero (Hernández-Avilés *et al.* 2007; Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Granados-Ramírez *et al.*, 2014)

Pérez y Restrepo en 2008, presentan una clasificación de los lagos y aunque Amate amarillo no sea considerado como lago, puede considerarse de esta forma ya que también se encuentra estratificado como un sistema natural. Este sistema se encuentra en una zona de clima cálido con una precipitación anual de 800 mm y una temperatura media de 24°C, y de acuerdo con el trabajo realizado por Rivera y Hernández (2011) y apoyado de la clasificación de Lewis (1983), este microembalse presentó características de ser polimíctico cálido discontinuo, ya que registró diversos periodos de mezcla en el atardecer y durante la noche y está estratificado por un periodo de tiempo corto durante el día, todo esto en un ciclo nictimeral.

Schindler (1991) menciona que los lagos someros pueden estratificarse y romper la estratificación varias veces en el verano, como resultado del período de vientos y que los lagos polimícticos 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. Esto influye en el comportamiento del sistema, así como en el de los organismos al tener una participación importante en la solubilidad de los gases, en las tasas fotosintéticas, en el crecimiento, la reproducción de las especies, así como también influye en la modificación del metabolismo del metabolismo de los peces.

Estas condiciones influyen en la presencia, distribución, abundancia y composición de los diferentes organismos presentes en este tipo de ecosistemas, ya que la variación a través del año puede provocar diversos cambios que influyen directamente en la dinámica ecológica del bordo. Es por esto, que la producción



de organismos acuáticos se origina a partir de las relaciones entre ellos y los parámetros físicos y químicos en un sistema cerrado (Quiroz, 1996).

Al observar las gráficas de temperatura y profundidad (Figura 10), se puede decir que el bordo Amate amarillo presenta estratificación durante el periodo en el cual se realizó el muestreo, ya que tiene variaciones de temperatura en toda la columna de agua principalmente en los meses de septiembre y diciembre de 2018. Sin embargo, estudios anteriores como Rivera y Hernández (2011) han demostrado las variaciones térmicas en un ciclo de 24 horas.

La temperatura del agua es un factor esencial para la producción pesquera, ya que cada especie puede sobrevivir en un intervalo óptimo de temperatura determinado para respirar, crecer y reproducirse (Nikolsky, 1963) como lo menciona Wetzel (2001) este factor afecta los procesos fisiológicos; como lo es el caso de *P. gracilis* en el sistema en estudio en donde se registran las condiciones de temperatura adecuadas para su desarrollo, sin embargo, pueden existir algunos cambios conductuales a consecuencia de la estratificación y la sedimentación, que ocasione que la especie sufra algún tipo de estrés, así como la entrada y salida de agua del bordo, lo que altera las condiciones físicas y químicas presentes en el sistema acuático. La temperatura juega un papel muy importante en el metabolismo de los peces principalmente en su crecimiento, lo cual se puede ver reflejado en la depositación de carbonato de calcio en forma de anillos o bandas en las escamas y otras estructuras duras (Arredondo y Ponce, 1998).

El oxígeno disuelto, así como la temperatura son dos de los parámetros importantes de los sistemas acuáticos, ya que son esenciales para el metabolismo de todos los organismos (Wetzel, 1981; Contreras, 1994). Existe una relación importante entre la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto que de acuerdo con Gómez-Márquez y col. (2013) mencionan que estas dos variables tienen una relación significativamente inversa, para un microreservorio en el estado de Morelos. Durante el período de estudio en el bordo Amate amarillo se registró una temperatura máxima de 26.2°C con una concentración de oxígeno



promedio de 5.8 mg/L en el mes de agosto y para el mes de febrero se registró la máxima concentración de oxígeno disuelto con 10.51 mg/L con una temperatura promedio de 23.4°C. Indicando que hay una mayor producción fitoplanctónica. Este cambio en la concentración de oxígeno disuelto es debido a la baja temperatura característica de la época fría, lo cual se corrobora por lo que menciona Wetzel (2001) y Pérez y Restrepo (2008), mientras que para febrero sucede todo lo contrario, hay más consumo de oxígeno como lo menciona Pérez y Restrepo (2008), donde a mayor temperatura y a una presión constante, ocurre una menor solubilidad. Los resultados muestran que las concentraciones son adecuadas para que los peces se desarrollen y reproduzcan de acuerdo con los niveles de concentración de oxígeno disuelto (mayor a 5 mg/L) citados por Swingle (1969), Arredondo (1986) y Arredondo y Ponce (1998). Rodríguez y Carmona (2002) mencionan que el intervalo de 4 a 11 mg/L de oxígeno disuelto es el recomendable para el desarrollo de la vida acuática y Amate amarillo tiene un intervalo que va desde los 4.05 hasta los 10.51 mg/L, lo cual es adecuado para el buen desarrollo de los organismos, además de que tener temperaturas altas como un sistema cálido, ayudan al crecimiento rápido de los mismos así como a la mejor asimilación del alimento (Pulla y Chang, 2006).

En cuanto a la relación del oxígeno disuelto con la profundidad, el sistema Amate Amarillo cada mes mostró una concentración mayor en la superficie y una disminución al aumentar la profundidad, lo cual concuerda con lo que menciona Pérez y Restrepo (2008) quienes presentan una clasificación para los perfiles de oxígeno (clinógrado, ortógrado y heterógrado) de los cuales el que mejor representa a este sistema es el perfil clinógrado, ya que se puede observar una disminución progresiva de oxígeno hacia el fondo, sin llegar a la anoxia.

