



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Ciclo Reproductivo e Influencia de los Factores Ambientales en *Pseudoxiphophorus bimaculatus* (Heckel, 1848)

TESIS

QUE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO:

BRINDIS VELÁZQUEZ CARLOS

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ LUIS GÓMEZ MÁRQUEZ

REALIZADA CON EL APOYO DEL PROYECTO DGAPA-PAPIME PE213718

CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



“El problema de la humanidad es que los estúpidos están seguros de todo
y los inteligentes están llenos de dudas”

Bertrand Russell





Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por otorgarme la oportunidad de pertenecer a la máxima casa de estudios.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por permitir mi formación académica profesional y brindarme el orgullo de ser Zaragozano.

Al proyecto DGAPA-PAPIME PE213718 que permitió la realización del presente trabajo.

A los profesores de la FES Zaragoza que tienen esperanza en sus alumnos y que se dedican por completo a la formación académica de la comunidad Zaragozana.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez por ser para mí, sinónimo de sabiduría, paciencia y humanidad. Muchas gracias por abrirme las puertas del laboratorio de Limnología, por otorgarme las oportunidades para poder desarrollar mis habilidades en la investigación. Por establecer los retos para dar siempre lo mejor de mí, no solo en este trabajo sino en todos los aspectos de mi vida. Agradezco mucho la paciencia, el esfuerzo, dedicación pero sobre todo la amistad que me otorgó en todo este tiempo.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza por sus valiosas enseñanzas y por la paciencia que me brindó durante mi estancia en el laboratorio de Limnología. Agradezco toda la ayuda que me proporcionó para poder realizar este trabajo y por la calidez humana con que me trató siempre.

Al Biól. José Luís Guzmán Santiago por el apoyo, tiempo y paciencia así como por sus acertadas observaciones para mejorar mi trabajo.

A la Biól. Angélica Elaine González Schaff por su puntualidad, atención, comentarios y por acompañarme a lo largo de todo este trabajo desde el anteproyecto.

A la Dra. Verónica Mitsui Saito Quezada por la atención y sugerencias que ayudaron a mejorar mi trabajo.





Dedicatorias

Dedico este y todos mis logros a mi familia, en especial a mi madre Alejandra Velázquez y a mi padre Félix Brindis. Muchas gracias por todo el apoyo que me han otorgado durante todo este tiempo, por dejarme estudiar lo que me apasiona, por el esfuerzo y tantos sacrificios que han soportado para que termine mis estudios.

A mi hermano Alejandro Brindis, gracias por compartir conmigo experiencias, enseñanzas y consejos que me han ayudado a ser una mejor persona, así como por el apoyo que me has brindado durante toda mi vida.

A mi hermana Magdalena Brindis, por ser siempre un ejemplo de bondad y fuerza para mí. Muchas gracias por tu buen humor, por tu paciencia pero sobre todo por estar siempre conmigo.

A mi sobrino Mateo, por ser mi motivo PRINCIPAL y la fuerza para superarme todos los días.

A la familia Sánchez Muñoz, muchas gracias por abrirme las puertas de su casa y brindarme tanta confianza, parte de este gran logro también es suyo.

A TODOS mis compañeros del laboratorio de Limnología de la FES Zaragoza en especial a Mayra, Jake y Victoria.

A Ulises, John, y Jessica. Muchas gracias por las experiencias que pudimos compartir a lo largo de toda la carrera, por su gran apoyo pero sobre todo, por su sincera amistad.

A Wendy Sánchez, muchas gracias por estar conmigo durante todo este tiempo. Gracias por tu infinita paciencia y por brindarme tu ayuda, desde el momento en que fuimos a pedirle al doctor que nos dejara entrar en su labo hasta que por fin nos titulamos. Aprendimos muchas cosas en las clases, en labo, en las salidas a campo, etc. Sin embargo ahora sé, que aunque la vida nos espera con nuevos retos hemos podido constatar que juntos podremos superar cualquier obstáculo.





ÍNDICE

| | |
|--------------------------|----|
| Resumen | 5 |
| Introducción | 7 |
| Antecedentes | 10 |
| Zona de Estudio..... | 12 |
| Justificación..... | 15 |
| Hipótesis..... | 16 |
| Objetivos | 16 |
| Método | 17 |
| Fase de campo..... | 17 |
| Fase de Laboratorio..... | 19 |
| Fase de Gabinete | 22 |
| Resultados | 29 |
| Discusión..... | 49 |
| Conclusiones | 61 |
| Bibliografía | 62 |





Resumen

Se realizó el estudio del ciclo reproductivo de *Pseudoxiphophorus bimaculatus*, y su relación con los factores ambientales en el bordo Amate Amarillo en el estado de Morelos, México. Se realizaron muestreos mensuales de marzo del 2017 a febrero del 2018, la captura de los organismos se llevó a cabo con un chinchorro de 10 m de largo, 1 m de ancho y 0.005m de luz de malla. De acuerdo a los resultados se capturó un total de 370 individuos, el 54.86% (203 peces) correspondió a hembras, el 30.54% (113) a machos y el 14.59% a crías cuyo sexo no pudo ser definido (54 individuos) con intervalos de talla para hembras de 2.3 a 8.1 cm (peso total de 0.18 a 7.62 g); machos de 2.6 a 5.8 cm (peso de 0.22 a 2.34 g) e indeterminados de 1.2 a 4.3 cm (peso de 0.022 a 0.91 g). La mayor captura se obtuvo en el mes de mayo mientras que en los meses de septiembre y octubre se recolectó la menor cantidad de individuos. La proporción sexual general de hembra:macho fue de 1.8:1 ($\chi^2 = 26.205$; $p < 0.05$). La talla de primera madurez sexual para las hembras fue de 4.67 cm y 3.69 cm de longitud total para los machos. La relación peso-longitud mostró que las hembras presentaron un crecimiento alométrico positivo ($b = 3.044$), mientras que los machos presentaron un crecimiento alométrico negativo ($b = 2.908$). Durante el periodo de estudio el factor de condición presentó mayor asociación con los factores ambientales de manera gráfica aunque no estadísticamente. Con base en el índice gonadosomático así como los estadios de maduración gonádica de las hembras, se observó que la especie se reproduce durante todo el año, siendo en mayor proporción durante la época de lluvias de agosto a noviembre. No se obtuvo relación entre la fecundidad y la talla ($R^2 = 0.3043$, $p < 0.05$); sin embargo, existe una mayor relación entre la fertilidad y el peso ($R = 0.9097$; $p < 0.05$). Se analizaron los estadios de desarrollo embrionario, observando que es una especie no superfetante, ya que las hembras no presentan diferentes estadios de maduración embrionaria dentro de la misma camada. Al determinar el índice de matrotrofia se obtuvo un valor de





0.5621 ($R^2=0.5695$; $p<0.05$ $n=77$) mediante un modelo de tipo exponencial negativo, por lo que se puede clasificar a *P.bimaculatus* como una especie lecitotrófica. En cuanto a los factores ambientales, la temperatura del agua osciló entre 18.25 y 24.01 °C, la concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 3.71 y 12.32 mg/L, la dureza total de 121.33 a 285.85 mg/L de Ca CO₃, la alcalinidad de 164.67 a 288.38 mg/L y el pH de 7.61 a 9.14, con lo cual el cuerpo de agua presenta las condiciones adecuadas para el buen desarrollo y reproducción de *P. bimaculatus*





Introducción

Los peces son los vertebrados más abundantes en el planeta, constituyen más de la mitad del total de todos los vertebrados del mundo (Nelson 2006), actualmente se reconocen cerca de 27,977 especies nombradas y alrededor de 200 especies encontradas anualmente (Eschmeyer, 1998). Se estima que cerca del 41.2% de las especies de peces son estrictamente de agua dulce, esta diversidad es muy grande ya que tan solo alrededor del 0.0142% del agua total en nuestro planeta es agua dulce (Burr y Warren, 2014).

México posee una fauna de peces dulceacuícolas rica y diversificada la cual incluye más de 503 especies descritas (Miller *et al.*, 2009). Entre los géneros mejor representados están *Cichlasoma* con 40 especies, *Notropis* con 25, *Chirostoma* con 19, *Gambusia* con 19 y *Cyprinodon* con 18. Destaca también el alto grado de endemismo en representantes de otras familias como la familia *Goodeidae*, con 37 especies endémicas y *Poeciliidae* con 39 (De la Vega, 2003). Esta diversidad se debe a una topografía sumamente variada, una historia geológica larga y compleja, un amplio intervalo latitudinal (de 32° 33'N en la zona norte y 14° 33' N en el sur) además de la convergencia de las regiones Neártica y Neotropical, que ha dado lugar a un alto endemismo de la ictiofauna (García, 2004).

La familia *Poeciliidae* se encuentra dentro del orden de los *Cyprinodontiformes* (Lucinda y Reis, 2005). Los representantes de esta familia se distinguen por ser peces pequeños y lateralmente comprimidos que habitan cuerpos de agua dulce y salobre (Miller *et al.*, 2009). Se distribuyen desde el este de Estados Unidos de América hasta el noreste de Argentina. Comprenden cerca de 22 géneros y 180 especies, la mayoría de ellas pequeñas. Presentan tallas entre 30-70 mm de longitud total, con tallas máximas de hasta 200 mm (Miller *et al.*, 2009). Esta familia es ampliamente reconocida por su gran importancia como peces de ornato





para acuarios, algunas de las cuales son popularmente reconocidas como: Guppys, Peces Mosquito, Platis, Molys, Peces Espada, Guayacones y Topotes (Frías, 2015). También sirven para eliminar mosquitos y sus larvas, además se les utiliza como alimento para peces (trucha, pez blanco, lobina, entre otros) (Guzmán y Olvera, 1996).

La estrategia reproductiva de la subfamilia es la viviparidad y se ha documentado un amplio número de especies que presentan superfetación (Frías, 2015), adaptación que permite que dos o más embriones en diferentes estadios de desarrollo se encuentren dentro de la misma hembra (Miller *et al.*, 2009). Diversos estudios han reportado que el grado de superfetación, puede variar en tiempo y espacio dentro de una misma especie (Travis *et al.*, 1987). *Poeciliopsis*, *Poecilia*, *Heterandria* y *Neoheterandria*, son algunos de los géneros dentro de la familia Poeciliidae, que presentan superfetación (Pires *et al.*, 2010) en donde la transferencia de nutrientes de la madre al embrión durante el desarrollo puede ser lecitotrófica (la madre no provee de los nutrientes sino el embrión los toma del vitelo) o matotrófica (la madre provee de los nutrientes para el desarrollo del embrión por medio de una estructura especializada) (Marsh-Matthews, 2011).

Otra de las características que puede verse afectada dependiendo del ambiente, es la proporción sexual. Aunque el sexo en los peces está determinado genéticamente. (Fitzpatrick *et al.*, 1993), la estimulación del sistema endocrino del organismo permite influir en el proceso de diferenciación sexual (Bardach, 1997), dicho proceso puede ser modificado por los factores ambientales: como la temperatura, interacciones sociales como la dominancia o características ligadas a poseer un fenotipo más grande con respecto al pequeño (Conover y Kynard, 1981; Francis, 1992; Schultz, 1993). Aun cuando no se conoce el mecanismo de la acción fisiológica de la temperatura sobre la determinación del sexo de los peces, se puede inferir que es un factor determinante en el proceso adaptativo de las especies y actuando en un intervalo térmico apropiado puede inducir el sexo que se requiera (Maya y Marañón, 2001).





Heterandria bimaculatus (Heckel 1848) (= *Pseudoxiphophorus bimaculatus*) comúnmente llamado “guatopote manchado” es una especie vivípara que inicia su etapa reproductora cuando alcanza una talla de aproximadamente 22 mm de longitud patrón en machos y 27 mm en hembras (Gómez-Márquez *et al.*, 1999). Presenta una distribución nativa de la vertiente del Atlántico en las partes medias y bajas de arroyos desde el río Misantla, Veracruz, hasta el río Prinzapolka, Nicaragua (Miller *et al.*, 2009). En México el límite norteño no se extiende más allá de la cuenca del río Nautla; sin embargo, parece incierto, ya que además se encuentra en las costas de Veracruz en los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos llegando hasta la península de Yucatán (Soria-Barreto *et al.*, 1996). *P. bimaculatus* se ha introducido en la cuenca del río Balsas, Arroyo San Roque, Presa “La Boca”, Presa “El Caracol, Canales de Xochimilco, parte alta de la cuenca del Balsas, en el Vaso “el Rodeo”, Lago Coatetelco, medio y bajo río Lerma (Ramírez, 2014). Su alimentación es una gama relativamente amplia de componentes, la cantidad mayor de los grupos ingeridos son de origen animal, principalmente insectos (carnívora-insectívora) (Trujillo-Jiménez y Toledo, 2007). Su reproducción se lleva a cabo en los meses de julio-septiembre (verano), durante la estación lluviosa en el estado de Morelos. Una hembra adulta puede liberar varias camadas en la misma temporada reproductiva, pero las camadas no se superponen, esto es, no presentan superfecundación (Gómez-Márquez *et al.*, 1999).

En el bordo Amate Amarillo se han realizado estudios sobre la potencialidad de generación de recursos, tal es el caso del cultivo y producción de peces como la carpa y la tilapia (Rivera y Hernández, 2011) dejando a un lado la caracterización de peces como *P. bimaculatus*, que tienen un gran valor ornamental y al ser parte de estos ecosistemas, tienen una función ecológica muy importante en el ambiente acuático, ya que dentro de este, forman parte de la cadena trófica y flujos de energía que en ella se presenta.





Antecedentes

Durante años se ha estudiado la familia Poeciliidae debido a su importancia como peces de ornato para acuarios.

En 1988 Gaspar-Dillanes menciona el primer registro de *Heterandria bimaculata* en el estado de Morelos dentro de la cuenca del Río Balsas, registrándose en ríos, tales como el Amacuzac, Yautepec y Tembembe, lagos como el Vaso de El Rodeo y el de Coatetelco así como en diversos bordos, con temperaturas que van de 22 a 28.4°C y altitudes entre 950 y 1500 m.

Gómez-Márquez y colaboradores en el año de 1999 realizaron un estudio con *Heterandria bimaculata* en la laguna “El Rodeo” Morelos, México, identificando aspectos de reproducción y crecimiento de esta especie. Reportan una proporción sexual a favor de las hembras, con tallas de 22 mm para los machos y 27 mm para las hembras, con un contenido de embriones en las gónadas de 5 a 78, con promedio de 23 así como múltiples desoves que posiblemente se realicen durante el ciclo reproductivo (de marzo a mayo y de julio a octubre), principalmente durante la temporada de lluvias.

En el año 2007 Trujillo-Jiménez y Toledo analizaron los hábitos alimenticios de *Heterandria bimaculata* en el embalse “Los Carros” Axochiapán, Morelos, México, registrando 16 componentes alimenticios en los que odonatos e himenópteros fueron los organismos más consumidos por los peces durante la estación de lluvias, mientras que en el estiaje fueron coleópteros e himenópteros.

Gómez-Márquez y colaboradores en el año 2008 realizaron el análisis reproductivo de *Poeciliopsis gracilis* en el lago Coatetelco, Morelos, México. Encontrando un dimorfismo sexual en las características morfológicas de esta especie. Además la variación mensual en los índices gonadosomático, hepatosomático y estadio de desarrollo ovárico sugieren que la época de reproducción se lleva a cabo durante la época de lluvias.





Diversos estudios se han realizado en los cuerpos de agua del estado de Morelos. Mejía-Mojica y colaboradores en el año 2012, realizaron un estudio sobre la recurrencia histórica de peces invasores en la reserva de la biósfera Sierra de Huatla, al sur del estado de Morelos, México, en el cual reportaron que *Heterandria bimaculata* es una especie translocada de otra cuenca de México. Mencionan que este poecílido fue introducido en la región a finales de los años 80 y actualmente es una de las especies más abundantes.

La filogenia del género *Heterandria* ha sido analizada recientemente. Agorreta y colaboradores en el año 2013 mencionan que tras analizar marcadores moleculares (cytb mitocondrial, 16S atp 6-8) *Heterandria bimaculata* (*Pseudoxiphophorus bimaculatus*) y *Heterandria formosa* no comparten el mismo ancestro común. Además mencionan que se conoce poco de la diversidad del género *Pseudoxiphophorus* y sugieren revisar la clasificación de *P. bimaculatus*

Frías-Álvarez y colaboradores en el 2014, al realizar un estudio en 11 poblaciones de dos especies de peces vivíparos (*Poeciliopsis gracilis* y *Poeciliopsis infans*), encontraron diferencias significativas en el número de crías simultaneas entre las poblaciones de *P. gracilis* pero no en las poblaciones de *P. infans*.. Aunque no fue evidente un patrón específico de variación temporal, se enfatiza en la importancia de incluir la variación intraespecifica para poder explicar la superfetación

Espinoza-Pérez en el 2014, reportó que algunas especies de la familia Poeciliidae presentan ginogénesis o partenogénesis, donde el óvulo es activado por el contacto del espermatozoide pero sin llevarse a cabo intercambio genético, por lo cual toda la progenie son hembras.

Ramírez-García y colaboradores en el 2017 realizaron el estudio de la biología reproductiva de las especies invasoras: *Pseudoxiphophorus bimaculatus* y *Poecilia sphenops* en el río Teuchitlan, Jalisco, México. Encontrando que las variables reproductivas se relacionaron con las características del medio ambiente. Además el establecimiento de los organismos





sexualmente maduros de *P. bimaculatus* se realizó en sitios degradados, contrariamente *P. sphenops* se estableció a lo largo del río Teuchitlán.

Zona de Estudio

El estado de Morelos se localiza en la parte central de la República Mexicana, dentro de dos provincias geológicas fisiográficas: la del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Esta última, porción de la cuenca del río Balsas-Mezcala. La superficie del estado es de aproximadamente 4958 kilómetros cuadrados; políticamente se divide en 33 municipios, siendo la capital del estado la ciudad de Cuernavaca (INEGI, 2011). Ayala es uno de los municipios de Morelos que se ubica geográficamente entre los 18°34' y 18°50' latitud norte (LN) y 98°50' y 99°06' longitud oeste (LO), entre los 900 y 1800 m.s.n.m. Colinda al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla; al este con los municipios de Tepalcingo, Tlaquitenango y Tlaltizapán; al oeste con los municipios Tlaltizapán y Yautepec. Ocupa el 7.74% de la superficie del estado. Cuenta con 106 localidades y una población total de 70023 habitantes.