En el caso de los factores químicos del agua del sistema como la dureza, alcalinidad y pH, se tiene una estrecha relación con la productividad, ya que las aguas que contienen 40 mg/L o más de alcalinidad total, son consideradas más productivas que las de baja alcalinidad (Arredondo, 1986, Arredondo y Ponce,



1998). Amate Amarillo presentó una alcalinidad de media a alta de acuerdo con Kevern (1989) lo que ayuda a la producción, y al ser un sistema alcalino (pH: 8.2 promedio) hay más reserva de carbono, aumenta la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes (Guerra, 2014; Arredondo, 1986), lo cual favorece el proceso fotosintético y por consiguiente, hay un aumento en la producción de alimento para las especies detritófagas como lo es *Poeciliopsis gracilis*, cuya dieta está constituida principalmente de diatomeas y otros materiales vegetales microscópicos, los cuales ramonea a lo largo del año en el sedimento o aquellas adheridas en el fondo rocoso (Medina *et al.* 2011). La dureza total que presenta el sistema es de agua dura a muy dura (Romero, 1999), lo que significa que hay gran concentración de los iones Ca^{++} y Mg^{++} y Guerra y Cruz (2014) mencionan que estos cationes juegan un papel importante para el metabolismo de los organismos. La concentración alta de estos iones se debe a que, en el sistema, el sustrato geológico de la zona de estudio corresponde a rocas sedimentarias calcáreas, además existe un aporte continuo de agua, así como una salida permanente de agua durante 10 horas, lo cual ayuda a la remoción del sedimento que se encuentra en el fondo del sistema, así como al aporte de estos iones por medio del afluente. Wetzel (2001), menciona que los lagos que tienen cantidades elevadas de carbonatos y bicarbonatos derivadas de la disolución de la calcita (CaCO_3) provocan valores elevados de alcalinidad y pH,

De manera general se puede decir que el bordo Amate Amarillo, es un sistema acuático somero (menor de cinco metros) y se puede considerar como productivo por presentar valores de profundidad promedio menores a 2, ya que favorece la interrelación entre la superficie y los materiales del fondo, por lo cual se vuelve más productivo (Quiroz, 2005). Respecto a la cantidad de sales presentes, éste muestra una alta carga iónica y reserva alcalina porque a mayor concentración de iones, se incrementa la conductividad del agua, además de que los valores de pH registrados en el período de estudio mantienen una tendencia alcalina (Solís-Castro *et al.*, 2017).



Contreras-McBeath *et al.* (1998) y Mejía-Mojica *et al.* (2012) mencionan que el 62% de la ictiofauna que se encuentra en el estado de Morelos es introducida y *P. gracilis* es considerada como una especie no nativa, exótica, que hasta ese momento no se había estudiado su importancia económica o ecológica. Es por esto que cuando se desea evaluar el crecimiento de los peces que se presentan en los cuerpos de agua, es necesario tomar en cuenta los factores que lo afectan y que la talla que alcanzan los organismos dependerá de la disponibilidad de alimento, el fotoperiodo, la temperatura y el oxígeno disuelto (Gómez, 1994).

Se puede considerar que las tallas de los organismos capturados en este estudio están dentro de los intervalos de tallas registradas por otros autores (Ayala y Vera, 2007; Gutiérrez y Hernández, 2007; Gómez-Márquez *et al.*, 2008 y Sánchez, 2019) para diferentes sistemas acuáticos en el estado de Morelos, además de que se emplearon los mismos artes de pesca y tamaño de luz de malla. Así mismo, las hembras presentaron un mayor tamaño tanto en peso como en longitud, en comparación con los machos.

En este estudio se tiene registrado un crecimiento alométrico positivo para la población; estos mismos resultados son reportados por Ayala y Vera (2007), Gómez-Márquez *et al.* (2008) y Sánchez (2019). Por lo tanto, la relación peso-talla sigue manteniendo su comportamiento, solo que, en el sistema acuático estudiado, tiende más a la isometría, ya que no hay diferencia estadística significativa del valor de $b=3$.

Se ha visto una diferencia para la relación peso-longitud de hembras y machos, las cuales tuvieron un comportamiento de tipo potencial y presentaron un crecimiento de tipo alométrico positivo, comparado con lo que reporta Sánchez (2019), quien menciona que las hembras tienen un crecimiento alométrico positivo y para los machos registró un crecimiento alométrico negativo. Este mismo comportamiento se registró para *Girardinichthys viviparus*, especie que pertenece al mismo orden y con características similares a *P. gracilis*, que fue reportado por Montesino (2013).



Entre los valores de las pendientes de la relación peso-longitud de hembras y machos se observó que estadísticamente no hay una diferencia significativa, comparado con lo que mencionan Miranda *et al.* (2009), quienes registraron lo contrario y mencionan que esto se debe a la poca variabilidad de los factores ambientales que presenta el sistema acuático. Es muy posiblemente que este tipo de crecimiento en donde los organismos presentan alometría positiva, se vea afectada al aumentar el peso por efecto de la madurez sexual, debido al proceso reproductivo.

Lowe-McConell (1987) señala que factores como el hábitat, hábitos alimentarios y rangos de crecimiento estacional, pueden contribuir a las diferencias en crecimiento en peces. Otros factores como la cantidad y calidad del alimento disponible en la comunidad, nivel trófico, número de organismos examinados, temperatura y sexo, también son importantes a considerar en el estudio del crecimiento.

Durante el estudio se obtuvo una proporción sexual de 1:4.2 (M:H) y siempre hubo una dominancia por parte de las hembras, lo cual concuerda con lo reportado por Contreras -MacBeath y Ramírez -Espinoza (1996) 1:4.5 (M:H); Gómez-Márquez *et al.*, (1999) para *Heterandria bimaculata*, perteneciente a la misma familia que *P. gracilis*, 1:1.7 (M:H); García-Navarrete *et al.* (2000) reportan 1:5 M:H; Sánchez y Sastré (2004) mencionan una proporción de 1:2.3 (M:H), Sánchez (2019) registró una proporción de 1:3 (M:H), ambos autores para la misma especie.

Snelson (1989), McKellar *et al.* (2009) y McKellar y Hendry (2011) refiere que las poblaciones silvestres de muchos poecílidos se encuentran a favor de las hembras y que esto es el resultado de una mortalidad diferencial entre los sexos, ya que las hembras presentan altas tasas de supervivencia debido a un tamaño mayor, peso y color menos notorio que el de los machos. Una explicación más razonable es que los machos presentan una alta mortalidad atribuida a varias causas incluyendo la depredación, limitación de recursos, una alta susceptibilidad al estrés y a un acelerado metabolismo. En cierta forma el tener una mayor proporción de hembras en la población, puede ser importante, ya que esto puede



asegurar la supervivencia de la especie y el reclutamiento de organismos a la población, por lo tanto, la posible diseminación por diferentes ambientes donde pueda adaptarse. En este microembalse se tiene registrado la presencia de organismos del género *Poecilia* así como de *Pseudoxiphophorus* (Brindis, 2019), esto hace que haya una invasión del nicho ecológico lo cual afecta la fecundidad de *Poeciliopsis gracilis*, haciendo que haya disminución o aumento en ciertos meses, por la competencia por espacio, alimento y nicho ecológico.

El factor de condición de Le Cren se mantuvo con valores mayores a 1 durante todo el año, lo cual indica que *P. gracilis* se encontró en buena condición. Sánchez (2019), también observó un comportamiento similar. Esto significa que el sistema acuático, presenta condiciones adecuadas para el desarrollo de la especie, como ha sido mencionado por Nikolsky (1963), Arredondo y Ponce (1998) y Gómez-Márquez *et al.* (2008).

Para determinar la edad en estos organismos, el primer estudio con esta especie y con la estructura dura utilizada, fue realizado por Gutiérrez y Hernández (2007) en un embalse artificial en el estado de Morelos, quienes reportaron que la depositación de los *circullis* era a los 3.2 días bajo condiciones de laboratorio o similares al cuerpo de agua (Presa Emiliano Zapata); actualmente (condiciones de laboratorio o similares al bordo Amate amarillo) se observó que solo es de 3 días en promedio, el tiempo necesario para la depositación de cada esclerito ó *circulli* y esta diferencia se puede deber a los factores físicos y químicos del agua (temperatura, pH, alcalinidad y dureza total), a lo somero y al tamaño que presentan los sistemas acuáticos (microreservorio y presa), factores que tienden a afectar la productividad del sistema y por consiguiente la ictiofauna (Arredondo y Ponce, 1998; Guerra y Cruz, 2014).

Los organismos con los que se trabajó presentan escamas cicloideas como lo menciona Coad (2017), por lo cual se realizó el conteo de los *circullis* desde el foco hacia el margen anterior (Figura 7). Debido a que esta especie y la mayoría de las especies vivíparas, no presentan más de dos marcas de crecimiento en las estructuras óseas, como consecuencia de la longevidad que tienen este tipo de



organismos, por lo tanto las escamas es considerada la mejor estructura ósea para la obtención de la edad, ya que los otolitos al ser una estructura muy pequeña las marcas de crecimiento son difíciles de observar y por la longevidad tan menor comparada con la especie ovípara *Oreochromis niloticus*, donde sus escamas presentan dos marcas en un ciclo anual y una edad máxima registrada de 2.5 años (Gómez, 2015). Se obtuvo para *P. gracilis* una edad mínima de 0.4 meses ($L_t=1.1$) y una edad máxima de 4 meses ($L_t= 6.5$), a diferencia de lo reportado por Gutiérrez y Hernández (2007) donde se registró una edad mínima de 0.5 meses y una máxima de 11.5 meses para los organismos de la presa Emiliano Zapata, en el mismo estados. Esta diferencia se debe a que los cuerpos de agua de donde se extrajeron los organismos tienen características físicas y químicas diferentes, lo cual influye directamente en la presencia de los organismos. Sin embargo, esto no impide que en el bordo existan organismos con edades mayores a las reportadas, pero que debido a la técnica de captura y al arte utilizado, no fue posible capturarlos.

Algunas hipótesis señalan que la variación temporal en la temperatura, la variación anual en la calidad y cantidad de alimento disponible, así como la fluctuación en los organismos en cuanto a su condición asociada con el desove, permiten la depositación de las marcas de crecimiento en las diferentes estructuras duras que pueden ser utilizadas para estudios de edad y crecimiento (Yosef y Casselman, 1995).

Para la determinación de la edad se recomienda la lectura de estructuras duras como las escamas; sin embargo, no sólo para *P. gracilis* sino muchas especies de toda la familia, no se encontraron reportes publicados en cuanto a este tema, a pesar de ello se han reportado datos de edad utilizando análisis de frecuencias de tallas.

La aplicación del método indirecto (análisis de la distribución de frecuencia de tallas), se considera un método no adecuado para determinar el crecimiento y la edad, debido a que se presenta superposición de modas conforme los peces se hacen más viejos, no así en los peces jóvenes (Everhart y Youngs, 1981), por lo



cual se recomiendan otros métodos como la lectura de estructuras duras como la mejor técnica para determinar la edad en peces de vida corta (Snelson, 1989).

En este estudio se tiene un registro de 9 grupos de edades para la población de *P. gracilis* (Tabla 7), los mismos se ajustaron a las hembras, mientras que para los machos solo hubo 6 grupos de edades, a diferencia de Gutiérrez y Hernández (2007) que trabajaron con 11 grupos de edades para hembras y 6 para machos.

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy, que es el más usado en pesquerías (Arkhipkin y Roa-Ureta 2005), asume que las condiciones ambientales son constantes (Araya y Cubillos 2006). Sostiene que el crecimiento en peces está condicionado a procesos fisiológicos y que es el resultado neto de dos procesos opuestos, el catabolismo y anabolismo (von Bertalanffy, 1938).