Localización

El bordo Amate Amarillo, se encuentra en el Municipio de Ayala, Morelos (Fig. 1). Se ubica en 18° 44' 0.06'' LN y 98° 54' 53'' LO, a 1220 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2000).



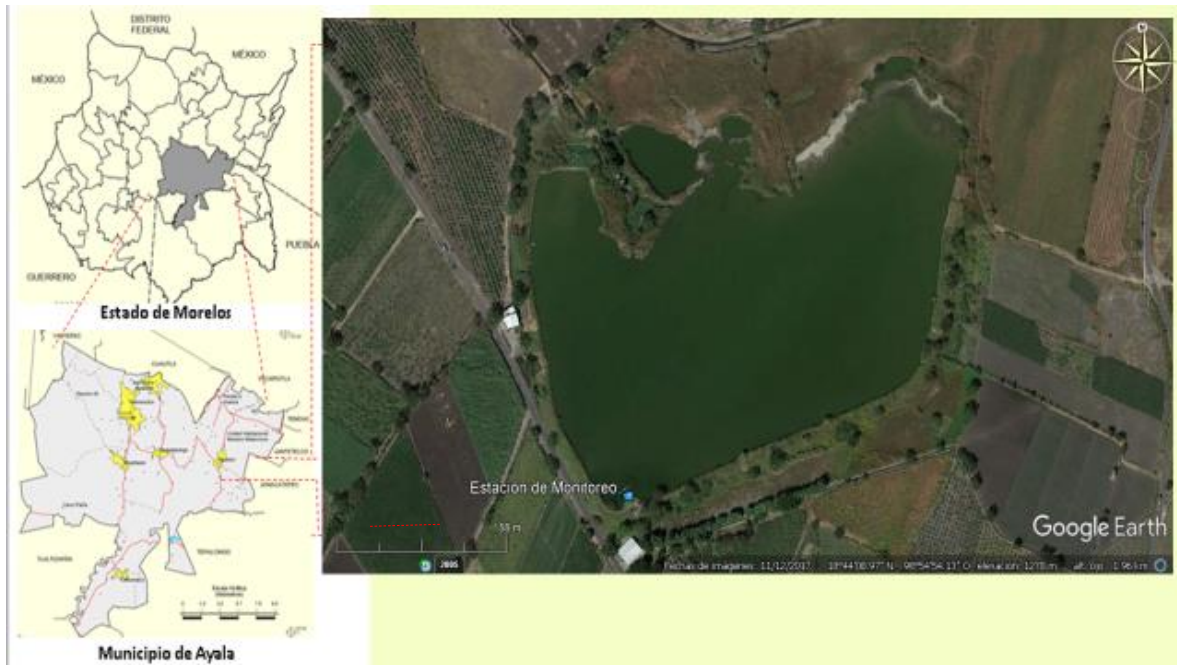


Figura 1. Localización del bordo Amate Amarillo en el Municipio de Ayala, Mor.

Clima

El clima de la zona es Awo(w)(i')gw'' cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación media anual es de 800 mm y la precipitación del mes más seco oscila entre 0 y 60 mm, con lluvias de verano e índice P/T menor de 43.2; el porcentaje de lluvia invernal es de 5 al 10.2% del total anual. Presenta 6 meses con suelos húmedos (García, 2004).

Vegetación

La vegetación dominante de la entidad es la de selva baja caducifolia y pastizales, en donde encontramos principalmente arboles como: Cubatas (*Acacia cymbispina*), Cuajotes (*Bursera morelensis*), Cazahuates (*Ipomoea murucoides*), Tepehuaje (*Lysiloma acapulcense*), Zacate (*Anstidia adscensionis*) Zacatón (*Muhlenbergia sp*) y Navajita (*Bouteloua filiformis*). La mayor parte de la superficie municipal (61.16%) está destinada para actividades agrícolas en





las que se encuentran especies vegetales como: Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), Arroz (*Oryza sativa*), Maíz (*Zea mays*) y Frijol (*Phaseolus vulgaris*) principalmente (INEGI, 2002).

Geología

Según la cartografía incluida en la Síntesis Geográfica de Morelos (2002), las características geológicas y fisiográficas de las montañas del norte son muy diferentes a las planicies del este, por lo que no deben contemplarse juntas dentro de una misma provincia; la zona suroeste del estado tampoco se ubica dentro de la Sierra Madre del Sur, sino dentro de la Cuenca del Balsas (Contreras-MacBeath *et al.*, 2006).

Las rocas más importantes de esta provincia son: sedimentarias en las que se incluyen: 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%) volcanoclástica (0.62%) y brecha volcánica básica (0.29%); Ígnea intrusiva: pórfido andesítico (0.49%) Metamórfica: (1.32%) Suelo: aluvial (17.63%) (INEGI, 2009).

Edafología

Los tipos de suelo corresponden a suelo de tipo Vertisol pélico, (34.55%), Leptosol (33.45%), Kastañozem (12.15%), Phaeozem (10.03%), Chernozem (4.8%) y Regosol (1.28%). El principal uso de suelo es la agricultura con un 61.16% y la zona urbana de 3.67% (INEGI, 2002).





Hidrografía

Está ubicado en la región Hidrológica del Balsas, la cuenca en la que se encuentra pertenece al Río Grande Amacuzac y la subcuenca Río Cuautla, Río Yautepec y Río Bajo Amacuzac. Cuenta con un flujo de agua perenne del Río Cuautla e intermitente de los Ríos de Ayala, Chinameca, El Carrizal, Huajoyucan. La Parota, La Villa, El gritón y Los Sauces (INEGI, 2002).

El cuerpo de agua presenta los siguientes parámetros físicos y químicos en promedio: temperatura del agua: 25.1°C, temperatura ambiente: 26.5°C, profundidad: 1.97m, visibilidad al disco de secchi: 0.37 m, oxígeno disuelto: 10.8 mg/L, alcalinidad total: 128.28 mg/L CaCO₃, dureza total: 509.85 mg/L CaCO₃ y pH: 8.14 unidades (Rivera y Hernández, 2011).

Justificación

La reproducción de los peces teleósteos tiene gran importancia para la comprensión de la evolución en los vertebrados; si se toma en cuenta que la viviparidad en los teleósteos ocurre de manera intra-ovárica (Uribe y Grier, 2010)

Se ha registrado que la presencia de superfetación en los poecilidos, puede presentarse como una estrategia temporal por los efectos del clima (época de lluvias o de secas). Sin embargo, la falta de información sobre esta teoría se debe a que la mayoría de los estudios se han realizado bajo condiciones controladas de laboratorio y no sobre los cuerpos de agua en donde habitan.

Pseudoxiphophorus bimaculatus es una especie con gran importancia ecológica y comercial como peces de ornato. A pesar de que se han realizado diversos estudios sobre la biología de esta especie, existe poca información especializada sobre su ciclo reproductivo, así como de





los factores ambientales que pudieran estar influenciados en los diferentes cuerpos donde se ha registrado en el estado de Morelos.

Hipótesis

Pseudoxiphophorus bimaculatus se ha reportado como una especie no superfetante debido a que probablemente solo se ha observado en cierta época del año; sin embargo, en esta investigación, a lo largo de un ciclo anual, se espera encontrar la presencia de superfetación en las hembras de esta especie. Además, la influencia de las condiciones ambientales se reflejará sobre el factor de condición, por lo cual, se espera que este índice incremente durante la época de lluvias en el periodo de mayo a agosto y que alcance sus valores mínimos durante el periodo de secas de diciembre a marzo.

Objetivos

-Objetivo General:-

Analizar la reproducción de *Pseudoxiphophorus bimaculatus* en el bordo Amate Amarillo en el estado de Morelos

-Objetivos Particulares-

Reconocer por medio de indicadores morfofisiológicos (índice gonadosomático, índice hepatosomático, factor de condición y los estadios de madurez gonádica) la época de reproducción de la especie.

Evaluar el tipo de crecimiento con base en la relación peso-longitud y obtener el factor de condición para la especie.

Determinar la proporción sexual en la población de *P. bimaculatus* dentro del bordo Amate Amarillo.





Obtener la talla de primera madurez sexual para ambos sexos de *Pseudoxiphophorus bimaculatus*.

Caracterizar si *P. bimaculatus* es una especie lecitotrófica o matrotrofica por medio del índice de matrotrofia.

Relacionar los indicadores morfofisiológicos de la reproducción con los factores ambientales del sistema acuático.

Método

El presente trabajo se realizó en el Bordo Amate Amarillo perteneciente al municipio de Ayala, Estado de Morelos, con muestreos mensuales de marzo de 2017 a febrero de 2018, para lo cual el trabajo se dividió en tres fases:

Fase de campo

Se obtuvo la ubicación del cuerpo acuático así como de las estaciones de monitoreo, mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en coordenadas geográficas y en UTM (Universal Transversa Mercator). Además, se obtuvo el porcentaje de nubosidad que se encuentra sobre el sistema así como la temperatura ambiente la cual fue medida con un termómetro de mercurio de $\pm 1^\circ\text{C}$ de precisión.

Toma de muestras de agua en la estación de monitoreo.

Se realizaron muestreos mensuales de marzo 2017 a febrero 2018, para obtener el registro de los parámetros físicos y químicos del cuerpo de agua y conocer su posible efecto sobre los aspectos reproductivos de la especie.

Se ubicó la estación de monitoreo cerca de la compuerta para realizar los muestreos de agua. Se obtuvieron *in situ* los siguientes datos: profundidad, visibilidad al disco de Secchi, oxígeno disuelto y temperatura del agua. Las muestras de agua fueron obtenidas a distintas



profundidades; nivel superficial (0.30m), 1 y 2 metros, con una botella Van Dorn de dos litros de capacidad. Las muestras de agua fueron colocadas y almacenadas en botellas de polietileno de un litro (previamente etiquetadas) en una hielera a 4°C para su posterior análisis en el laboratorio. Para obtener los parámetros físicos y químicos del agua se utilizaron las siguientes técnicas:

Tabla 1: Parámetros físicos y químicos evaluados en campo y método utilizado

| Parámetro | Técnica de campo |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Visibilidad (cm) | Disco de Secchi |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | Oxímetro Marca Hanna Modelo HI9146 |
| pH, sólidos disueltos y conductividad | Multiparámetros Marca Hanna Modelo HI991300 |
| Alcalinidad total (mg/L de CaCO ₃) | Método de Indicadores |
| Dureza total (mg/L de CaCO ₃) | Método Complejométrico |

(Gómez-Márquez *et al.*, 2014)

Captura de los organismos

Se realizaron capturas mensuales de peces durante un ciclo anual para lo cual se empleó una red de arrastre de encierro (chinchorro) con las siguientes características: 0.005 m de luz de malla, 10 m de largo y 1 m de ancho.

Debido a que los organismos de *P. bimaculatus* se distribuyen en un área cercana a la compuerta del sistema, se modificó el uso del arte de pesca. La pesca se realizó lanzando la red al sistema de forma paralela a la línea de costa, al caer la red fue arrastrada a la orilla del sistema levantándola suavemente para capturar al mayor número de organismos de todas las tallas posibles. Cuando esto no fue posible porque el sistema estaba completamente lleno por





efecto del aporte de agua en época de lluvias, se realizó la captura arrastrado la red por medio de nado.

A pesar de que muchos poecilidos son resistentes al manejo y el transporte (Salgado-Maldonado, 2009), no es necesario mantener a los organismos vivos, por lo tanto después de ser capturados, los organismos fueron colocados en frascos de plástico con agua y se les agregó cinco gotas de esencia de clavo para adormecerlos además, se les adicionó una solución de formol al 10% para una óptima conservación de los tejidos (Granado, 2002). Posteriormente fueron transportados al laboratorio de Limnología de la FES Zaragoza, C-II para su estudio.

Fase de Laboratorio

Parámetros físicos y químicos del agua.

Para la determinación de los nutrimentos presentes en el agua se realizaron las siguientes técnicas.

Tabla 2: Nutrimento y factor biológico a evaluar en laboratorio y método utilizado

| <i>Parámetro</i> | <i>Método</i> |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Fósforo total | Fosfomolibdato con digestión ácida (Gómez- Marquez <i>et al.</i> , 2014). |
| Clorofila “a” | Espectrofotométrico (Lind, 1979) |

Biometría de los organismos

Se determinó el sexo de los individuos por medio del dimorfismo sexual que presenta la especie y mediante la inspección del desarrollo de la estructura gonopodial que se presenta en los machos, lo cual permitió clasificarlos como macho maduro o inmaduro (Rosen y





Tucker, 1961). Posteriormente se realizó la siguiente biometría; Longitud total (Lt), Longitud patrón (Lp) y altura con un Vernier de 0.1 mm de precisión, Peso total (Pt), Peso viscerado (Pe), Peso del hígado (Ph) y Peso de la gónada (Pg) con una balanza analítica de 0.0001g de precisión.

Para determinar la madurez gonádica en las hembras se realizó una disección mediante un corte ventral desde la abertura anal hasta la cintura escapular para poder dejar al descubierto las gónadas, las cuales se extrajeron y se midieron con un estereoscopio equipado con un objetivo con reglilla. Además se cuantificó el número de óvulos (No), número de huevos (Nh) y número de embriones (Ne). Las fases de desarrollo gonádico fueron establecidas por medio de la inspección de gónadas de acuerdo al criterio de Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996) que a continuación se mencionan:

Estadio I: (Ovario no maduro). En organismos mayores a 35mm de longitud estándar, los ovarios son muy pequeños con longitudes desde 2 a 10mm y 5.4mm en promedio. Presentan una forma fusiforme y ligeramente más delgados en su porción distal. Su color varía entre blanco y amarillento. El ovario posee delicadas paredes externas.

Estadio II: (Maduración). En organismos mayores de 21 a 61mm de longitud estándar, los ovarios miden desde 2 hasta 18mm con un promedio de 8.8mm de longitud. Son suaves y su color varía entre blanco y amarillo

Estadio III: (Madurez). En organismos de 30 a 71.5mm de longitud estándar, los ovarios miden de 4 a 21mm de longitud con una media de 10.4mm. Presentan color ámbar-miel

Estadio IV: (Óvulos y embriones). En organismos de 36 hasta 74 mm de longitud estándar, los ovarios miden de 6 a 26 mm de longitud con una media de 14.3mm. Presentan una anchura media de 5.26mm. En este estadio pueden encontrarse embriones de diferentes etapas de desarrollo posicionados al azar en la gónada. También pueden encontrarse óvulos



pequeños y blancos en los ovarios. Pueden encontrarse hasta tres crías en diferentes etapas de desarrollo en una sola hembra, lo que sugiere la existencia de superfetación.

Estadio V: (Pre-parto). En organismos de 37 a 51mm de longitud estándar, los ovarios miden desde 5 hasta 27mm de longitud, estos ovarios presentan un ancho de 5.35mm. Pueden presentar coloraciones ámbar o café-amarillento con embriones bien desarrollados.

Estadio VI: (Post-parto). En organismos desde 37 a 51mm de longitud estándar los ovarios son alargados y suaves, con una longitud entre 8 y 13mm con una media de 12mm de ancho. Presentan una coloración blanca.

Para la determinación de los estadios de desarrollo embrionario, se utilizó la recomendación descrita por Haynes (1995) (Fig. 2).

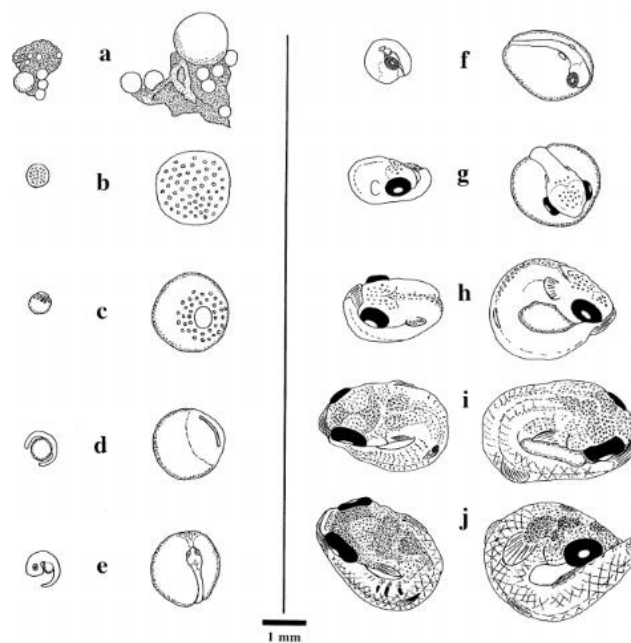


Figura: 2 Estadios de desarrollo embrionario en Poecilidos. Columna izquierda especie matrotrofica (*Heterandria formosa*), columna derecha especie lecitotrofica (*Gambusia affinis*) (Tomada de Haynes, 1995)





Tras examinar el estadio de desarrollo embrionario se realizó la siguiente biometría a cada uno de los huevos y embriones en los diferentes estadios de desarrollo: la longitud se obtuvo mediante un estereoscopio equipado con reglilla y el peso total con una balanza analítica 0.0001g de precisión. Finalmente los huevos y embriones fueron introducidos en un horno de desecación a 54°C durante 48 horas. Después de 48 horas en el horno, los embriones fueron colocados en un desecador durante 2 horas y posteriormente fueron pesados utilizando una balanza analítica 0.0001g de precisión (Reznick, 2002; Molina, 2014).

Fase de Gabinete

Con los datos obtenidos de la biometría de *P. bimaculatus* se analizaron los datos de la frecuencia de tallas por medio de un histograma de frecuencia de tallas, en donde el eje vertical (Y) representa el número (frecuencia) de las observaciones y el eje horizontal (X) los intervalo de tallas (clases) (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Para determinar el número de clases de tallas que representa la distribución, se utilizó la regla de Sturges (González, 2005).

$$k = 1 + 3.322 \log_{10} n$$

Donde n es el número de observaciones y k es el número de clases (Kumar, 2016).

Con la determinación del sexo se obtuvo la estimación de la proporción sexual de los organismos mediante la prueba de chi cuadrada (χ^2) con ajuste de Yates.

$$\chi^2 = \frac{\sum(|O - E| - 0.5)^2}{E}$$

Donde “O” es el número de individuos observados (hembras o machos) y E es el valor teórico esperado, con $\alpha = 0.05$, grados de libertad = $k - 1$, k = categorías (hembra o macho) (Daniel, 1997).





Se aplicó un análisis de correlación entre el logaritmo de la longitud total y patrón contra el logaritmo del peso total, para determinar cuál de las dos medidas del tamaño presenta mayor grado de asociación con la variable del peso. Una vez obtenida la longitud se realizó una regresión para obtener la relación con el peso. Así mismo, se aplicó el análisis de covarianza (ANDECOVA) para determinar si existen diferencias entre la talla y el peso al considerar el sexo.

Tras realizar estos análisis se estableció la relación entre el peso y la longitud de los peces mediante un modelo formado por funciones intrínsecamente lineales. El modelo propuesto está dado por Y (peso) en función de la longitud del pez (X) (Leyton *et al.*, 2015). La relación entre peso-longitud está dada por una ecuación de tipo potencial de la forma:

$$P = aL^b$$

Donde P es peso total en gramos, L la longitud total en cm, a y b son constantes estimadas por análisis de regresión lineal. Para realizar el análisis de regresión lineal se aplicaron logaritmos a las variables quedando de la siguiente manera:

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

Donde “b” es una constante (pendiente) que determina la proporcionalidad de los incrementos de la longitud respecto al peso y “a” es el intercepto de la recta.

Al valor de pendiente obtenido se le aplicó una prueba de *t-student* para determinar si presenta un crecimiento alométrico ($b \neq 3$) o isométrico ($b=3$) (Salgado *et al.*, 2005; Froese, 2006) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\hat{t} = \frac{e \cdot s_x}{e \cdot s_y} * \frac{|b - 3|}{\sqrt{1 - r^2}} * \sqrt{n - 2}$$





El factor de condición relativo de Le Cren (Kr) se utilizó como indicador del estado de bienestar de los organismos y expresa en peces, la relación volumétrica en función del peso según la siguiente expresión matemática:

$$Kr = \frac{P}{\hat{P}}$$

Donde P es el peso del pez en gramos y \hat{P} es el peso calculado obtenido mediante la relación Peso-Longitud (Le Cren, 1951).

Así mismo, se relacionó el factor de condición (Kr) con la temperatura del agua, la concentración del oxígeno disuelto y la concentración de clorofila “a” presentes en el cuerpo de agua.

El índice gonadosomático (IGS) es frecuentemente utilizado para seguir el ciclo reproductivo de una especie en un año a intervalos mensuales o de menor tiempo. Este índice asume que el ovario incrementa en tamaño conforme aumenta el desarrollo (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

El índice gonadosomático se refiere a la proporción entre el peso gonadal y el peso del cuerpo y puede ser indicativo de madurez. Para realizarlo se comparó el peso eviscerado con el peso de la gónada (Gómez-Márquez *et al.*, 2003).

$$IGS = \frac{\text{Peso de la cámara incubatriz}}{\text{Peso eviscerado}} (100)$$





Por otra parte, el índice hepatosomático (IHS) proporcionó una estimación aproximada del estado de salud de los individuos, dado que describe la relación entre el tamaño del cuerpo y el tamaño del tejido hepático. Para realizarlo se comparó el peso eviscerado del individuo y el peso del hígado.

$$IHS = \frac{\text{Peso del hígado (100)}}{\text{Peso eviscerado}}$$

Se obtuvo la talla de primera madurez sexual de las hembras, examinando los ovarios siguiendo la clave propuesta por Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996), para ello se utilizó el modelo logístico propuesto por King (2007). Para el caso de los machos se determinó la talla de primera reproducción mediante la inspección de la estructura gonopodial.

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

Donde r es la pendiente de la curva (obtenida por regresión lineal), L es la longitud total y L_m es la longitud media a la madurez sexual o la longitud, la cual corresponde a una proporción de 0.5 en condición reproductiva (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

Se realizó el conteo del número de ovocitos y óvulos (N_o) (estadio 1-3 de acuerdo a la clave propuesta por Haynes, 1995) para obtener la fecundidad (Cabrera y Solano, 1995), la cual representa el potencial reproductor de la especie.

$$F_0 = N_o$$

Además se relacionó la fecundidad con la longitud, la cual quedó expresada de la siguiente manera:

$$F_0 = aL^b$$





Donde F_0 = fecundidad del pez, L = longitud del pez, a y b = constantes obtenidas del análisis de regresión. Como los datos no se comportan de manera lineal se realizó una transformación logarítmica de las variables, entonces se permite el análisis de regresión lineal de la siguiente manera:

$$\log F_0 = \log a + b \log L$$

Los valores de las constantes a y b se obtuvieron por medio del método de mínimos cuadrados y el uso de procedimientos estadísticos estándar para su análisis posterior (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

De igual manera se relacionó la fecundidad y el peso de los organismos mediante la siguiente fórmula:

$$F_0 = aP + b$$

Donde F_0 = fecundidad del pez, P = peso del pez, a y b = constantes obtenidas del análisis de regresión lineal, por medio del método de mínimos cuadrados (Gómez-Márquez *et al.*, 2016). Se contó el número de huevos (N_h) y número de embriones (N_e) (estadio 4-10 de acuerdo a la clave propuesta por Haynes, 1995), para obtener la fertilidad la cual indica cuál es el número de óvulos desovados, fertilizados y transformados en huevos (Gómez-Márquez *et al.*, 2016). La fertilidad se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$F_e = N_e + N_h$$

Donde N_e = número de embriones y N_h = número de huevos (Cabrera y Solano 1995),

Para encontrar la relación entre la fertilidad y la longitud de los organismos se utilizó la siguiente expresión:

$$F_e = aL + b$$





Donde F_e = fertilidad del pez, L = longitud del pez, a y b = constantes obtenidas del análisis de regresión lineal.

Adicionalmente, se obtuvo la relación entre la fertilidad y el peso de los organismos utilizando la siguiente expresión:

$$F_e = aP + b$$

Donde F_e = fertilidad del pez, P = peso del pez, a y b = constantes obtenidas del análisis de regresión lineal. (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

Se cuantificó la cantidad de vitelo proporcionado por la madre utilizando el índice de matrotrofia, que relaciona la masa seca estimada de la prole al nacer dividida entre la masa seca del huevo en la fecundación (Reznick *et al.*, 2002).

Se obtuvo el peso seco promedio por embrión de cada hembra en cada una de sus camadas. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión entre el peso del embrión y el estadio de desarrollo embrionario.

Para calcular el índice de matrotrofia se obtuvo el peso predicho por la regresión para el estadio correspondiente al momento en el que ocurre la fecundación (P_i : Peso predicho para el estadio 4) y el peso predicho para el último estadio de desarrollo (P_f : Peso predicho para el estadio 10) con base en la propuesta de Haynes (1995). A partir de estos pesos se calculó el índice de matrotrofia (Reznick *et al.*, 2006):

$$IM = \frac{P_f}{P_i}$$

Se utilizó el criterio propuesto por Reznick *et al.* (2002), el cual sugiere utilizar una prueba de *t-student* para evaluar si el IM observado es mayor que 0.7. La elección de 0.7 es arbitraria y sugiere suponer que la ausencia de provisión materna después de la fertilización se asociará





con una pérdida del 30% en masa seca entre la fertilización y el nacimiento. Valores de IM menores a uno se clasifican como especies lecitotróficas, mientras que valores de IM mayores a uno se clasifican como matrotroóficas (Reznick *et al.*, 2007).

Por último se determinó el grado de eutrofización del cuerpo de agua, para ello se utilizó el índice de Carlson o TSI (1977). Esta es una medida del estado trófico de un cuerpo de agua que se obtiene a partir de varias medidas de calidad del agua, tales como: la transparencia, concentración de clorofila “a” y los niveles de fósforo total (Carlson y Simpson, 1996). El índice se basa en el intervalo de una escala de 0 a 100. Un conjunto de ecuaciones ayudan a comprender este intervalo en donde valores altos corresponden a una mayor cantidad de nutrimentos, es decir, cuerpos de agua más eutróficos. Las ecuaciones para calcular el IET son (Ruibal, 2000):

$$IETs = 60 - (14.41 * [\ln(secchi\ promedio)])$$

$$IETFt = 14.2 * [\ln(Ft\ promedio)] + 4.15$$

$$IETc = 9.81 * [\ln(clorofila\ promedio)] + 30.6$$

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



Resultados

Factores Ambientales

Los valores de oxígeno disuelto presentaron un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura del agua, alcanzando su valor máximo durante el mes de Noviembre con 12.32 mg/L y un valor mínimo en Octubre con 3.71 mg/L sin presentar anoxia en el sistema. La temperatura de agua tuvo su valor más alto en Septiembre con 24.01°C y su valor más bajo en Diciembre con 18.25°C. (Figura 3).

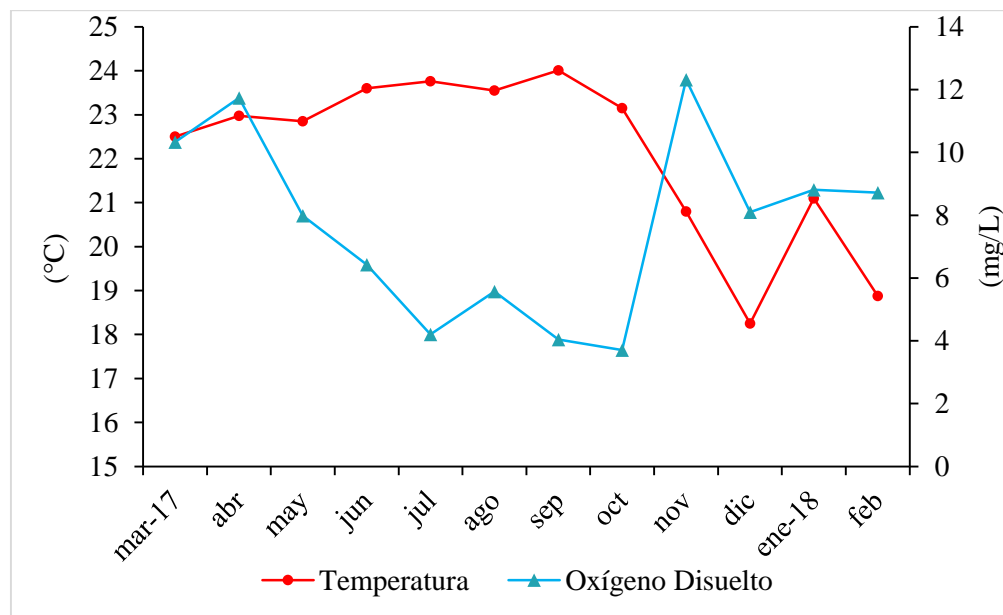


Figura 3. Variación mensual de la temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto en el Bordo Amate Amarillo, Mor.

El valor máximo de pH se registró durante el mes de Febrero con 9.1 y el mínimo durante el mes de Julio con 7.6, el resto de los meses los valores de pH se mantuvieron de neutros a ligeramente alcalinos. La alcalinidad total fue variable a lo largo del tiempo, el valor máximo se registró en Enero con 288 mg/L y el mínimo en Noviembre con 164 mg/L, lo cual indica



que el sistema contiene aguas productivas. La dureza total del cuerpo de agua también mostró un comportamiento variable a través del tiempo registrando su valor máximo en el mes de Abril con 285 mg/L y posteriormente se observa un decremento hasta terminar el ciclo anual alcanzando su valor mínimo en el mes de Febrero con 121 mg/L (Figura 4).

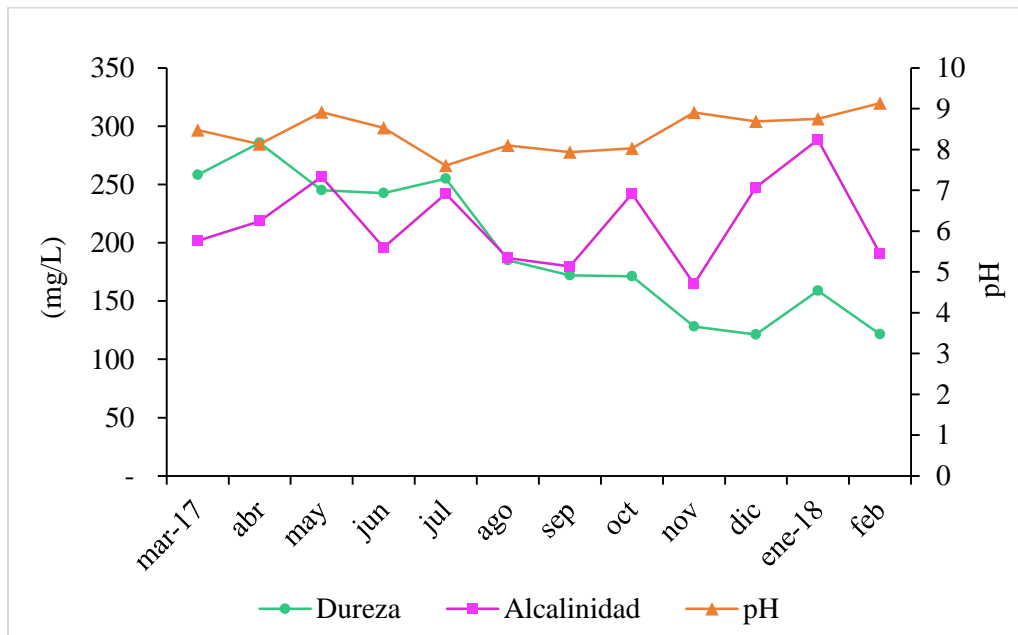


Figura 4. Variación mensual de la Dureza Total, Alcalinidad Total y pH en el bordo Amate Amarillo, Mor.

Se encontró una relación entre la concentración de clorofila “a”, la profundidad y la visibilidad al disco de Secchi. Los valores de la concentración de clorofila “a” presente en el sistema, alcanzaron sus valores máximos durante los meses de Mayo y Enero. Contrariamente los valores de Visibilidad al disco de Secchi correspondientes fueron bajos, La profundidad mostró valores altos durante la época de lluvias (Junio a Octubre) y bajos durante la temporada de secas (Noviembre a Mayo) (Figura 5).



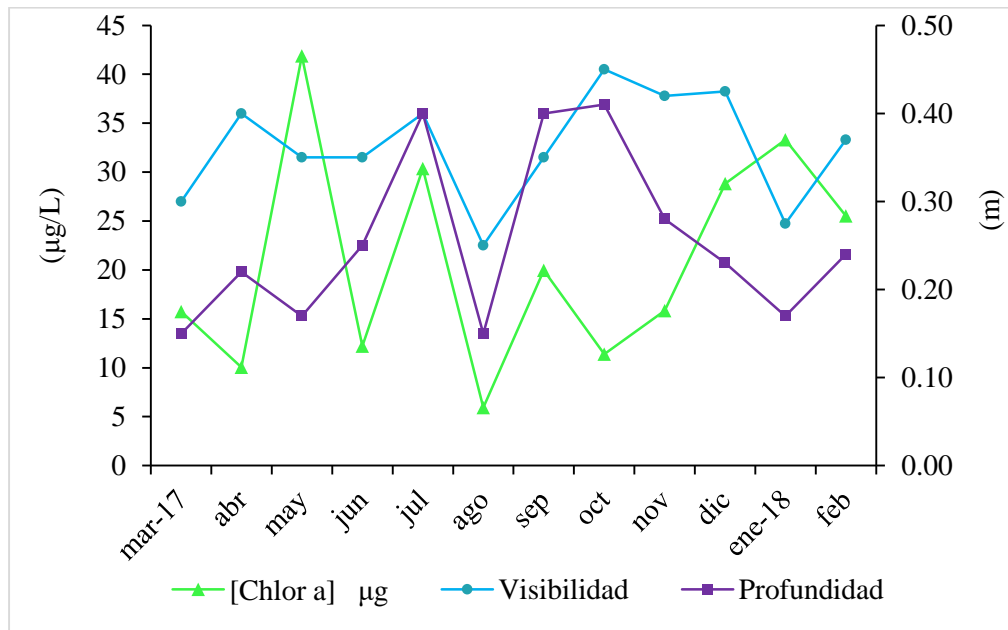


Figura 5. Variación mensual de la concentración de clorofila “a”, visibilidad al disco de Secchi y la profundidad en el Bordo Amate Amarillo. Mor.

Por último se determinó el grado de eutrofización del cuerpo de agua por medio del índice propuesto por Carlson (1977). Se registró un valor máximo en el mes de febrero con 89.45 y un mínimo de 66.61 en el mes de noviembre obteniendo un promedio anual de 83.03, lo cual indica que el bordo Amate Amarillo puede clasificarse como un sistema hipereutrófico altamente productivo (Figura 6).



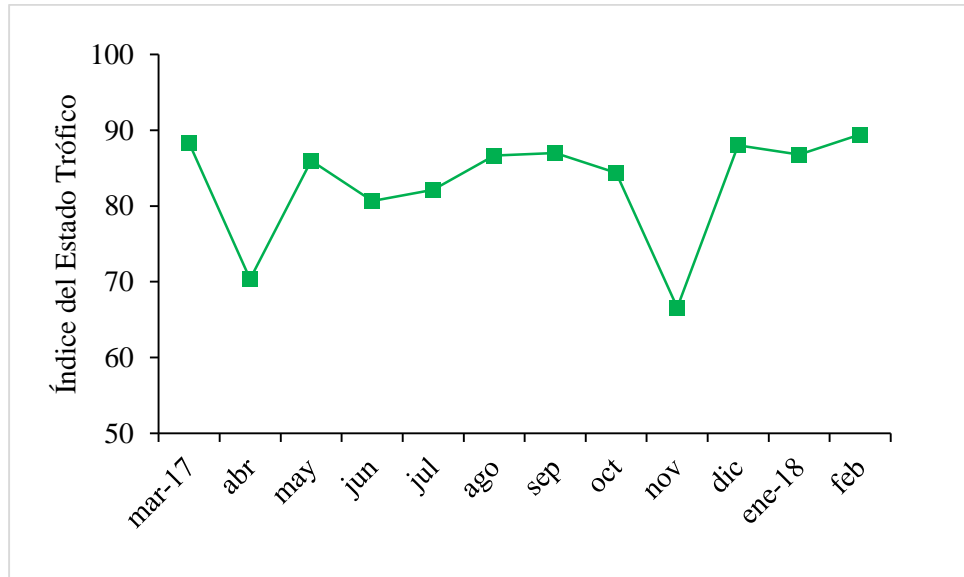


Figura 6. Variación mensual del Índice de Estado Trófico en el Bordo Amate Amarillo. Mor.