Se obtuvieron las constantes del modelo de von Bertalanffy y Gompertz, tanto para longitud total como para el peso. Para el primer modelo por el método de Beverton y Holt, y Ford-Walford se obtuvo una longitud asintótica (L_{∞}) para la población de 13.28 cm (p), para las hembras (h) de 11.33cm y machos (m) de 8.25 cm, tasa de crecimiento (K) de 0.1281, 0.1642 y 0.1939 cm año⁻¹ respectivamente, t_0 con un valor de -0.6885 (p), -0.6176 (h) y -0.7483 (m) año y un peso asintótico (P_{∞}) de 30.12 g (p), 18.56 g (h) y 8.25. Estos resultados fueron diferentes a los reportados por Sánchez y Sastré (2004) quienes reportan una $L_{\infty} = 7.90$ cm, $t_0 = -1.62$, $K = 0.090$ y $P_{\infty} = 5.33$; Gutiérrez y Hernández (2007) obtuvieron para la población una $L_{\infty} = 10.07$ cm, $K = 0.071$ y $t_0 = -1.165$, mientras que para hembras y machos obtuvieron una $L_{\infty} = 9.7$ y 4.5 cm, $K = 0.074$ y 0.199 y $t_0 = -1.224$ y -1.101 respectivamente. Se aplicó una prueba de T^2 de Hotelling entre sexos y demostró que existe una diferencia significativa y las variables que afectaron el crecimiento del pez fue en primer lugar L_{∞} y en segundo K, mismos resultados se observaron en el estudio de Montesino (2013) donde para *G. viviparus* especie que pertenece a la misma familia que *P. gracilis*, también hubo diferencia entre las variables del modelo y que las variables que afectaron el crecimiento fue L_{∞} .



Para el modelo de Gompertz en peso se obtuvo un $P_{\infty} = 4.03$, $K = 0.5841$ y $B = 5.6210$ para la población, en cuanto a los machos y las hembras se obtuvo un $P_{\infty} = 4.03$ y 1.17 g, $K = 0.58$ y 0.73 y $B = 5.53$ y 4.53 respectivamente; para la longitud se utilizó el paquete estadístico STATA 11, el cual ayudó a obtener las variables y poder generar la curva de crecimiento edad-longitud, el cual arrojó un valor de $L_{\infty} = 10.07$ cm para la población, 8.48 cm para hembras y 4.16 cm para machos. Respecto a la aplicación de la prueba de T^2 de Hotelling también hubo diferencia significativa entre sexos e igualmente las variables que afectaron el crecimiento fue L_{∞} y K . Esta diferencia puede deberse a los procesos metabólicos y reproductivos que poseen entre sexos, ya que las hembras tienden a seguir aumentando en talla durante toda su vida, mientras que los machos gastan toda su energía para poder llegar a la edad reproductiva. Jones (1976) menciona que las variables de longitud asintótica y la tasa de crecimiento están influenciadas por la temperatura, ya que, para alcanzar la temperatura óptima, los organismos tienden a alcanzar en menor tiempo la longitud máxima. Sin embargo, el valor de longitud asintótica estimada en este estudio se considera muy alta por el tamaño máximo registrado para la investigación (6.5 cm). Snelson (1989) menciona que las poblaciones silvestres de los adultos de muchos poecílidos, está sesgada en favor de las hembras y que dicho sesgo es el resultado de una mortalidad diferencial entre los sexos, ya que las hembras tienen altas tasas de supervivencia debido a su gran tamaño, peso y color menos conspicuo que el de los machos.

Por otra parte, se tiene registrado para otras especies de poecílidos como *Poecilia reticulata*, Elías-Fernández *et al.* (2005) reporta 4 clases de edades una longitud asintótica de 61.55 mm y un valor de $K = 0.2987$. Para esta misma especie en un estanque en Costa Rica, Urriola *et al.* (2004) reporta una $L_{\infty} = 51.5$ mm.

Entre estos dos modelos aplicados a la población de *P. gracilis* se obtuvo que el modelo de Gompertz fue el que mejor se ajustó a los datos observados con un valor de correlación de 0.9996 . Katsanevakis (2006) demostró que el modelo de Gompertz describe mejor el crecimiento absoluto de muchas especies acuáticas,



como sucedió en este estudio, además de que ayuda a modelar el crecimiento donde hay edades muy jóvenes (Cadima, 2003).

Snelson (1989) menciona que el crecimiento y la edad son influenciados genética y socialmente en algunos poecilidos y las características ambientales y los recursos disponibles, tienen influencia directa en el crecimiento, también se dice que las hembras continúan su crecimiento normal. En muchas especies de peces, el crecimiento disminuye en ambos sexos al llegar la madurez sexual, se ha demostrado que esta disminución es más pronunciado en los machos que en las hembras, principalmente por el proceso de la reproducción (Sanchez, 2019). De acuerdo con lo que se obtuvo en este estudio las hembras fueron las que alcanzaron la máxima edad con 4 meses y una longitud de 6.5 cm, a pesar del importante desempeño reproductivo.

Farr (1989) reporta que las diferencias en el tamaño de esta familia pueden ser explicadas en términos de que las hembras toman 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.

Bernard (1981) cita que la tasa de crecimiento o constante de catabolismo (K) es uno de los factores que más influyen en la ecuación de crecimiento, cuando el pez es joven; por lo tanto, la relativa significancia entre L_{∞} y k se considera es una típica diferencia entre la fisiología reproductiva y el comportamiento sexual de los organismos. Para esta especie y en particular para este bordo se tuvo una tasa de crecimiento baja, lo cual indicó que durante las primeras edades hubo un aumento rápido en longitud mientras que en los organismos adultos se observó que ya no hay un aumento en talla, si no en peso, como sucede con las hembras al estar en periodo reproductivo.

Por último, Taylor (1960) considera la edad límite como el tiempo requerido para alcanzar el 95% de la longitud asintótica (L_{∞}). Para *Poeciliopsis gracilis* se obtuvo



una longevidad de 2 años de acuerdo con la ecuación de Taylor **(1958)**, así como lo reporta Montesino (2013) para la especie de *Girardinichthys viviparus* perteneciente a la misma familia se considera de baja longevidad, o sea de corta vida como la mayoría de los Poecílidos. Snelson (1989) cita que las especies de esta familia presentan un desarrollo rápido por lo cual su periodo de vida es corto. En las condiciones de acuario tienen una longevidad de 3 años y en promedio de 2 años(Gómez Márquez, comunicación personal).