Factores de Condición y aspectos reproductivos en Pseudoxiphophorus bimaculatus

Durante el periodo de muestreo de marzo del 2017 a febrero del 2018, se capturó un total de 370 individuos de *Pseudoxiphophorus bimaculatus* (Heckel, 1848), con intervalos de talla para hembras de 2.3 a 8.1cm (peso total de 0.18 a 7.62g); machos de 2.6 a 5.8cm (peso de 0.22 a 2.34g) e indeterminados de 1.2 a 4.3 cm (peso de 0.022 a 0.91 g) (Tabla 3). La mayor captura se obtuvo en el mes de mayo mientras que en los meses de septiembre y octubre se recolectó la menor cantidad de individuos.

Tabla 3: Biometría para las hembras, machos e indeterminados de *P. bimaculatus*

| Sexo | Longitud total (cm) | | | Peso total (g) | | |
|----------------|---------------------|--------|----------|----------------|--------|----------|
| | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio |
| Hembras | 2.3 | 8.1 | 5.4 | 0.18 | 7.62 | 2.52 |
| Machos | 2.6 | 5.8 | 4.21 | 0.22 | 2.34 | 1.01 |
| Indeterminados | 1.2 | 4.3 | 2.6 | 0.022 | 0.91 | 0.28 |



Para llevar a cabo el análisis de distribución de frecuencia de tallas se realizó un histograma con base en la regla de *Sturges*, en el cual se observa una talla modal de 6.4cm para las hembras. Los machos presentan una talla modal de 4.9cm, mientras que los individuos indeterminados están representados con las tallas más pequeñas presentando una talla de 2.6cm. (Figura 7)

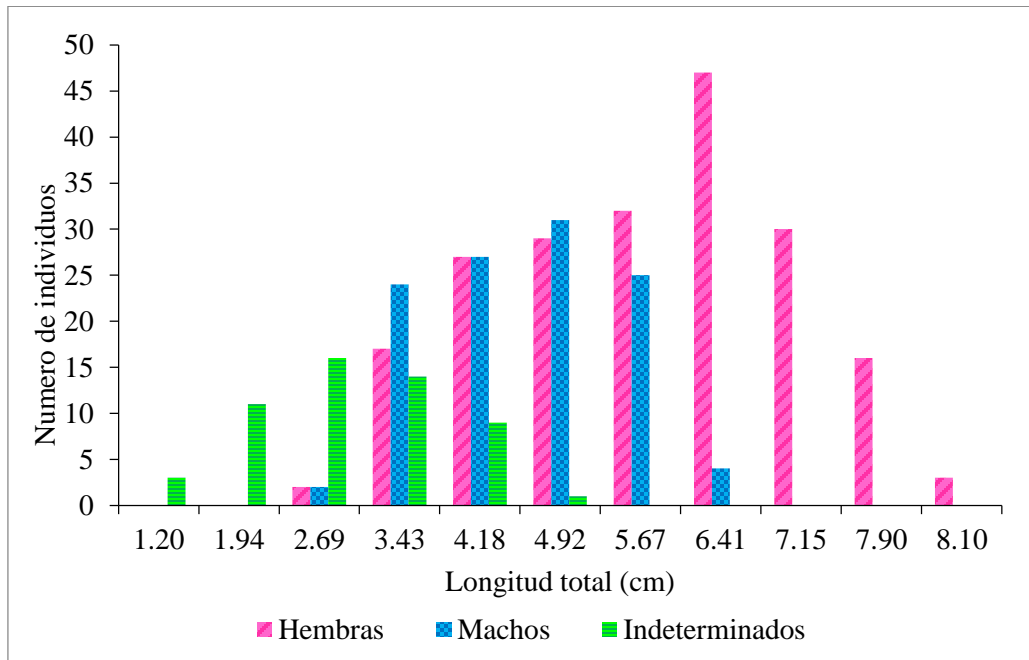


Figura 7. Frecuencia de tallas para la población de *P.bimaculatus*

Del total de 370 individuos capturados, el 54.86% correspondió a hembras (203 individuos), el 30.54% a machos (113 individuos) y el 14.59% a crías, cuyo sexo no pudo ser definido (54 individuos). La proporción sexual general hembra: macho fue de 1.8:1 ($\chi^2 = 26.20$; $p < 0.05$). La variación mensual de dicha proporción mostró que las hembras dominaron durante el periodo de muestreo excepto en el mes de Octubre (0.5:1) y Febrero (0.8:1). La mayor cantidad de hembras fue registrada durante el mes de Agosto (Tabla 4)



Tabla 4. Variación de la proporción sexual mensual de *P.bimaculatus*

| Mes | Hembras | Machos | Total | $\chi^2_{(3.841)}$ | Dominante | Proporción |
|------------|---------|--------|-------|--------------------|-----------|------------|
| Marzo | 16 | 10 | 26 | 1.884 | h | 1.6:1 |
| Abril | 18 | 11 | 29 | 2.206 | h | 1.6:1 |
| Mayo | 25 | 18 | 43 | 1.488 | h | 1.4:1 |
| Junio | 17 | 15 | 32 | 0.281 | h | 1.1:1 |
| Julio | 8 | 4 | 12 | 2.083 | h | 2:1 |
| Agosto | 28 | 6 | 34 | 15.558 | h | 4.7:1* |
| Septiembre | 15 | 3 | 18 | 9.388 | h | 5:1* |
| Octubre | 2 | 4 | 6 | 0.166 | m | 0.5:1 |
| Noviembre | 15 | 12 | 27 | 0.592 | h | 1.3:1 |
| Diciembre | 22 | 6 | 28 | 10.321 | h | 3.7:1* |
| Enero | 22 | 9 | 31 | 6.322 | h | 2.4:1* |
| Febrero | 15 | 15 | 30 | 0.033 | m:h | 0.8:1 |
| Total | 203 | 113 | 316 | 26.205 | h | 1.8:1* |

machos (m) hembras (h) *(p<0.05)

Para determinar que variable entre la longitud total (Lt) o patrón (Lp) se debería asociar con el peso total (Pt) o peso eviscerado (Pe), se realizó el análisis de regresión y correlación entre estas variables y se encontró que existe un mayor grado de asociación entre el peso total con la longitud total, tanto para hembras como para machos. (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de correlación logarítmica

| | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Hembras | Log (Longitud total) | Log (Longitud patrón) |
| Log (Peso total) | 0.9924 | 0.9818 |
| Log (Peso eviscerado) | 0.9804 | 0.9794 |
| Machos | Log (Longitud total) | Log (Longitud patrón) |
| Log (Peso total) | 0.9890 | 0.96946 |
| Log (Peso eviscerado) | 0.96064 | 0.94708 |





Al realizar el análisis estadístico de la relación entre el peso total (Pt) y la longitud total (Lt) para los individuos se encontraron diferencias significativas entre los sexos ANDECOVA: $F=0.32.01$; $p<0.05$ (Tabla 6). Por lo que el análisis de la relación entre el peso y la longitud se realizó por sexos separados.

Tabla 6. Análisis de covarianza para la longitud total (Lt) y el peso total (Pt) por sexos

| Fuente | Suma de C | gl | CM | F | Prob > F |
|----------|------------|-----|------------|----------|----------|
| Modelo | 88.1854611 | 3 | 29.3951537 | 13663.08 | 0.0000 |
| Sexo | .137747746 | 2 | .068873873 | 32.01 | 0.0000 |
| Log l.t. | 44.6449316 | 1 | 44.6449316 | 20751.29 | 0.0000 |
| Residuo | .787423137 | 366 | .002151429 | | |
| Total | 88.9728843 | 369 | .241118928 | | |

Número de obs = 370 R-cuadrada= 0.9911
 Raíz MSE = .046384 R-cuadrada Adj = 0.9911

Debido a que se capturaron organismos indeterminados, se realizó el análisis para determinar si existían diferencias entre las pendientes de la relación peso-longitud tanto para machos como para hembras. Se encontró que existen diferencias significativas entre las pendientes de cada sexo ($F= 33.85$; $p<0.05$), por lo que en el análisis de la relación entre el peso y la longitud se tomaron en cuenta a los organismos indeterminados por separado (Tabla 7)

Tabla 7. Análisis de varianza asumiendo pendientes iguales

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Log (Longitud Total) | 88.0477 | 1 | 88.0477 | 41274.26 | 0 |
| Pendientes | 0.144407 | 2 | 0.0722033 | 33.85 | 0 |
| Modelo | 88.1921 | 3 | | | |



El análisis de la relación entre el peso total - longitud total se realizó por sexos separados. Para las hembras se encontró una tendencia de tipo potencial (Figura 8) con crecimiento alométrico positivo (Tabla 8) ($t\text{-student}=2.6868$; $p<0.05$).

Tabla 8 Análisis de regresión logarítmica Peso total-Longitud total para las hembras de *P.bimaculatus*

| Fuente | SC | df | cm | Numero of obs = 257 | | |
|---------|------------|----------|------------|---------------------|-----------------------|-----------|
| Modelo | 78.194252 | 1 | 78.194252 | F (1,203) | = | 33205.06 |
| Residuo | .600496792 | 255 | .002354889 | Prob > F | = | 0.0000 |
| | | | | R-cuadrada | = | 0.9924 |
| | | | | R-cuadrada Adj | = | 0.9923 |
| | | | | Raiz MSE | = | .04853 |
| Log.pt | Coef. | Err.Est. | t | P> t | [Intervalo Conf. 95%] | |
| Log.lt | 3.044833 | .0167094 | 182.22 | 0.000 | 3.011927 | 3.077739 |
| cons | -1.908722 | .0112672 | -169.41 | 0.000 | -1.930911 | -1.886534 |

Los datos de la relación así como el valor de t calculada, muestran que el tipo de crecimiento para las hembras es alométrico positivo.

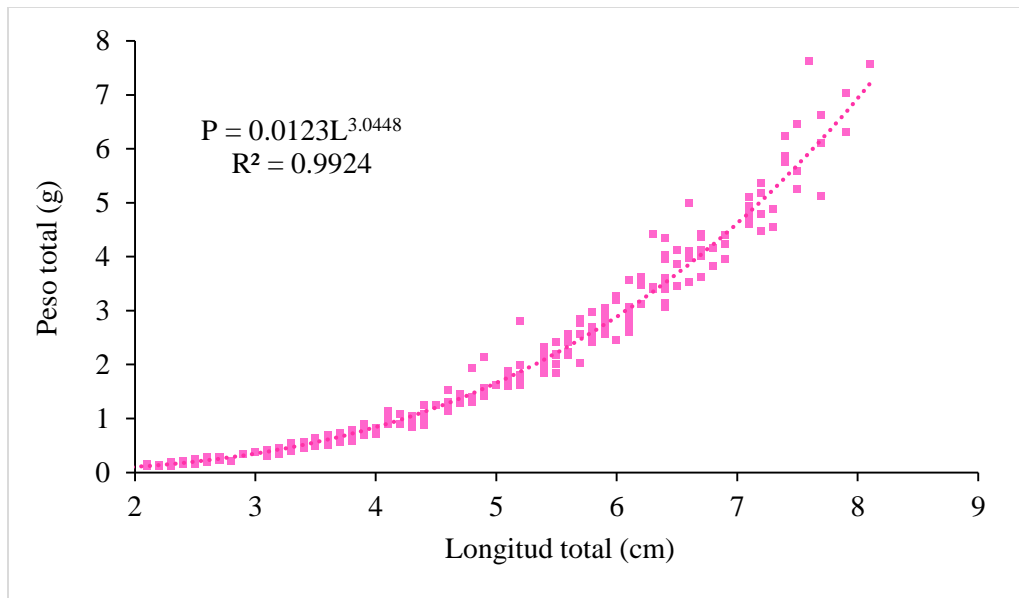


Figura 8. Relación peso total-longitud total para las hembras de *P. bimaculatus*



La relación peso total - longitud total para los machos mostró una tendencia de tipo potencial (Figura 9) con crecimiento alométrico (Tabla 9) ($t\text{-student}=3.8219$; $p<0.05$).

Tabla 9. Análisis de regresión logarítmica Peso total-Longitud total para los machos de *P. bimaculatus*

| Fuente | SC | df | cm | Numero de obs = | 167 |
|---------|------------|-----|------------|------------------|----------|
| Modelo | 33.1366531 | 1 | 33.1366531 | F(1, 112) = | 14780.69 |
| Residuo | .369911496 | 165 | .002241888 | Prob > F = | 0.0000 |
| Total | 33.5065646 | 166 | .201846775 | R-cuadrada = | 0.9890 |
| | | | | R-cuadrada Adj = | 0.9889 |
| | | | | Raiz MSE = | .04735 |

| Log.pt | Coef. | Err. Est. | t | P> t | [Intervalo Conf.95%] |
|--------|-----------|-----------|---------|-------|----------------------|
| Log.lt | 2.908724 | .0239252 | 121.58 | 0.000 | 2.861485 2.955963 |
| cons | -1.863451 | .0135172 | -137.86 | 0.000 | -1.89014 -1.836762 |

Los datos de la relación, así como el valor de t calculada muestran que el tipo de crecimiento para los machos es alométrico negativo.

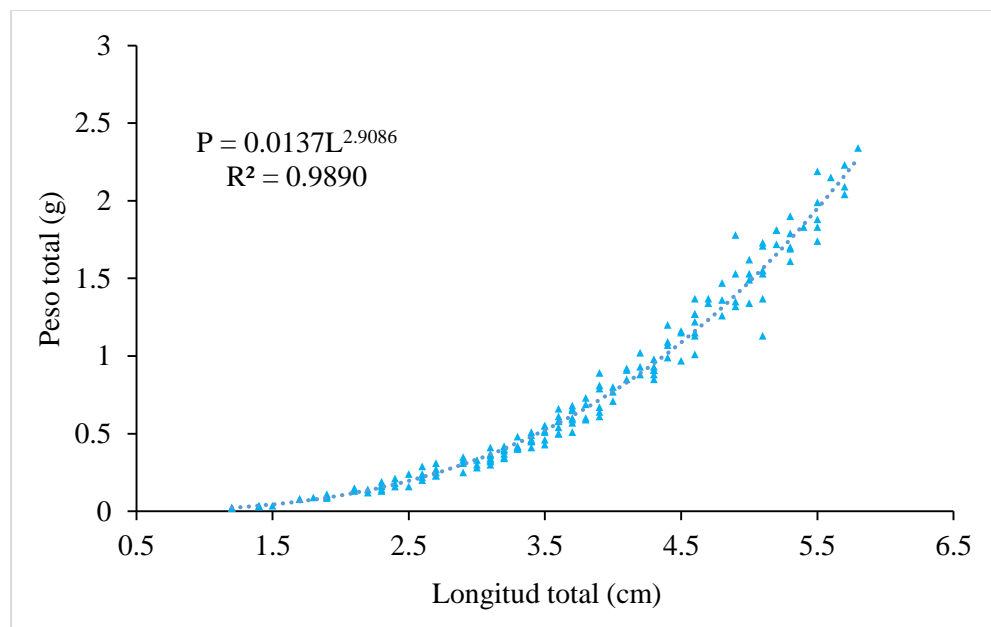


Figura 9. Relación peso total-longitud total para los machos de *P. bimaculatus*



La relación peso total - longitud total, para los individuos indeterminados mostró una tendencia de tipo potencial (Figura 10) con crecimiento alométrico negativo (Tabla 10) (t -student = 1.6551; $p < 0.05$).

Tabla 10. Análisis de regresión logarítmica Peso total-Longitud total para los individuos indeterminados de *P.bimaculatus*

| Fuente | SC | df | cm | Numero de obs = 54 | | |
|---------|------------|----|------------|--------------------|-----------|--|
| Modelo | 9.85076806 | 1 | 9.85076806 | F (1,53) | = 2917.08 | |
| Residuo | .175600519 | 52 | .003376933 | Prob > F | = 0.0000 | |
| Total | 10.0263686 | 53 | .189176766 | R-cuadrada | = 0.9825 | |
| | | | | R-cuadrada Adj | = 0.9821 | |
| | | | | Raíz MSE | = .05811 | |

| Log.pt | Coef. | Err.Est. | t | P> t | [Intervalo Conf. 95%] | |
|--------|-----------|----------|--------|-------|-----------------------|-----------|
| Log.lt | 2.909915 | .053877 | 454.01 | 0.000 | 2.801802 | 3.018028 |
| cons | -1.857339 | .022596 | -82.20 | 0.000 | -1.902681 | -1.811997 |

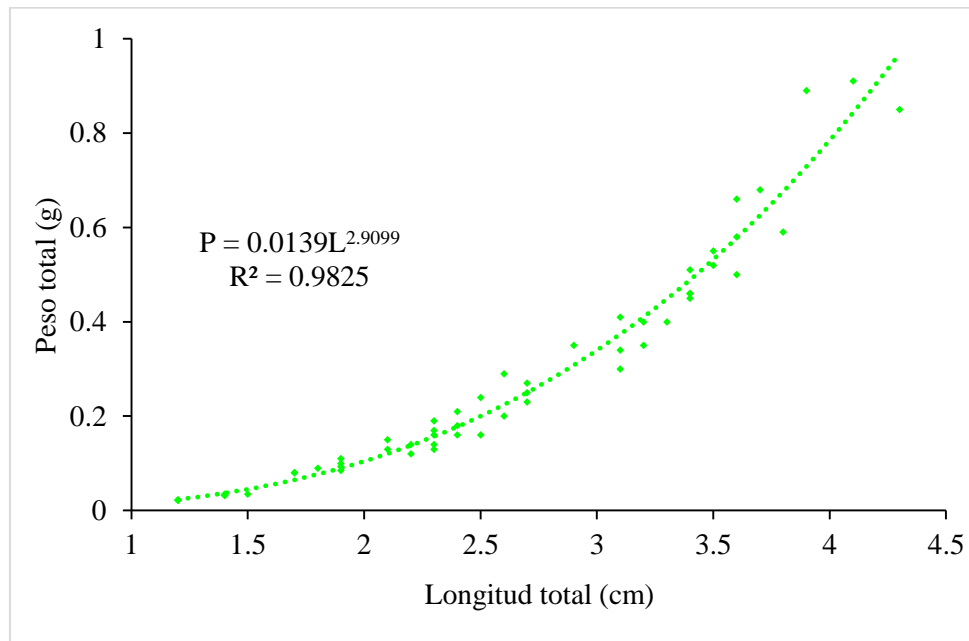


Figura 10. Relación peso total-longitud total para los individuos indeterminados de *P.bimaculatus*



La relación peso total - longitud total para la población de *P. bimaculatus* mostró una tendencia de tipo potencial (Figura 11) con crecimiento alométrico positivo (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de regresión logarítmica Peso total-Longitud total para la población de *P.bimaculatus*

| Fuente | SC | df | CM | Numero de obs = 370 | | |
|---------|------------|-----|------------|---------------------|-----------|--|
| Modelo | 88.0477134 | 1 | 88.0477134 | F(1, 372) | =35022.24 | |
| Residuo | .925170883 | 368 | .002514051 | Prob > F | = 0.0000 | |
| Total | 88.9728843 | 369 | .241118928 | R-cuadrada | = 0.9896 | |
| | | | | R-cuadrada Adj | = 0.9896 | |
| | | | | Raíz MSE | = .05104 | |

| Log.pt | Coef. | Err. Est. | t | P> t | [Intervalo Conf.95%] | |
|--------|-----------|-----------|---------|-------|----------------------|-----------|
| Log.lt | 3.051236 | .0163044 | 187.14 | 0.000 | 3.019174 | 3.083297 |
| cons | -1.925582 | .0107438 | -179.23 | 0.000 | -1.946709 | -1.904455 |

Los datos de la relación muestran que el tipo de crecimiento para la población es alométrica positiva.

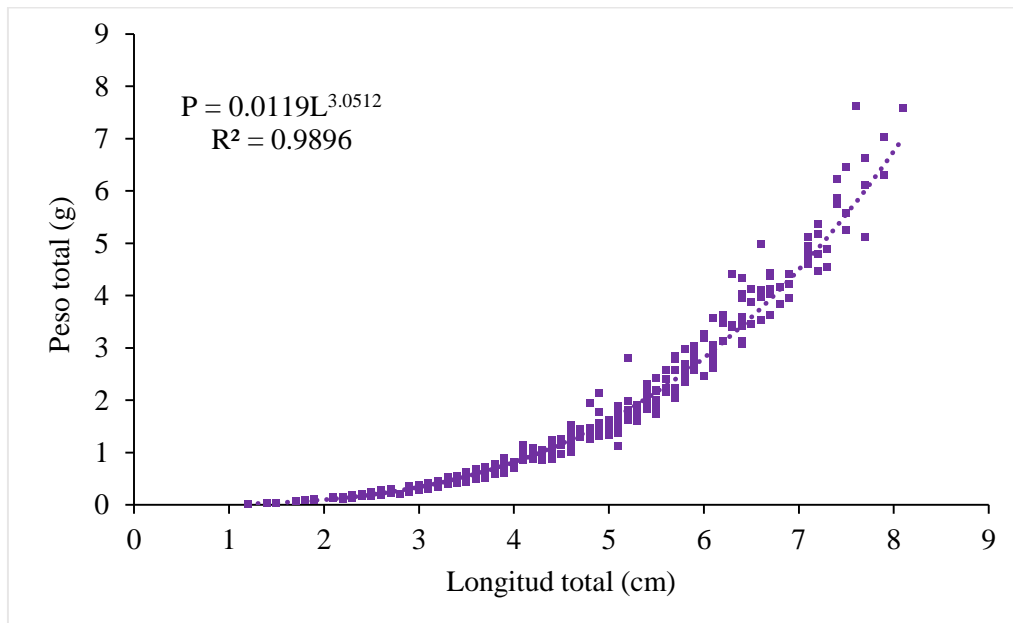


Figura 11. Relación peso total-longitud total para la población de *P. bimaculatus*



Se obtuvo el factor de Condición de Le Cren para los machos y las hembras de *P. bimaculatus*, se registró un incremento durante los meses de junio a agosto que coincide con el incremento de la temperatura, mientras que al disminuir la temperatura en los meses de octubre a enero, el factor de condición disminuye proporcionalmente. En cuanto a los machos, estos presentan un comportamiento gráfico similar, en donde el incremento del factor de condición también coincide con el incremento en la temperatura registrada (Figura 12). La tendencia de la condición fue de disminuir hacia el final del estudio con máximos durante la época de lluvias y mínimos durante la temporada de secas. Sin embargo, al asociar el factor de condición con los factores ambientales mediante una correlación de *Spearman* no se halló ninguna relación significativa. Sólo se observó una relación gráfica entre las hembras y la temperatura del agua.

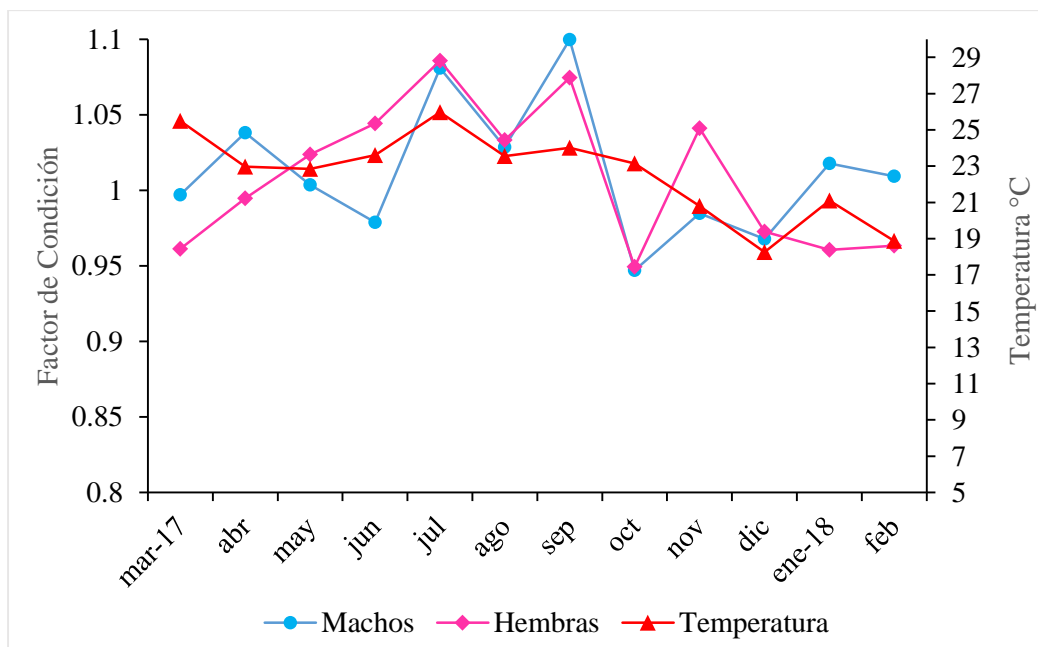


Figura 12. Relación entre la Temperatura del agua y el Factor de Condición para los machos y las hembras de *P. bimaculatus*



Adicionalmente se encontró una relación gráfica entre el factor de condición y la concentración de clorofila “a” presente en el cuerpo de agua. Al incrementar la concentración de clorofila se observó un aumento en el factor de condición de las hembras durante los meses de mayo y julio. De igual manera, al presentarse un decremento durante los meses de septiembre y octubre el factor de condición también disminuyó. Respecto a los machos los incrementos del factor de condición también coinciden con los incrementos de la concentración de clorofila “a” en el cuerpo acuático (Figura 13)

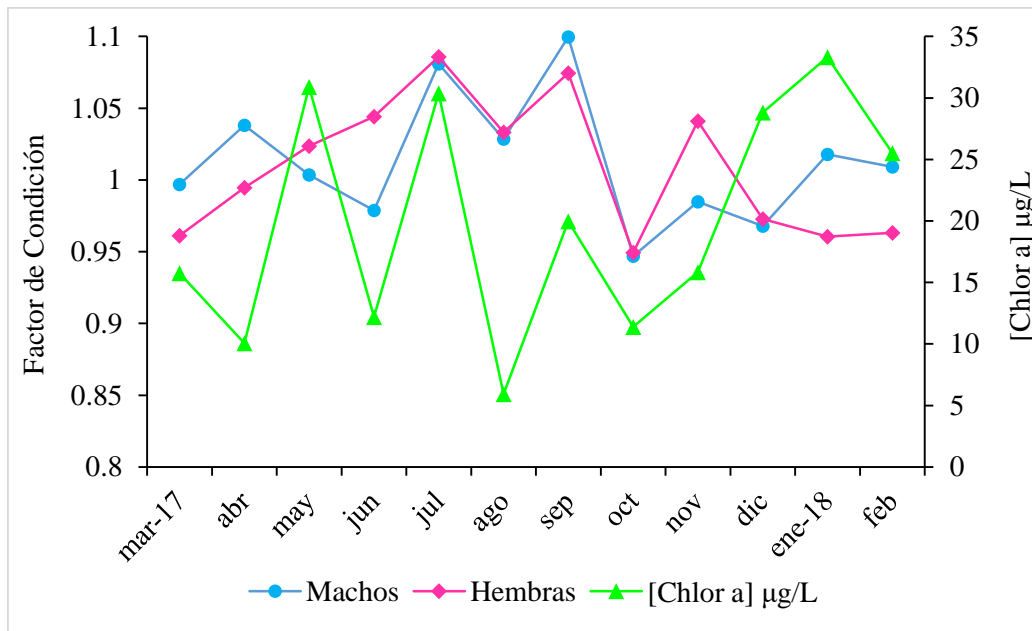


Figura 13. Relación entre la concentración de clorofila “a” y el Factor de Condición para los machos y las hembras de *P. bimaculatus*

La talla de inicio de madurez sexual o la talla a la cual el 50% de la población de hembras o machos es madura, fue obtenida con el modelo logístico mediante la variable longitud total. La talla de primera madurez sexual para las hembras de *P. bimaculatus* fue de 4.67cm (Figura 14). En los machos, la talla de primera madurez sexual fue de 3.75cm la cual fue determinada mediante la inspección de la estructura gonopodial (Figura 15).



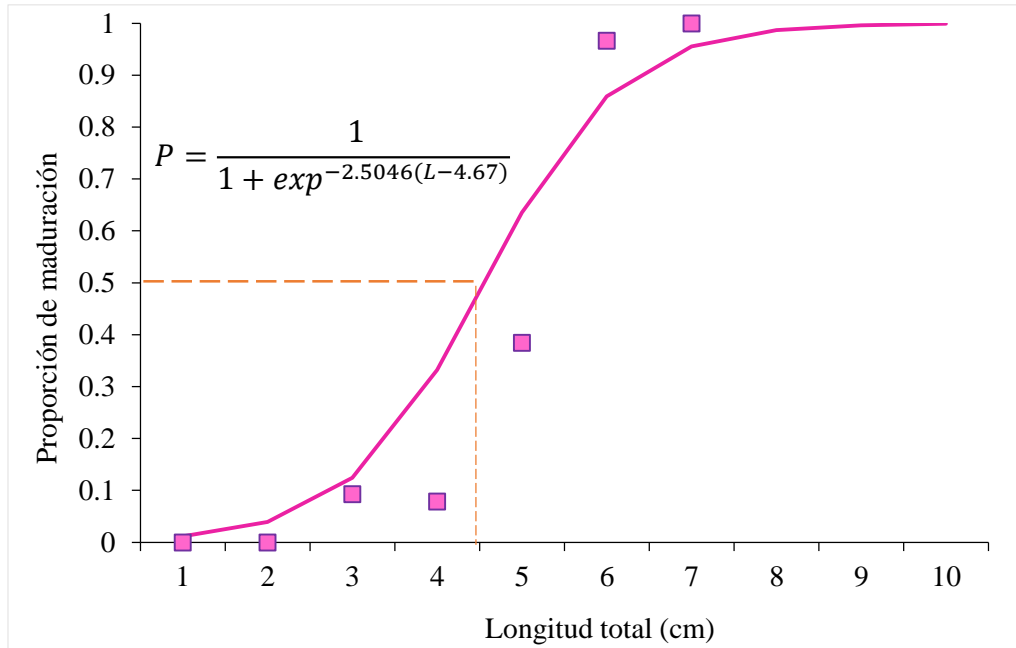


Figura 14. Talla de primera madurez sexual para las hembras de *P. bimaculatus*

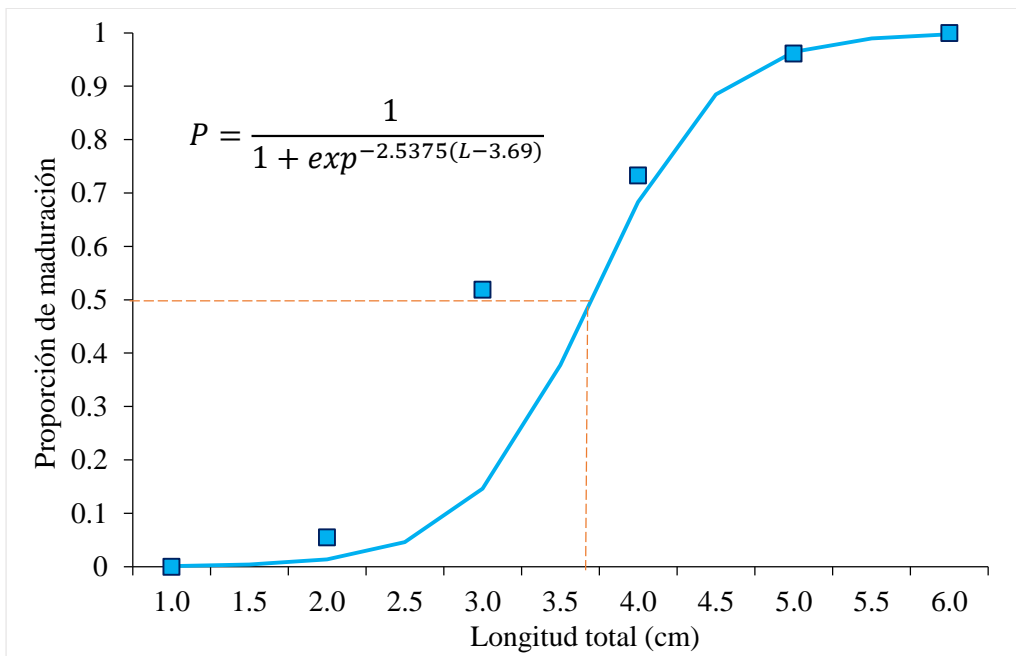


Figura 15. Talla de primera madurez sexual para los machos de *P. bimaculatus*



Con respecto a la proporción de los estadios de madurez gonádica en las hembras de *P. bimaculatus*, se identificaron todos los estadios a lo largo del muestreo. Se observó el estadio 4 en los meses de marzo a agosto al igual que el estadio 3, lo cual coincidió con la época de estiaje. Contrariamente el estadio 5, 6 y 1 obtuvieron sus máximos valores durante los meses de agosto a noviembre, lo cual coincidió con la época de lluvias. Aunque se obtuvo en menor proporción el estadio 2 estuvo presente durante todo el ciclo anual, al igual que el estadio 3, este último en mayor proporción durante el estiaje (Figura 16).

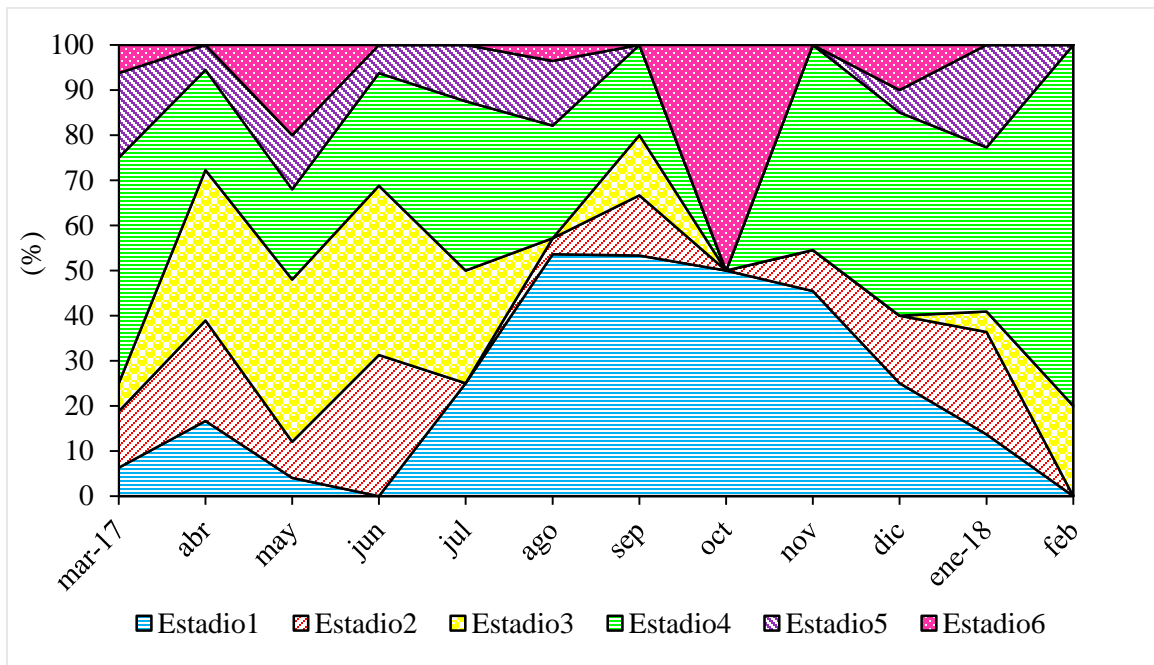


Figura 16. Variación temporal de los estadios de madurez gonádica para las hembras de *P. bimaculatus*

Para determinar la época o estación de reproducción de la especie, se utilizó la variación del índice gonadosomático (IGS) y su relación con el índice hepatosomático (IHS) (Figura 17). Los resultados muestran un comportamiento periódico entre ambos índices a través del tiempo. Adicionalmente se observa un decremento de ambos índices durante el mes de octubre, posteriormente se observa un incremento en el mes de noviembre y diciembre. Por



último se observa un decremento en el IHS durante el mes de enero y un aumento en el mes de febrero e, inversamente un aumento del IGS en el mes de enero y un decremento en el mes de febrero.