En este estudio se intentó utilizar los otolitos, como una estructura para determinar la edad de la especie en estudio, ya que son en la mayoría de los casos, una estructura confiable y precisa en la estimación de la edad de los peces; sin embargo, no se obtuvo un resultado que indicara la posible edad de *Poeciliopsis gracilis*, debido principalmente a la ausencia visible de las marcas de crecimiento, además de no existir bibliografía acerca de estudios realizados con otolitos para peces de vida corta, el único que reporta un ensayo de un estudio parecido es Reznick et al (1989), en el cual solo da como resultado que el desarrollo del otolito presenta una relación lineal con el crecimiento del pez (*Poecilia reticulata*) a pesar del lento crecimiento del otolito y el rápido desarrollo del cuerpo del organismo.

Es importante mencionar que para tener una mejor caracterización de los parámetros poblacionales de la especie, se deben de utilizar otros artes de pesca con el fin de obtener una mejor representación de la población para que con la estructura de tallas y edades se pueden tener mejores estimaciones de las ecuaciones de crecimiento, así como de otros parámetros de la población, con el fin de regular la explotación del recurso que se realiza con fines ornamentales y como especie de forrajeo para otras poblaciones de mayor interés comercial.

Aunque los poecílidos se han utilizado durante muchos años para estudios genéticos, fisiológicos, médicos y teratogénicos, es notable la falta de conocimiento sobre su biología y ecología, siendo muy poco el número de investigaciones realizadas en ambientes de agua dulce, salobre y marino (Suárez et al., 2002; citados en Trujillo-Jiménez y Toledo, 2007).



Asimismo, el interés de estudiar a estos peces de la familia Poeciliidae, es debido a que estos tienen un papel importante en las cadenas alimenticias y por lo tanto en la redes tróficas de los ecosistemas acuáticos, ya que muchos de ellos sirven de alimento a numerosas especies animales, desde invertebrados hasta vertebrados; principalmente, a insectos, otros peces, reptiles y aves acuáticas (Trujillo-Jiménez y Toledo, 2007; Ponce de León y Rodríguez, 2010). Además, son importantes controladores biológicos al consumir grandes cantidades de mosquitos y sus larvas, los cuales son vectores de enfermedades infecciosas al hombre (García y Koldenkova, 1990: citados en Ponce de León y Rodríguez, 2010).

Con base en el estudio ecológico de la edad y crecimiento de esta especie realizado en el microreservorio, se provee de información valiosa sobre las condiciones del hábitat, distribución espacial y estacional de la especie y la calidad del agua del sistema acuático, la cual indica que este hábitat es favorable para una alta producción primaria y con esto, garantizar un alto crecimiento y supervivencia del recurso íctico, aunque esté considerada como una especie de explotación ornamental en el estado de Morelos. Por lo tanto, un esquema holístico y de manejo sustentable, deberá ser implementado para la explotación de la especie, bajo las condiciones del ecosistema somero.

Por lo tanto, el conocimiento de la demografía de la especies ícticas en sistema epicontinentales de agua dulce, es necesario porque a partir de esa información, se pueden proponer estrategias para un mejor manejo y conservación de los recursos acuáticos, ya que las especies que viven en sistemas lénticos, por lo regular viven en ambientes que presentan marcadas fluctuaciones de temperatura, volumen, producción primaria y otros factores, los cuales pueden modificar la composición de la estructura de la poblacional y por lo tanto su demografía.



Conclusión

Con base en los datos obtenidos a lo largo de un ciclo anual se observó que en la población de *Poeciliopsis gracilis*, la proporción sexual favoreció a las hembras.

Se observó un crecimiento alométrico positivo con tendencia a la isometría para la población de *P. gracilis* así como para las hembras y machos.

Con base en el factor de condición que siempre fue mayor a 1, los organismos se mantuvieron en buena condición, debido a las condiciones físicas y químicas registradas para el sistema acuático.

La edad máxima alcanzada en *P. gracilis* en el bordo Amate Amarillo fue de 4 meses; sin embargo, es probable que existen organismos con mayor edad en el cuerpo de agua.

En cuanto a los modelos de crecimiento aplicados, los dos pueden representar la curva de crecimiento para *P. gracilis*, pero el de Gompertz tiene una longitud asintótica más cercana a los datos observados. Las variables que más afectan el crecimiento de esta especie son la longitud asintótica y la tasa de crecimiento.

Esta especie tiene una longevidad de 2 años, de acuerdo con la ecuación de Taylor (1958).



Referencias

- Ai-Li, A. y Reznick, D.** (2000). Life History of *Phalloceros caudiomaculatus*. A novel variation on the theme of livebearing in the Family Poeciliidae. *Copeia*, 3:792-798.
- Ayala, H. I. y Vera, G. M. G.** 2007. Estudio reproductivo de *Poeciliopsis gracilis* de la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. 53 p.
- Araya, M. y Cubillos LA.** 2006. Evidence of two-phase growth in elasmobranchs. *Environmental Biology of Fishes* 77(3-4): 293-300.
- Arredondo, F. J. L.** 1986. Breve descripción de los criterios y las técnicas para el manejo y la calidad de agua en estques de piscicultura intensiva. Dirección General de Acuicultura, Secretaría de Pesca, México, 222 p.
- Arkhipkin AI y R Roa-Ureta.** 2005. Identification of ontogenetic growth models for squid. *Marine and Freshwater Research* 56(4): 371-386.
- Arredondo-Figueroa, J. L. & A. Flores-Nava.** 1992. *Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura*. *Hidrobiológica* 3/4: 1-10.
- Arredondo, F.J.L. y Ponce, P.J.T.** 1998. Calidad del agua en acuicultura. Conceptos y aplicaciones. AGT Editores, México, 222 p.
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., Valdez, G.L. y Ortega-Salas, A.A.** Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 58 (1): 325-338 p.
- Bussing, A. W.** 2004. *A new species of poeciliid fish, Poeciliopsis santaelena, from Peninsula Santa Elena, Area de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol 56.
- Caddy, J.F.** 2011. *Sustainability indicators for fisheries: their use in fisheries management*. Part II. *Ciencia Pesquera* 19(1): 74-100.
- Cadima, E. L.** 2003. Manual de evaluación de recursos pesqueros. Documento técnico de Pesca. No. 393. Roma, FAO. 162p.