Figura 17. Variación estacional de índice Gonadosomático y Hepatosomático para las hembras de *P. bimaculatus*

De igual manera se obtuvo el índice hepatosomático (IHS) para los machos de *P. bimaculatus*, el cual al igual que el de las hembras, presentó un comportamiento periódico a través del tiempo, alcanzando sus valores máximos durante el mes de septiembre que coincidió con el valor más alto del IHS de las hembras (Figura 18). Es muy probable que la época de reproducción de la especie se presente en los meses de mayo a septiembre.



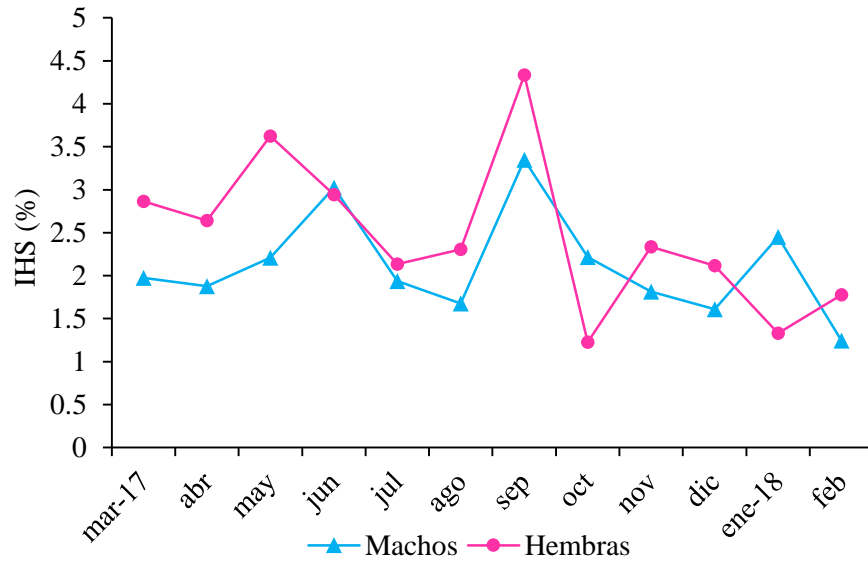


Figura 18. Variación estacional de índice Hepatosomático para los machos y las hembras de *P. bimaculatus*

Durante el periodo de estudio se obtuvo un total de 1792 ovocitos, óvulos, huevos y embriones de *P. bimaculatus* de los cuales se determinó la siguiente biometría (tabla 12)

Tabla 12: Biometría para los óvulos, huevos y embriones de *P. bimaculatus*

| Diámetro(mm) | | | |
|--------------------|--------|--------|----------|
| Estadio | Mínimo | Máximo | Promedio |
| 1 | 19 | 39 | 23.25 |
| 2 | 31 | 55 | 48.67 |
| 3 | 41 | 71 | 52.55 |
| 4 | 46 | 73 | 57.55 |
| 5 | 49 | 70 | 59.53 |
| 6 | 52 | 72 | 60.73 |
| 7 | 50 | 81 | 66.18 |
| 8 | 61 | 98 | 73.15 |
| Longitud Total(mm) | | | |
| Estadio | Mínimo | Máximo | Promedio |
| 9 | 72 | 107 | 96.37 |
| 10 | 76 | 123 | 102.35 |



Para determinar la fecundidad (potencial reproductor de la especie), se analizaron 76 hembras agrupadas en clases de talla. Se observó poca relación entre la fecundidad y la longitud total (Figura 19) ($R^2=0.3043$, $p<0.05$) al igual que con el peso total (Figura 20) ($R^2=0.2332$, $p<0.05$). Se obtuvo un promedio de 15.09 óvulos por hembra en *P. bimaculatus*

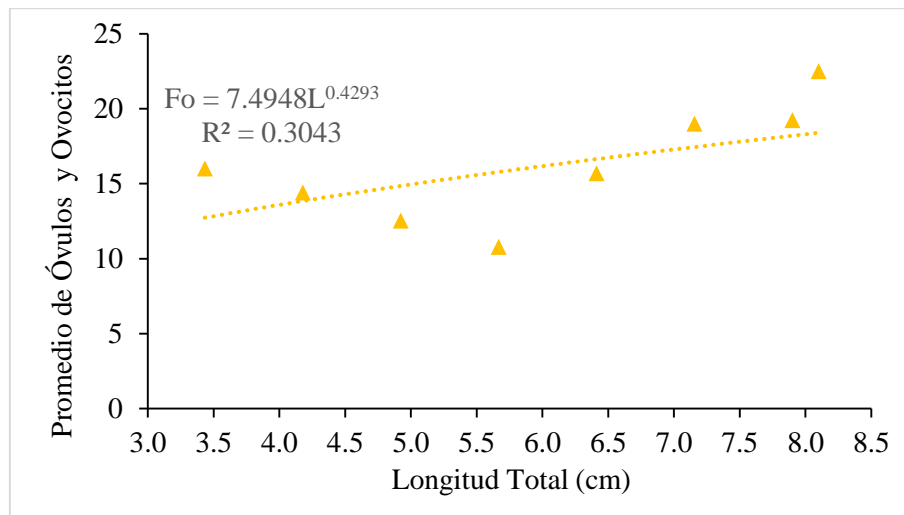


Figura 19. Relación entre la Fecundidad y Longitud total para las hembras de *P.bimaculatus*

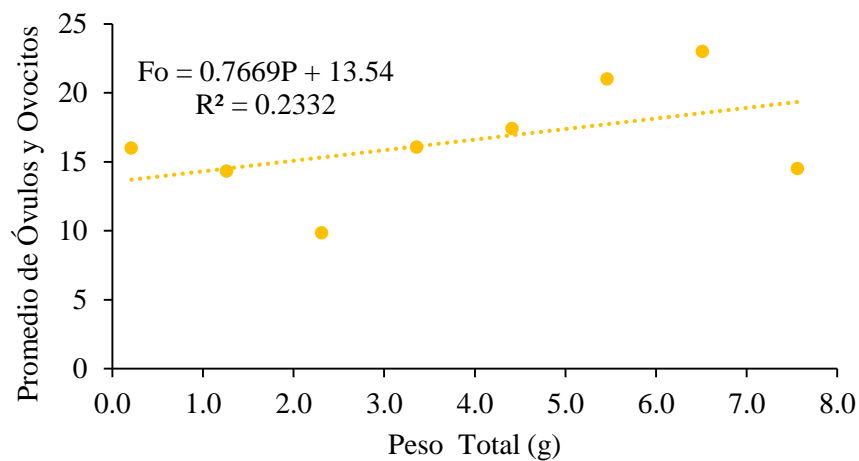


Figura 20. Relación entre la Fecundidad y Peso total para las hembras de *P.bimaculatus*



Para determinar la fertilidad de la especie, se trabajó con 79 hembras agrupadas en clases de talla. Se observó poca relación con la longitud total (Figura 21) ($R^2=0.7131$; $p<0.05$). Sin embargo, se observó una mayor asociación con el Peso total (Figura 22) ($R^2=0.9095$; $p<0.05$). Adicionalmente se obtuvo un promedio de 18 huevos o embriones por hembra en *P. bimaculatus*

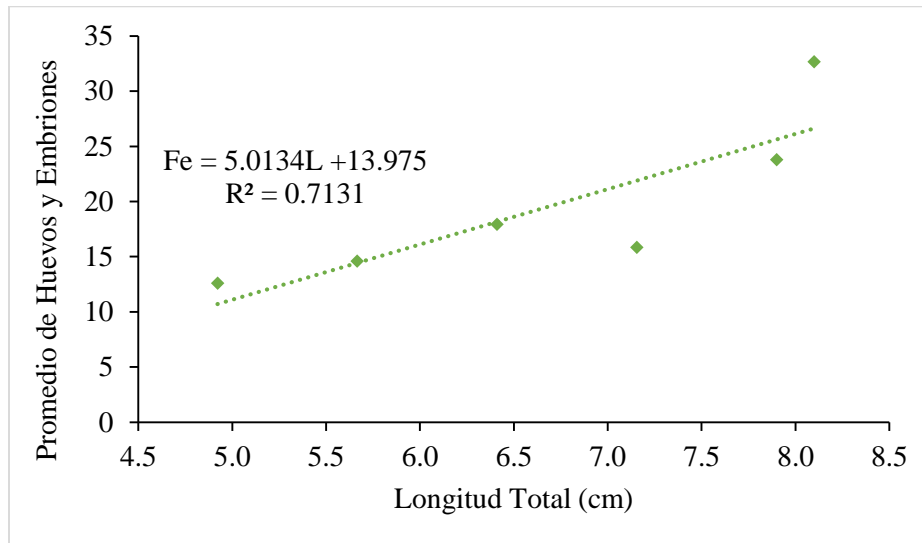


Figura 21. Relación entre la Fertilidad y la Longitud total para las hembras de *P.bimaculatus*

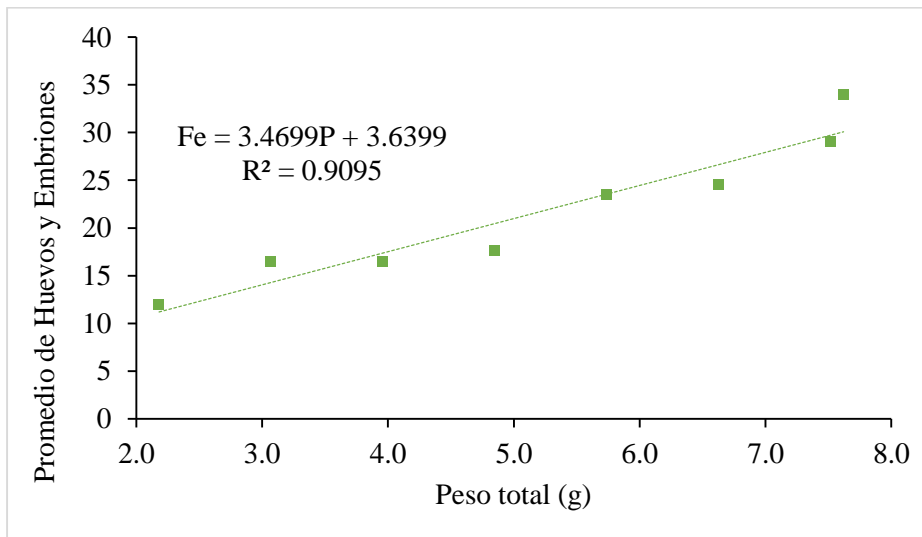


Figura 22. Relación entre la Fertilidad y Peso total para hembras de *P.bimaculatus*



Se determinó el índice de Matrotrofia (IM) al relacionar el peso seco del embrión y el estadio de desarrollo embrionario (Figura 23), los datos se ajustaron a un modelo de tipo exponencial negativo ($R^2=0.5695$; $p<0.05$). Mediante el IM se cuantificó el intercambio de nutrientes materno-embriionario para *P. bimaculatus*. Se obtuvo el cociente entre el peso predicho para el estadio correspondiente al momento en el que ocurre la fecundación (Estadio 4 =0.0049722) y el peso para el último estadio de desarrollo embrionario (Estadio 10= 0.00279511) con estos valores se obtuvo un índice de matrotrofia (IM) de 0.562142 lo cual sugiere que *P.bimaculatus* es una especie lecitotrófica.

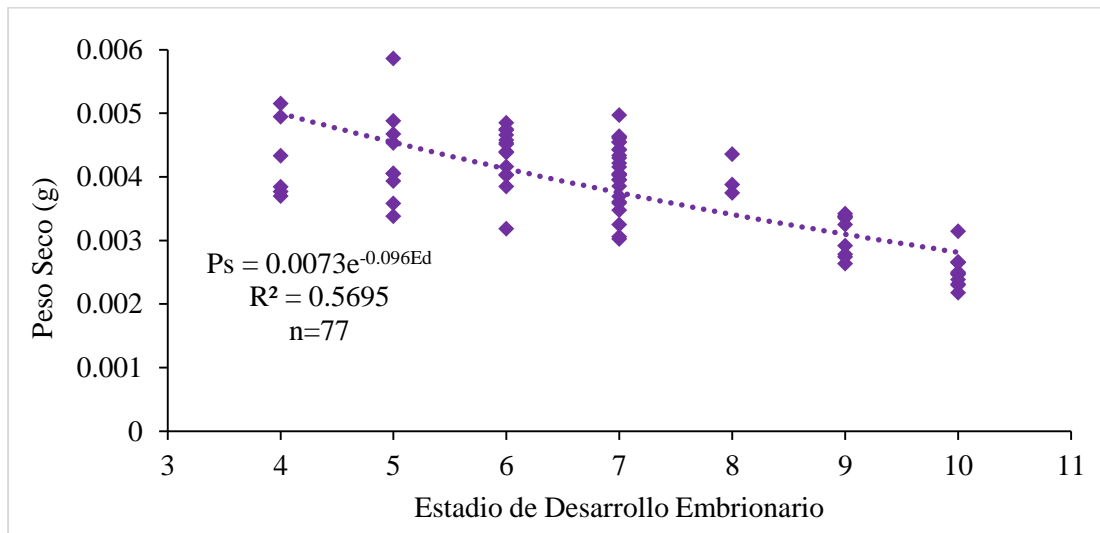


Figura 23. Relación entre el peso seco y el estadio de desarrollo embrionario de *P.bimaculatus*

Tabla 13. Análisis de regresión exponencial negativa entre el Peso seco y el estadio de desarrollo embrionario de *P. bimaculatus*

| Fuente | SC | df | CM | Numero de obs = 77 | | |
|---------|------------|----|------------|--------------------|--------|--|
| Modelo | 2.2131515 | 1 | 2.2131515 | F(1, 372) = | 99.20 | |
| Residuo | 1.67329355 | 75 | .022310581 | Prob > F = | 0.0000 | |
| Total | 3.88644504 | 76 | .051137435 | R-cuadrada = | 0.5695 | |
| | | | | R-cuadrada Adj= | 0.5637 | |
| | | | | Raiz MSE= | .14937 | |

| Log.pt | Coef. | Err. Est. | t | P> t | [Intervalo Conf.95%] | |
|--------|-----------|-----------|--------|-------|----------------------|-----------|
| Log.lt | -.0956719 | .0096058 | -9.96 | 0.000 | -.1148077 | -.0765361 |
| cons | -4.916356 | .0698457 | -70.39 | 0.000 | -5.055496 | -4.777217 |





Discusión

Factores Ambientales

El estado de Morelos tiene alrededor de 154 cuerpos de agua, de los cuales 124 sistemas son embalses naturales (lagos) y artificiales (presas), ollas, charcas que pueden ser permanentes, semipermanentes o temporales, dependiendo de la estación del año y el objetivo para el que fueron construidos (Granados-Ramírez *et al.*, 2014). El bordo Amate Amarillo, se ubica geográficamente en la zona cálida donde las temperaturas son relativamente constantes y se caracteriza por tener dos temporadas bien establecidas, época de estío y época de lluvias.

Se registró una relación inversa entre la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura de agua, comportamiento que se presenta en todos los cuerpos de agua por las características entre estas dos variables, Rivera y Hernández (2011) reportan un comportamiento similar en el bordo Amate Amarillo. Este comportamiento puede deberse a que los procesos de descomposición de la materia orgánica generan que haya menos oxígeno disponible en el sistema, además de que el oxígeno es menos soluble en el agua a temperaturas elevadas. A lo largo del tiempo se observa una disminución en la concentración de oxígeno durante la temporada de lluvias, Gómez-Márquez *et al.*, (2013) mencionan, que la entrada de material orgánico alóctono durante las lluvias, disminuye la conductividad, el pH, la alcalinidad y los sólidos disueltos totales pero, incrementa la demanda bioquímica de oxígeno por lo que la concentración de este gas en el sistema tiende a disminuir.

Se ha reportado que los Poecilidos toleran concentraciones muy bajas de oxígeno debido a su morfología, la forma de su cabeza les permite aprovechar el oxígeno que se encuentra en la superficie del agua mientras mantienen una posición de nado horizontal (Timmerman y Chapman, 2003; Ramírez-García *et al.* 2017) citan que los organismos juveniles de *P. bimaculatus* tienen preferencia a ambientes con una mayor concentración de oxígeno. Valores por debajo de 5 mg/L pueden ocasionar estrés en los organismos reduciendo su





crecimiento y reproducción. Para este estudio se obtuvo un promedio de 7.6 mg O₂/L, lo cual sugiere que el sistema presenta una buena oxigenación para el crecimiento y reproducción de la ictiofauna como lo mencionan Ayala y Vera (2007).

Gómez-Márquez *et al.* (2013), registraron altas concentraciones de oxígeno disuelto en la superficie del agua y conforme incrementa la profundidad ésta va disminuyendo, indicando que se presenta una curva de tipo clinógrada, característica de cuerpos de agua muy productivos o eutróficos.

Wheaton (1982) señala que a temperaturas de 20 a 24 °C las concentraciones de este gas oscilan entre 8 y 10 mg/L y por lo tanto, estas variaciones a lo largo de un ciclo diurno, permiten un adecuado desarrollo del crecimiento, alimentación, reproducción y resistencia a enfermedades, lo que se traduce en bajas mortalidades de los organismos acuáticos.

Respecto a la temperatura se obtuvo un valor máximo de 24.01°C y un valor mínimo de 18.25°C con promedio de 22.11°C. Gómez-Márquez *et al.* (1999), menciona que *P. bimaculatus* puede desarrollarse en temperaturas de 23 a 29°C de acuerdo al estudio realizado en El Rodeo, México. Olinger *et al.* (2016) menciona que *P. bimaculatus* puede estar presente en temperaturas inferiores de 16.5 a 25 °C según el estudio realizado en el Parque Nacional de Cusuco, Honduras. Sin embargo, Snelson (1989) menciona que la temperatura del agua adecuada para los Poecilidos es de 21 a 30°C por lo que la temperatura del bordo Amate Amarillo es la adecuada para el desarrollo y reproducción de *P. bimaculatus*.

Amoudi *et al.* (1996) mencionan que la temperatura es uno de los factores que se debe considerar en cualquier estudio limnológico, ya que esta variable influye en el comportamiento del sistema como en el de los organismos. Asimismo, tiene una participación importante en la solubilidad de los gases, en la tasa fotosintética, así como en el crecimiento y en la reproducción de las diferentes especies ícticas que se encuentran en los





cuerpos de agua. Cambios repentinos en la temperatura del agua conducen a modificaciones en el metabolismo de los peces, debido a que cuando la actividad metabólica incrementa, el pez tendrá éxito, mientras que una disminución en dicha actividad, conducirá a un decremento en la tasa de crecimiento.