- Campana, S. E.** y Thorrold, S. R. 2001. Otoliths, increments and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58: 30–38.
- Carmona-Galindo, D. V.,** Carmona, V. T. y Carmona-Valdivieso, E. D. 2018. El Salvador Ciencia y Tecnología II Etapa- Vol. 23 (36): 23-27.
- Carrara, C. X,** Santiago de G. M del C. y Cervantes, S. A. 2009. Introducción a los Modelos matemáticos de crecimiento con aplicaciones en sistemas biológicos. UMDI-Sisal, Facultad de ciencias, FES Zaragoza. UNAM, México. 158 p.
- 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 2019-12-22], Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382012000100009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0717-6538. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382012000100009>.
- Chang, A.L.,** J.D. Grossman, T. Sabol-Spezio, H.W. Weiskel, J.C. Blum, J.W. Burt, A.A. Muir, J. Piovio-Scott, K.E. Veblen y E.D. Grosholz. 2009. Tackling aquatic invasions: risks and opportunities for the aquarium fish industry. *Biol. Invasions* 11: 773-785.
- Coad, B. W.** (2017). Review of the livebearer fishes of Iran (Family Poeciliidae). *Iranian Journal of Ichthyology*, 4(4), 305-330.
- CONAPESCA,** 2017. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017*. SAGARPA Y CONAPESCA, México. 300 p.
- Contreras, F. E.** 1994. Manual de técnicas microbiológicas. UNAM-Iztapalapa. Ed. Trillas, México. 149 p.
- Contreras-MacBeath, T.** y Ramírez-Espinoza, H. 1996. *Some aspects of the reproductive strategy of Poeciliopsis gracilis (Osteichthyes: Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos, Mexico*. *J. Freshw. Ecol.* 11:327-338.
- Csirke, B. J.** 1989. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO. DOC. TEC. Pesca, Roma, 192:82 p.



- Ehrhardt, N.M.**, 1981. *Curso sobre Métodos en Dinámica de Poblaciones*. Primera parte: Estimación de Parámetros Poblacionales. FAO-INP., México. 133 p.
- Elías-Fernández, G.**, Navarrete-Salgado, N.A., Fernández -Guzmán, J.L. y Contreras-Rivero, G. 2005. Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parque Tezozomoc de la ciudad de México. Laboratorio de Producción de Peces e Invertebrados. FES Iztacala, UNAM. 6 p.
- Eschmeyer, W.N.** Fricke, R., Fong, J. D. y Polack, D.A. 2010. Marine fish diversity: history of knowledge and discovery (Pisces). *Zootaxa* 2525:19.50.
- Everhart, W.H.** y W.D. Youngs. 1981. *Principles of Fishery Science*. Segunda edición. Cornell University Press. 350 p.
- FAO.** 2010. Manual básico de Piscicultura en estanques. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. Departamento de Acuicultura. Uruguay. 50 pp.
- FAO.** 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 p.
- Farr, J.A.** 1989. Sexual selection and secondary sexual differentiation in poecillids: determinants of male mating success and the evolution of female choice. En: Meffe, G.K. y F.F. Snellson Jr. (eds). *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Prentice Hall. New Jersey.
- Galicia, D.**, Pulido-Flores, Miranda, R., Monks, S., Amezcua-Martínez, A., Imas-Lecumberri, M., Chaves-Illana, A. y Ariño, A. H. 2014. *Hidalgo Fishes: Dataset on freshwater fishes of Hidalgo state (Mexico) in the MZNA fish collection of the University of Navarra (Spain)*. ZooKeys 403:67-109.
- 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
- García-Navarrete, M.**, G. Aretaga-Landa y J. Gonzalez-Astorga. 2000. *Crecimiento en longitud para seis especies de la familia Poeciliida*



(*Osteichthyes*) en el estado de Morelos, Memorias del VII Congreso Nacional de Ictiología. Mexico, D.F, del 21-24 nov 2000. Pág. 272-273.

Gido, K.B., y N.R. Franssen. 2007. *Invasion of stream fishes into low trophic positions*. Ecol. Freshw. Fish 16:457–464.

Gómez, J.L. 1994. *Métodos para determinar la edad en los organismos acuáticos*. FES Zaragoza, UNAM. México.

Gómez-Márquez, J. L., Guzmán-Santiago, J. L. y Olvera-Soto, A. 1999. Reproducción y crecimiento de *Heterandria bimaculata* (Cyprinodontiformes:Poeciliidae) en la Laguna “El Rodeo”; Morelos, México. Rev. Trop., 47(3): 581-592,

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

Gómez-Márquez J. L., B. Peña-Mendoza, J. L. Guzmán-Santiago y V. Gallardo-Pineda. 2013. Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica* 23 (2): 227-240.

Gómez M.J.L., Blancas A.G, Casillas, C.E. y Cervantes, S.A. 2014. *Análisis de la calidad de aguas naturales y residuales con aplicación a la microescala*. FES Zaragoza UNAM. 204 p.

Gómez-Márquez, J.L. Cervantes-Sandoval, A., Salgado-Ugarte, I. H., Peña-Mendoza, B., Alejo-Plata, M.C., Guzmán-Santiago, J.L. y Mendoza-Vallejo, E. 2016. *Temas selectos de biología pesquera*. FES Zaragoza, UNAM. 337 p.