El valor promedio de pH del sistema fue de 8.44 y se encontró gran relación entre el pH, Dureza Total y Alcalinidad Total. Los valores de pH registrados en el período de estudio mantuvieron una tendencia ligeramente alcalina y se considera que fueron afectados por la dinámica del microreservorio, en el cual la fotosíntesis juega un papel importante. Dichos valores se encuentran dentro del intervalo de crecimiento óptimo de los peces Arredondo y Ponce (1998), debido a que estos organismos presentan un intervalo de tolerancia entre 6.5 y 9.0, además favorece la productividad natural del sistema misma que constituye una fuente importante de alimento para los peces.

Rivera y Hernández (2011), reportan que la alcalinidad muestra relación con la dureza ya que se considera que la alcalinidad registrada es debida solo al carbonato y bicarbonato de calcio. Arredondo y Ponce (1998), mencionan que las aguas que contienen 40 mg/L o más de alcalinidad total son consideradas más productivas que las de baja alcalinidad y aunque no existe una relación directa entre la productividad y la alcalinidad, al aumentar esta última se presenta un aumento en la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes. Bajo estas condiciones, los bicarbonatos pueden ser utilizados como una fuente principal en los procesos de la fotosíntesis. Sin embargo, se ha observado que en lagos con baja solubilidad de CO₂ y con altas concentraciones de carbonato de calcio en la cubeta y en la cuenca de captación, la productividad es baja (Wetzel, 2001).

El agua de este sistema tiene una dureza que oscila desde dura en los meses de dilución (época de lluvias) hasta muy dura en los meses de concentración (época de secas). Los valores son elevados debido a que influye el factor geológico de la zona y la composición de





carbonato de calcio en los suelos de la entidad. Aunque el agua del sistema es dura, esta permite el crecimiento de los organismos con estructuras duras, al no existir limitación por la cantidad de CaCO_3 (Palomo, 2016). Ramírez-García *et al.* (2017) mencionan que los organismos sexualmente maduros de *P. bimaculatus* muestran preferencia hacia el agua con mayor alcalinidad y sólidos disueltos.

En el cuerpo de agua en estudio, se observó gran cantidad de material en suspensión, que aunado a la comunidad planctónica, es posible que hayan limitado el paso de energía luminosa hacia el fondo del sistema, lo cual se ve reflejado en los valores de transparencia o visibilidad al disco de Secchi ya que se mantuvieron relativamente constantes observando variaciones en los meses en que el sistema disminuía su profundidad. Al tener menos volumen de agua en el bordo, se incrementa la concentración de materia particulada suspendida. Asimismo se observó que la visibilidad, profundidad y la cantidad de clorofila “a” están estrechamente relacionadas. De igual manera Rivera y Hernández (2011) reportaron una relación de forma inversa debido a la abundancia del fitoplancton presente en el sistema, lo cual afectó la transparencia del bordo.

Torres-Orozco y García-Calderón (1995) mencionan que la concentración de la alcalinidad tiene un valor equivalente al de la conductividad y de las variaciones de los sólidos disueltos. Estos tres parámetros que presentan una correlación significativa, son una medida de la llamada componente edáfica de los ecosistemas acuáticos, la cual es una de las determinantes de la productividad de los sistemas acuáticos.

La construcción de embalses nuevos para el suministro de agua potable y otras actividades agrícolas, aunado al aumento de asentamientos humanos en sus cuencas de drenaje, han resultado en un amplio espectro de problemas, con el consecuente incremento acelerado en la entrada de nutrientes (González *et al.*, 2003). La disponibilidad de los nutrimentos en cualquier sistema acuático, está en función del tipo de sedimento presente, de la concentración de los nutrimentos, así como de interferencias que se presentan cuando se toma





del medio. La concentración de los nutrimentos dependerá del aporte que se realiza por parte de la cuenca, la precipitación, el tiempo de retención del agua, la latitud, la altitud, la profundidad, presencia de vientos y otros elementos que afectan su disponibilidad.

Si se emplea el criterio del índice del estado trófico de Carlson, (1977) modificado por Carlson y Simpson (1996), el cual está basado en la concentración de fósforo total, la cantidad de clorofilas y la profundidad del disco de Secchi, el lago se clasificó dentro de un estado hipereutrófico por encontrarse dentro del intervalo de 70 a 100.

Factor de Condición e índices reproductivos en Pseudoxiphophorus bimaculatus

La captura en la que se obtuvo mayor número de individuos de *Pseudoxiphophorus bimaculatus* fue en el mes de Mayo, mientras que la menor captura se registró en el mes de Octubre del 2017. Gómez-Márquez *et al.* (1999) mencionan que el tamaño de muestra puede estar influenciado por la época reproductiva de la especie así como al arte de pesca. Sin embargo, el bordo Amate Amarillo al servir como reservorio de agua para la población principalmente en actividades agrícolas, presentó gran variación de la profundidad especialmente durante los meses de Septiembre y Octubre, en los cuales el sistema se llenó al doble de la profundidad registrada para los meses anteriores. Debido a esto el esfuerzo pesquero para la captura de los individuos incrementó de manera significativa ya que, al realizar los redeos sobre la línea de costa, los organismos se protegían en las áreas pedregosas y de alta densidad vegetal dificultando aún más su captura.

Respecto a la longitud total máxima registrada en este estudio, para las hembras fue de 8.1 cm y para los machos de 5.8cm. Miller *et al.* (2005) reportan que el tamaño máximo para *P. bimaculatus* es de 6 a 7 cm. Gómez-Márquez *et al.* (1999) mencionan que *P. bimaculatus* puede alcanzar tallas de longitud patrón de 6.9 cm para hembras y 6.0 cm para los machos. Ramírez-García *et al.* (2017) reporta una talla máxima de 7.60 cm para las hembras y de 4.93 cm para los machos. Longitudes superiores fueron reportadas por Olinger *et al.* (2016) 9.1cm





para las hembras y 6.3cm para los machos. La diferencia entre la talla de los individuos puede deberse a factores como la alimentación, depredación, competencia, área de captura, abertura de luz de malla, así como a factores ambientales del cuerpo acuático como transparencia, temperatura del agua, oxígeno disuelto, disponibilidad de alimento y del tipo de sistema acuático que se estudia, lótico o léntico.

Durante el periodo de estudio se pudo observar que *P. bimaculatus* es una especie dimórfica, con diferencias sexuales secundarias bien marcadas, característica que comparte con todos los integrantes de la familia Poeciliidae. Para determinar el sexo de los individuos se inspeccionó la estructura gonopodial la cual es la modificación de los radios de la aleta anal de los machos, formando una estructura especializada cuya función es transferir los paquetes espermáticos a la hembra, logrando así la fecundación (Rosen y Tucker, 1961). Se encontró que las hembras presentan una mayor talla respecto a los machos que tienden a ser de menor tamaño. Farr (1989) menciona que las diferencias en el tamaño de la familia Poeciliidae pueden ser explicadas en términos de que las hembras toman más tiempo para madurar y continúan creciendo a lo largo de su vida, en cambio los machos maduran rápidamente hasta formar la estructura gonopodial y una vez que el gonopodio ha sido desarrollado, los machos presentan tasas de crecimiento más bajas, ya que destinan su energía a la reproducción (Rosen y Tucker, 1961).

Del total de organismos capturados la mayor cantidad correspondió a las hembras. La variación mensual de dicha proporción mostró que las hembras dominaron durante el periodo de muestreo excepto en el mes de Octubre y Febrero y la mayor cantidad de hembras fue registrada durante el mes de Agosto.

La proporción sexual en especies de la familia Poeciliidae dentro de la cuenca del río Cuautla generalmente está sesgada a favor de las hembras (Contreras-Mac-Beath y Ramírez-Espinoza, 1996). La proporción sexual hembra: macho de *P. bimaculatus* en el bordo Amate Amarillo fue de 1.8:1 ($\chi^2=24.5994$; $p<0.05$). Gómez-Márquez *et al.* (1999) reporta una





proporción sexual de 1.7:1 en el Vaso El Rodeo, Morelos. Ramírez-García *et al.* (2017) reportan una proporción sexual de 1.9:1 en el Río Tecuchitlán, Jalisco. Sin embargo, Olinger *et al.* (2016) reporta una proporción sexual 1.1:1 en el Parque Nacional de Cusuco, Honduras. Snelson (1989) menciona que las poblaciones de muchos poecílidos están sesgadas en favor de las hembras debido a que existe una diferencia en la mortalidad entre los sexos, ya que las hembras tienen altas tasas de sobrevivencia debido a su gran tamaño, peso y color menos vistoso que el de los machos. Magurran y Nowak (1991) mencionan que los machos de la familia Poeciliidae presentan un comportamiento de hostigamiento hacia las hembras para lograr la cópula, esta diferencia de comportamiento entre machos y hembras así como la variación en el tamaño, generan que un sexo sea más vulnerable a ser depredado o capturado. Molina-Moctezuma *et al.* (2013) mencionan que el aumento en el apareamiento, genera una coloración más brillante por parte de los machos, lo cual atrae más a los depredadores. Clint y Godín (2001) analizaron la competitividad entre machos de la familia Poeciliidae encontrando que en presencia de depredadores, los machos evitan la competencia directa, a cambio maximizan sus oportunidades de cópula a través de apareamientos furtivos que potencialmente se vuelven más eficientes a medida que aumenta el riesgo de depredación. En el bordo Amate Amarillo la alta tasa de mortalidad en los machos de *P. bimaculatus*, puede deberse a la depredación durante las actividades como el cortejo, así como por el arte de pesca. La variación mensual en la proporción sexual es reflejo de la dinámica natural de la población dentro del sistema acuático.

Respecto a la talla de primera madurez, se encontró que durante el periodo de estudio *P. bimaculatus* inicia su etapa reproductora a los 4.67 cm de longitud total en las hembras y a los 3.69 cm de longitud total en los machos. Sin embargo, se han registrado tallas de primera madurez más pequeñas para la familia poeciliidae por Sánchez y Sastré (2004) y por Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996). Al respecto Gómez-Márquez *et al.* (1999) registraron una talla de primera madurez de 2.2 cm de longitud patrón para los machos y 2.7





cm de longitud patrón para las hembras. Ramírez-García *et al.* (2017) reportan tallas más pequeñas de 2.48 cm para los machos y 2.52 cm para las hembras, mientras que Olinger *et al.* (2016) señalan tallas de 2.7 cm de longitud patrón para los machos y de 4.0 cm de longitud patrón para las hembras, menores a las reportadas en el presente estudio. Sin embargo, en este estudio se tomó en cuenta la longitud total a diferencia de otros estudios, a pesar de ello se observó que los machos alcanzan la madurez sexual a una menor talla en comparación a las hembras. Montag *et al.* (2011) mencionan que las hembras destinan mayor energía al crecimiento, mientras que los machos destinan mayor energía al desarrollo del gonopodio, como ocurre en muchos de los miembros de familia Poeciliidae. Gómez-Márquez *et al.* (1999) citan que los machos son precoces en comparación de las hembras, ya que estas tienen un largo periodo de crecimiento antes de la maduración y altas tasas de crecimiento como es señalado por Snelson (1989). La talla de primera madurez sexual puede verse influenciada por factores como depredación, alimentación, zona de captura, edad, abundancia y disponibilidad de alimento, temperatura del agua, así como por la apertura de luz de malla ya que al reducirla, se podrían obtener individuos de tallas más pequeñas que pudieran presentar madurez sexual.

La relación entre la longitud total y el peso total fue de tipo potencial, con un crecimiento alométrico positivo para las hembras ($b= 3.044$) y alométrico negativo para los machos ($b=2.908$). Esto implica que los peces realizan un mayor crecimiento en longitud que en biomasa en las primeras etapas de crecimiento, para evitar ser depredados, posteriormente crecen predominantemente en peso que en longitud con el fin de la reproducción. Se ha registrado que las especies de la familia Poeciliidae presentan un crecimiento alométrico positivo (Ayala y Vera, 2007) (Sánchez y Sastré, 2004). Contrariamente Guzmán y Olvera (1996) al igual que Olinger *et al.* (2016) reportan un valor de pendiente menor de 3 para ambos sexos, considerándolos como organismos con crecimiento de tipo alométrico negativo. Tesch (1968) menciona que el tipo de crecimiento alométrico positivo indica un mayor crecimiento en el peso que en la longitud, este crecimiento lo presentan las hembras





ya que estas alcanzan tallas más grandes que los machos. En especies de peces vivíparos las hembras presentan un mayor tamaño, en el cual la fertilidad está directamente relacionada con el tamaño del organismo. Montag *et al.* (2011) menciona que las hembras destinan mayor energía al desarrollo de la gónada, por lo cual necesita alcanzar un mayor tamaño, contrariamente los machos destinan mayor energía al cortejo y al mantenimiento de los caracteres sexuales secundarios lo cual podría explicar el crecimiento alométrico negativo en los machos.

Con base en la variación de los estadios gonádicos durante el año, el índice gonadosomático obtenido para las hembras, al comportamiento del factor de condición para ambos sexos asociado a las condiciones ambientales y la presencia de embriones en las gónadas desarrollados, se detectó que el máximo período de reproducción se realiza en el verano durante la temporada de lluvias cuando la temperatura y la concentración de clorofila “a” alcanzan sus valores más altos, en donde el cuerpo acuático aumenta el doble su profundidad. Se ha registrado que diversas especies de Poecílidos presentan una época reproductiva en la estación lluviosa (Guzmán y Olvera, 1996) (Ayala y Vera, 2007) (Sánchez y Sastré, 2004) (Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza, 1996). Endler (1987) menciona que la intensidad de la luz tiene un efecto significativo en el comportamiento de los machos, en donde el cortejo ocurre durante las primeras horas del día y es relativamente más bajo a medio día o en condiciones de intensa luminosidad. Rosen & Bailey (1963) mencionan que en las zonas templadas y subtropicales el ciclo reproductivo de los Poecílidos comienza durante la primavera disminuyendo al final del verano y comienzos del otoño para terminar durante el invierno, característica que es atribuida a fluctuaciones en el fotoperiodo y a la temperatura. Greven (2011) menciona que las especies de Poecílidos que habitan en zonas tropicales presentan un corto y continuo ciclo reproductivo ya que la fertilización ocurre generalmente poco tiempo después de parto. Contrariamente, las especies que habitan regiones subtropicales, presentan una variación estacional en el ciclo reproductivo.





Con respecto a la fecundidad, la cual representa el potencial reproductivo de la especie, se encontró un valor promedio de 15.09 óvulos por hembra. Al relacionar esta variable con la longitud total se encontró una baja relación ($R^2=0.3043$, $p<0.05$) al igual que con el peso total ($R^2=0.0817$, $p<0.05$). Se ha registrado que los poecilidos al ser peces vivíparos no presentan relación entre la fecundidad y longitud o el peso (Ayala y Vera, 2007) (Sánchez y Sastré, 2004). Contreras-MacBeath y Ramírez-Espinoza (1996) mencionan que el tamaño corporal no necesariamente tiene relación con el número de embriones en especies no superfetantes, ya que las hembras maduran sexualmente a tallas pequeñas y continuamente se encuentran liberando embriones y reabsorbiendo óvulos no fecundados; aunado al estado de reposo, estas características las presentan también las hembras de mayor tamaño y por consiguiente es difícil establecer una relación. Respecto al número de óvulos por hembra Mata (2007) reporta para términos de fecundidad un promedio de 37 elementos por hembra, por lo que el registro para este estudio fue mucho menor.

Para el análisis de fertilidad se consideró el número de embriones más el número de huevos (Cabrera y Solano, 1995). Los resultados obtenidos muestran un promedio de 17.84 huevos o embriones por hembra. Mata (2007) reporta un promedio de 16 embriones por hembra, Ramírez-García *et al.* (2017) registra un valor máximo de 18.98 embriones. Reza-Ureta y Díaz-Pardo (1994) reportan un promedio de 23 embriones, y Shmitter-Soto (1998) reporta hasta 100 embriones. Esta variabilidad en el número de embriones puede deberse a las condiciones ambientales y al grado de eutrofización del cuerpo de agua.

Al relacionar la fertilidad con la longitud total no se encontró relación significativa ($R^2=0.7604$; $p<0.05$). Sin embargo Olinger *et al.* (2016) mencionan que existe una mayor relación entre la longitud total y el número de embriones. Al relacionar la fertilidad con el peso total se encontró una mayor relación ($R^2=0.9098$; $p<0.05$), por lo tanto existe un grado de asociación más alto entre la fertilidad y el peso. Gómez-Márquez *et al.* (1999) mencionan





que conforme se incrementa la talla del individuo se presenta un aumento en el número de embriones, así; el mayor tamaño de las hembras permite un mayor número de embriones.

Al analizar las gónadas de las hembras de *P. bimaculatus* y los estadios de desarrollo embrionario se clasificó como un organismo no superfetante, es decir al momento de la fecundación todos los óvulos son fertilizados y su desarrollo es simultáneo, a diferencia de los superfetantes en los que no todos los óvulos son fertilizados simultáneamente, derivando en varios estadios de desarrollo embrionario dentro de la misma hembra (Greven, 2011).

Para cuantificar la cantidad de vitelo abastecido por la madre se utilizó el índice de matrotrofia (IM) (Reznick *et al.*, 2002). Al realizar el análisis de regresión entre el peso seco y los estadios de desarrollo embrionario se obtuvo un modelo de tipo exponencial negativo ($R=0.5695$; $p<0.05$) con un valor de IM de 0.5621 por lo cual se clasifica a *P. bimaculatus* como una especie lecitotrofica. Reznick (2007) menciona que embriones de tipo lecitotróficos pierden masa durante su desarrollo y por lo tanto el índice de matrotrofia es menor a 1, siguiendo un patrón que se ajusta a una recta con una pendiente negativa, a diferencia de los matrotrofos los cuales presentan aprovisionamiento de nutrientes después de la fertilización y son descritos por una curva de tipo exponencial.