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



- Gómez Ortiz, C. A.** 2015 Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un bordo del estado de Morelos. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. 111 p. 8.
- Gómez-Ponce, M. A.,** Granados-Flores, K., Padilla, C., López-Hernández, M. y Núñez-Nogueira, G. 2011. *Edad y crecimiento del híbrido de tilapia Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus (Perciformes: Cichlidae) en la represa "Zimapán" Hidalgo, México.* Revista de Biología Tropical. Vol. 59 p.
- González, L. W. Y** Eslava, N. 1999. *Edad y crecimiento del pargo colorado, Lutjanus purpureus Poey, 1867 (Teleostei: Lutjaniade) de la región oriental de Venezuela.* Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 34: 99-107.
- Granado, L.C.** 2002. *Ecología de peces.* Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones, España. 353 p.
- Guerra, H. E. A. y** Cruz, F. G. 2014. *Métodos de evaluación y diagnóstico para agua y suelo.* UNAM, FES Zaragoza. 208p.
- Gulland, J.A.** 1971. *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces.* Editorial Acribia, Zaragoza. 193 p.
- Gutiérrez, G. G. y** Hernández, R. E. 2007. *Edad y crecimiento de Poeciliopsis gracilis de la presa Emiliano Zapata, Morelos, México.* Tesis para titulación. F.E.S. Zaragoza. UNAM. México. 58p.
- Hernández-Avilés, J. S., J. L. García-Calderón, M. C. Galindo de Santiago & J. Loera López.** 2007. *Microembalses: una alternativa de la limnicultura. En: De la Lanza Espino, G. (compiladora). Las Aguas Interiores de México: Conceptos y Casos.* AGT Editor, S.A. México, D.F., pp. 597-620.
- Ibañez A. L., y** Romo-Coronel M. A. 2007. *Formation of ring marks in stocked tilapia juveniles (Oreochromis aureus/O. niloticus) (Perciformes: Cichlidae).* Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.), 55 (3-4): 1005-1013.
- Ihssen P., H. E. Booke, J. Casselman, J. McGlade, N. Payne & F. Utter.** 1981. *Stock identification: materials and methods.* Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38(12): 1838-1855.



- INAFED.** 2010. *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Ayala, Morelos.* México Recuperado de <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17004a.html>.
- Katsanevakis S.** 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81(2-3): 229-235.
- Kevern, R.N.** 1989. Alkalinity water, classification systems. Volume Part 1. The Michigan.
- Lagler, F.K.,** Bardach, J.E., Miller R.R. y Passino D.R.M. 1990. *Ictiología.* AGT-Editor, S.A., México. 489 p.
- Le Cren, E. D.** 1951. *The Length-Weight Relationship and Seasonal Cycle in Gonad Weight and Condition in the Perch (Perca fluviatilis).* *Journal of Animal Ecology* 20 (2) 201-219.
- Lewis, W. M. Jr.** (1983). A revised classification of lakes base don mixing. *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.
- Lowe-McConnell, R.H.** (1987). *Ecological studies in tropical fish communities.* Cambridge University Press. United Kingdom. 400 p.
- Maya, P.E.,** Marañón, H. S. y Sánchez, C. N. I. 2006. *Sociedades Ruralez, Producción y Medio Ambiente.* Vol.6 Núm 12. 16 p.
- McKellar, A.E.,** M. Turcotte y A.P. Hendry. (2009). Environmental factors influencing adult sex ratio in Trinidadian guppies. *Oecologia.* 159: 735–745. DOI 10.1007/s00442-008-1257-x.
- McKellar, A.E.** and A.P. Hendry (2011). Environmental factors influencing adult sex ratio in *Poecilia reticulata*: laboratory experiments. *J. Fish Biology* 79: 937–953.
- 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.



- Mejía-Mojica, H.**, Rodríguez-Romero, F.J. y Díaz-Pardo, E. 2012. Recurrencia histórica de peces invasores en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, México. *Revista de Biología Tropical*, 60(2): 669-681.
- Miller, R. R.**, W. L. Minckley, y S. M. Norris, 2009. *Peces dulceacuícolas de México*. CONABIO, SIMAC, ECOSUR, DFC, México D.F. 559 p.
- Miranda, R.**, Galicia, D., Monks, S. y Pulido-Flores, G. 2009. *Weight-length relationships of some native freshwater fishes of Hidalgo State, Mexico*. *Journal of Applied Ichthyology*. 25: 620-621.
- Montesino, L.** 2013. *Edad y crecimiento de Girardinichthys viviparus en el lago urbano de la Alameda Oriente, D.F.* Tesis para titulación. F.E.S. Zaragoza. UNAM. México. 75p.
- Moyle, P.B.** y J.J. Cech, Jr., 2000. *Fishes. An Introduction to Ichthyology*. Cuarta edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 612 p.
- Nelson, J. S.**, T. C. Grande y M. V. H. Wilson 2016. *Fishes of the world*. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc (Eds). USA. 752 p.
- 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. UNAM. 73p.
- Pauly, D.** 1(980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM*. 39(2): 175-192 p.
- Pauly, D.** (1987). A review of the ELEFAN system for the analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates. *ICLARM Conf. Proc.* (13): 7-34
- Pérez, L. C.** 2005. *La ictiofauna del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic y la cuenca del lago de Izabal: composición, distribución y ecología*. UNESCO. Guatemala. 296 p.
- Pérez, E. H.** 2014. *Protocolo de muestreo de peces en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)*. Instituto de Biología. UNAM. 29 p.