Marsh-Matthews (2011), señala que en las especies de Poecílidos que se consideran lecitotróficas, el desarrollo del embrión depende totalmente del vitelo. En estas especies la masa del embrión disminuye significativamente durante la gestación. Reznick *et al.* (2002), (2006) y Molina (2014) mencionan que valores del índice de matrotrofia entre 0.6 a 0.8 indican que la especie no presenta aprovisionamiento de nutrientes por parte de la hembra, por lo tanto el desarrollo embrionario depende solo de la cantidad de vitelo presente en el huevo. Adicionalmente Reznick (2007) y Marsh-Matthews (2011), mencionan que valores de IM menores a 1 se clasifican como especies lecitotróficas, mientras que valores de IM





mayores a 1 se clasifican como especies matrotróficas. Olivera-Tlahuel (2017), reporta un índice de matrotrofia de 0.65 y clasifica a *P. bimaculatus* como una especie lecitotrófica no superfetante al igual que Reznick *et al.* (1989). A pesar de que en este estudio se obtuvo un valor de IM menor, el número de embriones fue mayor, por lo que el resultado obtenido tiene un menor grado de incertidumbre.

La cuantificación del aprovisionamiento materno en peces vivíparos puede estar influenciada por los factores ambientales, la variación espacio-temporal, así como los métodos para cuantificar la matrotrofia (Marsh-Matthews, 2011)





Conclusiones

Pseudoxiphophorus bimaculatus es una especie con diferencias sexuales bien definidas. Se estimó una proporción sexual a lo largo del estudio de 1.8:1 a favor de las hembras

Al determinar la relación entre la longitud total y el peso total, se obtuvo un crecimiento alométrico positivo para las hembras ($b= 3.044$) y alométrico negativo para los machos ($b=2.908$).

Los estadios de maduración gonádica sugieren que la especie se ha reproducido continuamente durante el periodo de estudio, incrementando su reproducción durante la época de lluvias.

El factor de condición sugiere que existe una relación con el pico reproductivo del índice gonadosomático durante la época de secas al igual que el índice hepatosomático

En cuanto a fecundidad y fertilidad no se encontró una relación entre el tamaño del cuerpo y el número de crías, sin embargo existe mayor relación entre el peso de las hembras y el número de crías

Al analizar las gónadas de las hembras de *P. bimaculatus* y los estadios de desarrollo embrionario se clasificó como un organismo no superfetante

Los datos de la regresión entre el peso seco y el estadio de desarrollo embrionario se ajustaron a un modelo exponencial negativo, con un valor de IM considerado para especies lecitotróficas





Referencias

Agorreta, A., Domínguez-Domínguez, O., Reina, R.G., Miranda, R., Bermingham, E., Doadrio, I. (2013). Phylogenetic relationships and biogeography of *Pseudoxiphophorus* (Teleostei: Poeciliidae) based on mitochondrial and nuclear genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 66 (1), 80-90.

Amoudi, A. M., El-Sayed, A-F.M., El-Ghobashy, A. (1996). Effects of thermal and thermohaline shocks on survival and osmotic concentration of the tilapias *Oreochromis mossambicus* and *Oreochromis aureus* x *Oreochromis niloticus* hybrids. *Journal of the World Aquaculture Society* 27, 456-461

Arredondo, F.J.L. y J.T.P. Ponce (1998). *Calidad del agua en acuicultura: Conceptos y aplicaciones*. Distrito Federal, México: AGT Editor. S. A. 222 p.

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. México. 58 p.

Bardach, E.J. (1997). *The role of biotechnology in sustainable aquaculture*. New York, USA: Wiley Editorial. 251 p.

Burr, M.B. y Warren, L.M. (2014). *Freshwater fishes of North America: volume 1: Petromyzontidae to catostomidae*, Baltimore, USA: Johns Hopkins University Press. 664 p

Cabrera, J. y Solano, Y. (1995). Fertilidad y fecundidad en *Poeciliopsis turrubarensis* (Pisces:Poeciliidae). *Revista de Biología Tropical*. 43 (1-3), 317-320.

Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22, 361-369.

Carlson, R.E. y Simpson, J. (1996). *A coordinator's guide volunteer lake monitoring methods*. Wisconsin, USA: North American Lake Management Society. 96 p.

Clint, D.K. y Godín, J.J.G. (2001) Predation risk reduces male-male sexual competition in the Trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*) *Behavioral Ecology and Sociobiology* 51. 95-100

Conover, D.O y Kynard, B.E. (1981). Environmental sex determination: interaction between temperature and genotype in a fish. *Science* 213 (4507). 577-579. DOI: 10.1126/science.213.4507.577





Contreras-MacBeath. T. y Ramírez-Espinoza. H. (1996). Some aspects of the reproductive strategy of *Poeciliopsis gracilis* (Osteichthyes: Poeciliidae) in the Cuautla River, Morelos, México, *Journal of Freshwater Ecology*, 11 (9), 327-337.

Contreras-MacBeath. T., Jaramillo-Monroy, F. y Boyás-Delgado, J. (2006). *La diversidad biológica en Morelos Estudio del estado*. Cuernavaca Morelos, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 156 p.

Daniel, W.W. (1997). *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Distrito Federal, México: Limusa. 915p.

De la Vega, S. Y.M. (2003). Situación de los peces dulceacuícolas en México. *Ciencias* 72, 20-30.

Endler, J.A. (1987). Predation, light intensity and courtship behaviour in *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae), *Animal Behaviour* 35 (4787), 1376-1385

Eschmeyer, W.N. (1998). *Catalog of fishes, vol.3*. San Francisco, USA: California Academy of Sciences. 295 p.

Espinoza-Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Suppl.*, 85, 450-459. DOI: 10.7550/rmb.32264

Farr, A.J. 1989. *Sexual Selection and Secondary Sexual Differentiation in Poeciliids: Determinants of Male Mating Success and the Evolution of Female Choice*, p. 91-123. In: Meffe, G.K. & F.F. Snelson Jr. (eds). *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey.

Fitzpatrick, S.M., Pererira, B.C. y Schreck, B.C. (1993). In vitro steroid secretion during early development of monosex rainbow trout: sex differences, onset of pituitary control and effects of a dietary steroid treatment. *General and Comparative of Endocrinology*, 91 (2), 199-215.

Francis, R.C. (1992). Sexual hability in teleost: developmental factors. *The Quarterly Review Biology* 67 (1), 1-18.

Frías-Álvares, L.P. (2015). Factores que promueven y mantienen la variación en la superfetación de peces vivíparos de la familia Poeciliidae en México. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología, México. 123 p.

Frías-Álvarez, L.P., Macías-García, C., Vázquez-Vega, L.F. Y Zúñiga-Vega, J.J. (2014). Spatial and temporal variation in superfoetation and related life history traits of two





viviparous fishes: *Poeciliopsis gracilis* and *P. infans*. *The Science of Nature*, 101 (12).1085-1098. DOI: 10.1007/s00114-014-1247-2

Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22. 241-253.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*". Distrito Federal, México: UNAM Serie Libros. 92 p.

García, M.L.E. (2003). *Revisión taxonómica del género Heterandria usando morfometría geométrica*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México. 103 p.

Gaspar-Dillanes, M.T. (1987). Nuevo registro de *Heterandria (Pseudoxiphophorus) bimaculata* (Heckel, 1848) en la vertiente del Pacífico Mexicano. (Pisces: Poeciliidae). *Anales. Inst. Biol. UNAM, Ser. Zool.* (2), 933-938.

Gómez-Márquez, J.L., Blancas-Arrollo, G.A., Constanzo, C.E., Cervantes-Sandoval, A. (2014) *Análisis de la calidad de aguas naturales y residuales con aplicación a la microescala*. UNAM, FES Zaragoza. México. 203p.

Gómez-Márquez, J.L., Cervantes-Sandoval, A., Salgado-Ugarte, I.H., Peña-Mendoza, B., Alejo-Plata, .M.C., Guzmán-Santiago, J.L., Mendoza-Vallejo, E. y Machuca-Rodríguez, C. (2016). *Temas Selectos de Biología Pesquera*. UNAM, FES Zaragoza. México. 337 p.

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

Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I.H. y Guzmán-Arroyo. (2003). Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Coatetelco lake, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*, 51 (1), 221-228.

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 México. *Revista de Biología Tropical*. 56 (4), 1801-1812.

Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Guzmán-Santiago, J.L. y Gallardo-Pineda, V. (2013) Zooplankton composition, abundance and water quality in a microreservoir at Morelos State. *Revista Hidrobiológica*. 23 (2), 227-240





González, E. J., Ortaz, M., Peñaherrera, C., Montes, E., Matos, M. L. y Mendoza, J. (2003). Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica* 22(1-2): 15-35.

González, H. J.J. (2005). El histograma con la Ti-92: optimización de clases. *Números*, 61, 67-72.

Granado, L. C. (2002). *Ecología de Peces*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. 294 p.

Granados-Ramírez, J.G., Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Martínez-Alanís, M. (2014). *Inventarios de cuerpos de agua del estado de Morelos*. Morelos, México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos y AGT Editor, S.A. México. 355 p.

Greven, H. (2011). Gonads, genitals, and reproductive biology. En: Evans, J.P., Pilastro, A., Schñupp, I. (eds). *Ecology and evolution of Poeciliid fishes*. (3-17 p). Chicago, United States of America: University of Chicago Press.

Guzmán, S.J.L. y Olvera, S.A.J. (1996). *Contribución al estudio de la biología del pez ornamental "Guppy" (Heterandria bimaculata) y su relación con algunos parámetros físicos, químicos y biológicos en la laguna "El Rodeo", estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México. 41 p.

Haynes, J.L. (1995). Standardized classification of poeciliid development for life-history studies. *Copeia*. (1), 147-154.

INEGI. (2000). *Anuario Estadístico del Estado de Morelos*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 461p.

INEGI. (2002). Cuaderno estadístico municipal Ayala, Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 76 p.

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Ayala, Morelos*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 9 p.

INEGI. (2011). *Agenda Estadística Anual del Poder Ejecutivo*. Gobierno del Estado de Morelos. 434 p.

King, M. (2007) *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Queensland, Australia: Chicester : Wiley Editorial. 405 p,

Kumar, S.P. (2016). *Applied statistics for agriculture, veterinary, fishery, dairy and allied fields*. Mohanpur, India: Springer Editorial. 533 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.

Leyton, F.A.S., Muñoz, E., Gordillo, S.M., Gian, C., Sánchez, G., Muñoz, A.L. y Soto, D. A. (2015). Estimation of fulton's condition factor (K) and the length-weight relationship of three fish species present in a sector subjected to environmental stress factor in high Cauca river basin. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 27. 21-28.

Lind, O. T. (1979). *Handbook of common methods in limnology*. Mosby, United States of America: The C.V. Mosby Company. 199 p.

Lucinda, F.P.H. y Reis, R.E. (2005). Systematics of the subfamily Poeciliidae Bonaparte (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), with an emphasis on the tribe Cnesterodontini Hubbs. *Neotropical Ichthyology*, 3(1), 1-60. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252005000100001>

Marrugan, E.A. y Nowak, A.M. (1991) Another Battle of the sexes: The consequences of sexual asymmetry in mating costs and predation risk in the Guppy *Poecilia reticulata*. *Proceedings of The Royal Society Proc B* (246) 31-38.

Marsh-Matthews, E. (2011). Matrotrophy. En: Evans, J.P., Pilastro, A., Schñupp, I. (eds) *Ecology and evolution of Poeciliid fishes*. (18-27 p). Chicago, United States of America: University of Chicago Press.

Mata, S.G. (2007). *Estudio biológico de Heterandria bimaculata (Pisces: Poeciliidae) con fines forrajeros en estanques con aguas tratadas*. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. México. 65 p.

Maya, P.E. y Marañón, H. S. (2001). Efecto de la temperatura sobre la proporción sexual de *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Pisces: Poeciliidae) *Hidrobiológica*, 11(2): 157-162.

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., Mincley, L.W. y Norris, M.S. (2005). *Freshwater fishes of México*. Chicago, United States of America: The University of Chicago Press, 490p.

Miller, R.R., Mincley, L.W. y Norris, M. S. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 559 p.





Molina-Moctezuma, A., Zuñiga-Vega, J.J. y Espinosa-Pérez, H. (2013) Mortality rates in two populations of the viviparous fish *Poeciliopsis baenschi* (Teleostei: Poeciliidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84. 994-998.

Molina, M.A. (2014). *Relación entre la disponibilidad de recursos y el nivel de transferencia de nutrientes entre madres y embriones en dos especies de peces vivíparos*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 82 p.

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

Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the World*. New Jersey, United States of America: Wiley and Sons, Inc. 600p

Olinger, C.T., Peoples, B.K., y Frimpong, E.A. (2016). Reproductive life history of *Heterandria bimaculata* (Heckel 1848) (Poeciliinae: Poeciliidae) in the Honduran interior highlands: trait variation along an elevational gradient. *Neotropical Ichthyology*, 14(1) 224-234.

Olivera-Tlahuel.C., Ossip-Klein, G.A., Espinosa-Pérez, H.S. y Zúñiga-Vega, J.J. (2015). Have superfetation and matrotrophy facilitated the evolution of larger offspring in poecillid fishes. *HHS Public Acces*, 116 (4), 787-804.

Olivera-Tlahuel, C. (2017). *La relación entre superfetación, placentación, retención de esperma y tamaño del embrión en peces de la familia Poeciliidae* Tesis de Doctorado. Ciudad Universitaria UNAM, México. 151 p.

Palomo, L.C.Y. (2016). *Edad y crecimiento de la tilapia del bordo Amate Amarillo, Morelos, México*, Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. México.72 p.

Pires, M.N., Arendt, J. y Reznick, N.D. (2010) The evolution of placentas and superfetation in the fish genus *Poecilia* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae subgenera *Micropoecilia* and *Acanthophaelus*). *Biological Journal of the Linnean Society* 99: 784–796

Ramírez-García, A., Ramírez-Herrejón, J.P., Medina-Nava, M., Hernández-Morales, R. y Domínguez-Domínguez, O. (2017) Reproductive biology of the invasive species *Pseudoxiphophorus bimaculatus* and *Poecilia sphenops* in the Tuchtlán River, México. *Journal of Applied Ichthyology* 17 (00) 1-10

Ramírez, H.M. (2014). *Listado y distribución de los peces introducidos en México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. México 114p.





Reza-Ureta, B.S. y Díaz-Pardo, E. (1994) Algunos aspectos de la biología reproductiva de *Heterandria bimaculata* (Poeciliidae). *Resúmenes del IV congreso Nacional de Ictiología*, Morelia, Michoacán, 148 p.

Reznick, N.D., Herbek, T., Caura, S., Greef, J., y Roff, D. (2006). Life history of *Xenodexia ctenolepis*: implications for life history evolution in the family Poeciliidae. *Biological Journal of the Linnean Society* 92 77-85

Reznick, N.D., Mateos, M. y Springer, S.M. (2002). Independent origins and rapid evolution of the placenta in the fish genus *Poeciliopsis*. *Science* 298 (5595): 1018-1020.

Reznick, N.D., Meredith, R. y Collete, B.B. (2007). Independent evolution of complex life history adaptations in two families of fishes, live-bearing halfbeaks (Zenarchopteridae, Beloniformes) and Poeciliidae (Cyprinodontiformes). *Evolution* 61 (11): 2570-2583.

Rivera, C.O.A. y Hernández, G.G.N. (2011). *Producción y calidad del agua de los reservorios "Amate amarillo" y "la Palapa", Morelos*. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. México. 105 p.

Rosen, E.D. y Bailey, M.R. (1963) *The poeciliid fishes (Cyprinodontiformes) Their structure, zoogeography and systematics*. New York, United States of America Bull. American Museum of Natural History 166p.

Rosen, E.D. y Tucker, A. (1961) Evolution of secondary sexual characters and sexual behavior patterns in a family of viviparous fishes (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Copeia* 1961 (2): 201-212.

Ruibal, C. (2000). *Monitoreo ambiental y caracterización limnológica de un cuerpo de agua eutrofizado: Lago San Roque (Córdoba)*. Instituto Nacional del agua y del Medio Ambiente (CIRSA). Argentina 7p.

Salgado-Maldonado, G. (2009). *Manual de prácticas de parasitología con énfasis en helmintos parásitos de peces de agua dulce y otros animales silvestres de México*. UNAM. Distrito Federal, México: Instituto de Biología UNAM. 56 p.

Salgado-Ugarte, I.H., Gómez-Márquez, J.L. y Peña-Mendoza, B. (2005). *Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros*, México, D.F. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 240 p.

Sánchez, H.A.K., y Sastré, L.B. (2004). *Reproducción y crecimiento de Poeciliopsis gracilis (Heckel, 1984) en el Lago Coatetelco, Morelos*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 45 p.





Schmitter-Soto, J. (1998). *Catálogo de peces continentales de Quintana Roo*, Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México 96p.

Schultz, J. (1993). Genetic regulation of temperature mediated sex rations in the livebearing fish (*Poeciliopsis lucida*). *Copeia* (4): 1148-1151.

Snelson, F.F. (1989). Social and environmental control of life history traits in poeciliid fishes. Pp. 149-161. *En: Meffe, G.K. & F.F. Snelson, Jr. (eds). Ecology and evolution of livebearing fishes (Poeciliidae)*. Ed. Prentice Hall, Nueva Jersey.

Soria-Barreto, M., Alcántara-Soria, L. y Soto, G.E. (1996) Ictiofauna del estado de Hidalgo. *Zoología Informa* 96 (33) 55-78

Tesch, F.W. (1968). *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Oxford, England Blackwell Scientific. 123 p.

Timmerman, C.M. y Chapman, L.J. (2003). Hypoxia and interdemic variation in *Poecilia latipinna*. *Journal of Fish Biology* 65, 635-650.

Torres-Orozco, B. R. E. y García-Calderón, J. L. (1995). Introducción al manejo de datos limnológicos. U.A.M. Iztapalapa, México, D.F. 130 p.

Travis, J., Farr, J.A., Henrich, S. y Cheong, R.T. (1987). Testing theories of clutch overlap with the reproductive ecology of (*Heterandria formosa*). *Ecology* 68 (3). 611-623. doi://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1938466/pdf

Trujillo-Jiménez, P. y Toledo, B.H. (2007). Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinodontiformer:Poeciliidae). *Revista Biología tropical*, 55 (2). 603-615.

Uribe, M.C. y Grier, H.J. (2010). *Viviparous fishes II*. Distrito Federal, México: New Life Publications. 505 p.

Weaton, F.W. (1982) *Acuacultura. Diseño y construcción de sistemas*. Distrito Federal, México: AGT Editor, S.A. Distrito Federal, México. 704 p.

Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: Lake and river Ecosystems*. San Diego, USA: Ed. Academic Press. 3ª edición. E.U. 1006 p.