- Pérez, R.** y Restrepo, R. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2° Edición. Universidad de Antioquia, Sevilla. 231 p.
- Pereiro, A.J.**, 1982. *Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación*. Inf. Téc. Inst. Esp. Oceanog. No.1: 21-57.
- Ponce de León, G.J.L.** y R.S. Rodríguez. (2010). Peces cubanos de la familia Poeciliidae. Guía de campo. Editorial Academia. La Habana. Cuba. 38 p.
- Pulla, P. E.** y Chang, J. 2007. Oxígeno Disuelto. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. 6p.
- Quiroz, C.H.** 1996. Dinámica ecológica y producción en sistemas con policultivo piscícola en estanques rústicos con fertilización orgánica, inorgánica y combinada en el Estado de Morelos. Tesis Doctoral en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. 84 p.
- Quiroz, C.H.**, Martínez, J.C., García, R.J., Molina, A.F.I. y Díaz, V.M. 2009. Análisis de los componentes zoobentónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en Norte del Estado de Guerrero, México REDVET Revista electrónica de Veterinaria, Vol. 10, Núm. 4: 1-47.
- Remedios, L.** 2001. *La Acuicultura en Pequeños Embalses en América Latina y El Caribe*. FAO. Roma, 25 p.
- Reznick, D.**, E. Lindbeck. y H. Bryga. (1989). Slower growth results in larger otoliths: an experimental test with guppies (*Poecilia reticulata*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. (46): 108-112.
- Ricker, W.E.** 1975. *Computation and interpretation of biological statistics of fish population. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*. (191: 145-157).
- Ricker, W.E.** 1979. *Growth rates and models*. In: W. S. Hoar, D.J. Randall, and J.R. Brett (Eds.) 677-743. Fish Physiology, vlume VIII. Bioenergetics and growth. Academic Press, New York.
- Rivera, C. O.A** y Hernández, G. G.N. 2011. Producción y calidad del agua de los reservorios “Amate Amarillo” y “la Palapa”, Morelos. Informe de investigación de LIB's V y VI. FES Zaragoza, UNAM. 119 p.



- Rodríguez-Serna, M. y Carmona-Osañde, C.** 2002. Balance energético del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea: Astacidae: Cambaridae) y Pérdida de energía en la tasa metabólica. *Universidad y Ciencia*, 18(36). 128-134 p.
- Rodríguez, 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. IPN. México. 78p.
- Rojas-Hoyo, J.** 1986. Avance del inventario nacional de cuerpos de agua epicontinentales, rendimiento potencial e importancia para la acuicultura. En: Vila, I. & E. Faggeti. (Eds.). Trabajos presentados al Taller Internacional sobre Ecología y Manejo de Peces en Lagos y Embalses. COPESCAL Documento Técnico 4. Santiago, Chile. 244 p.
- Salgado-Ugarte, I, H., Gómez-Márquez, J. L. y Peña- Mendoza, B.** 2005. Métodos Actualizados Para Análisis de Datos Biológico Pesqueros. F. E. S. Zaragoza UNAM. México. 234 p.
- Sánchez, H. A. K. y Sastré, L.** 2004. Reproducción y crecimiento de *Poeciliopsis gracilis* (Heckel, 1848) en el Lago Coatetelco, Morelos. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. 45 p.
- Sánchez, M. W. N.** 2019. Reproducción de *Poeciliopsis gracilis*, especie ornamental introducida en el bordo Amate Amarillo, Morelos. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. 83 p.
- Schindler, D.W.** 1991. Lakes and Oceans as Functional Wholes: 91-122. In: Barnes R.S.K. and K.H. Mann (Edited). *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Second Edition, Blackwell Scientific Publ.
- Snelson, F.F.** 1989. Social and Environmental Control of Life History Traits in Poeciliid. Pp. 149-161. En: Meffe, G. K and F, Snelson. 1989. *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A. y Mora-Alvarado, D.** 2017. La conductividad como parámetro de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-1. Enero-Marzo 2018. Pág. 35-46.



- Sparre**, P. y S.C. Venema, 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, 306.1. Rev. 2. Roma, FAO: 420 p.
- Sparre** P. & S. Venema. 1998. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1- Manual. FAO. Documento Técnico de Pesca 306/1. Rev. 2: 1-635.
- Sugunan**, V. V. 1997. Fisheries Management of Small Water Bodies in Seven Countries in Africa, Asia and Latin America. Circular de Pesquerías FAO 933.
- Swingle**, S.H., 1969. Methods for analysis for waters, organic matter and bottom soils in fisheries research. Auburn University of Alabama, USA. 345 p.
- Taylor** C. 1958. Cod growth and temperature. Journal du Conseil International pour l' Exploration de la Mer, 23: 366-70.
- Tesch**, F.W., 1978. Age and Growth:. Pp: 93-123. En: Ricker, W.E. (Ed.): Methods for Assessment of Fish production in Fresh Waters. Blackwell Scientific Publications. IBP HANDBOOK No. 3. Oxford.
- Torres**, A. G.M. 1996. Edad y crecimiento de *Coryphaena hippurus* (Linnaeus 1758) (Osteichthyes: Coryphaenidae), en el Sur de la península de Baja California, México. Tesis de maestría, IPN. 80 p.
- Trujillo-Jiménez**, P. y Toledo, B H. 2007. Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). Rev. Biol. Trop. 55 (2): 603-615.
- Urriola**, H. M.; Cabrera, P. J.; 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. Biol. Trop. 52(1): 157-162,
- von Bertalanffy** L. 1938. A quantitative theory of organic growth. Human Biology 10(2): 181-213.
- Weatherley** A.H. y H.S. Gill, 1987. The biology of fish growth. Academic Press: 1-21. 443 p.



- Welcomme**, R.L. 1988. International introductions of inland aquatic species. FAO Fish Tech. Pap. No. 294, Roma.
- Welcomme** R. L. y Bartley, D.M. 1998 Current approaches to the enhancement of fisheries. *Fish. Manage. Ecol.*, 5(5): 351-382.
- Wetzel**, R.G. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 679 p.
- Wetzel**, R. G. 2001. *Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem*. Third edition. Academic Press. 1006 p.
- Yosef**, T.G. y J.M. Casselman. (1995). A procedure for increasing the precision of otolith age determination of tropical fish by differentiations biannual recruitment. Pp. 247-269. En: Secor, D.H., J.M. Dean y S.E. Campana (eds). *Recent Developments in Fish Otolith Research*. University of South Carolina. U.S.
- Zar**, J. H. (1974) *Biostatistical analysis*. [Department of Biologicxal Sciences. Northern Illinois University, De Kalb, tL] Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 620p



