



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto de la turbidez en el comportamiento de selección sexual de
Girardinichthys multiradiatus, (Meek, 1904) (Pisces: Goodeidae) en la
Microcuenca Toluca-Ixtlahuaca

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

PRESENTA:

María Guadalupe Martínez Hernández

ASESORA:

Dra. Mónica Vanessa Garduño Paz

COASESOR:

Dr. Constantino Macías García

Toluca, Estado de México, abril de 2018



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCIÓN	8
3. ANTECEDENTES	9
3.1 Eutrofización en sistemas lénticos	9
3.2 Determinación de sistemas eutróficos	10
3.3 Causas de la eutrofización.....	10
3.4 Eutrofización en CARL	11
3.5 Turbidez y sus efectos en peces.....	12
3.6 Turbidez y sus efectos en selección sexual en peces	14
3.7 Preferencia	16
3.8 Especie en estudio.....	16
3.9 Hábitat	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	19
5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	20
6. HIPÓTESIS.....	20
7. OBJETIVOS.....	21
8. METODOLOGÍA.....	21
8.1 Captura de organismos	21
8.2 Aclimatación	22
8.3 Diseño experimental.....	23
8.3.1 Determinación de Niveles de Turbidez	23
8.3.2 Experimentos.....	24
8.3.3 Pruebas y repeticiones	24
8.3.4 Evaluación del Comportamiento	25
8.3.5 Determinación de Morfología de los machos	27
8.3.6 Determinación de Coloración de los machos.....	27
8.3.7 Análisis estadísticos	28
9 RESULTADOS.....	29
9.1 Preferencia-Turbidez	29

9.2 Cortejo-Turbidez	29
9.3 Preferencia y Cortejo	34
9.4 Preferencia y características fenotípicas del macho	36
10 DISCUSIÓN	37
11 CONCLUSIONES.....	45
12 RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.....	46
REFERENCIAS.....	48

RESUMEN

Los cambios inducidos por las actividades humanas afectan la condición natural de los organismos cuya resiliencia a tales cambios depende de la habilidad de éstos para enfrentarlos, así como de su plasticidad de comportamiento. Sistemas hidrológicos como el de la Cuenca Alta del Río Lerma (CARL), con un elevado nivel de contaminación y fragmentación de hábitat) han dado lugar a la existencia de bordos y presas cuya principal función es riego, abrevaderos y usos piscícolas. Estas condiciones involucran una elevada eutrofización debida al incremento de nutrientes por fertilizantes, desechos urbanos y ganaderos y mantiene entre otros factores los niveles de turbidez muy elevados, ocasiona la disminución del paso de luz a través del agua y a su vez la pérdida de visibilidad para los peces. Estos organismos acuáticos así como muchos otros, requieren identificar aspectos fenotípicos visibles de sus congéneres para la reproducción. Por ello en el presente trabajo pretendemos analizar el efecto de la turbidez del agua en el comportamiento de selección sexual de *Girardinichthys multiradiatus*, considerando que los aspectos reproductivos pueden estar fuertemente influenciados por las características del medio en donde los individuos se encuentran. Además esto podría ser un factor que altere incluso negativa e irreversiblemente el desempeño de selección sexual en los organismos haciéndolos más vulnerables ante la extinción. Se analizaron aspectos del comportamiento de selección sexual, tales como preferencia de la hembra y cortejo de los machos en tres niveles de turbidez del agua (0, 33 y 66 FAU) generada por concentración de algas del género *Desmodesmus sp.* para evaluar el efecto de la turbidez, realizando tres réplicas en cada nivel. Los resultados manifiestan que la turbidez tiene efecto significativo en la preferencia femenina y en el comportamiento de cortejo de los machos, se comprobó que visualmente no hay una preferencia de las hembras por machos con fenotipos de mayor tamaño, mayor coloración, pero sí hay preferencia de las hembras en función del comportamiento de cortejo de los machos en esta población. Además, se sugiere que en la población estudiada podría darse lugar a un proceso de selección estabilizadora, debido a que en los tres niveles de turbidez no hubo preferencia entre fenotipos pálidos pequeños y coloridos grandes, y que estas condiciones se podrían dar de forma real si debido a las partículas suspendidas en el agua se bloquean los canales de detección química y mecánica como la línea lateral y los poros faciales.

INTRODUCCIÓN

Los cambios inducidos por las actividades humanas como el cambio climático, la contaminación agrícola, urbanización, deforestación y fragmentación de hábitat afecta la condición natural de los organismos cuya resiliencia a tales cambios depende de la habilidad de éstos para enfrentarlos así como de su plasticidad de comportamiento y de las consecuencias en su adecuación relacionadas al cambio ambiental. Una de las consecuencias de estos cambios es la proliferación de algas que en ambientes eutróficos produce elevada turbidez, disminuyendo la transparencia y el espectro visible de luz que penetra a través del agua (Järvenpää & Lindström, 2004). En sistemas hidrológicos como el de la Cuenca Alta del Río Lerma (CARL), existen todas estas actividades humanas y se reporta un elevado nivel de contaminación (Díaz-Delgado y Antón, 2002). Dentro de este sistema se reportan características físicas y químicas con temperaturas entre los 14 a los 24.5 °C, con conductividades de entre 117 a 91.7 $\mu\text{S cm}^{-1}$, y pH variando de 5 a 10.8. El oxígeno disuelto va desde condiciones hipóxicas (0.1 mg L⁻¹), en localidades con corredores industriales, desechos agrícolas y elevados niveles de eutrofización, hasta zonas bien oxigenadas (10 mg L⁻¹) en sitios con cambios geomorfológicos donde se favorece la corriente de agua (Díaz-Delgado y Antón, 2002). Dentro de esta subcuenca se ha reportado la presencia del género de diatomea *Navícula* que es un indicador de sistemas eutróficos (Segura-García *et al.*, 2010), los cuales entre otras cosas se caracterizan por presentar elevada turbidez principalmente por efecto de proliferación algal (Moreno-Franco *et al.*, 2010). Dentro de CARL además existen una serie de sistemas artificiales a manera de pequeñas presas conocidos como bordos, los cuales funcionan de almacenamiento para aguas de uso agrícola, cuya dinámica es llenarse en época de lluvias y disminuir su volumen al máximo o ser vaciados durante la temporada de siembra. También presentan elevada turbidez causada por el incremento de fósforo y nitrógeno, la excesiva contribución de materia como sedimentos, fertilizantes, y desechos de drenaje urbano (Díaz-Delgado y Antón, 2002). Estos cuerpos de agua artificiales se han convertido en refugios para especies de peces como *Girardinichthys multiradiatus* una especie vivípara, endémica a CARL (con la mayor distribución) y las cuencas altas de los ríos Balsas y Pánuco. *Girardinichthys multiradiatus* se ha reportado como una especie

interesante e importante por ser dentro de la familia Goodeidae una de las sobrevivientes a condiciones climáticas drásticas, pues dentro de CARL además se encuentra a una altitud de 2800 msnm (Comunicación personal, Garduño-Paz, 2017). *G. multiradiatus* ha sido ampliamente estudiada desde el punto de vista de comportamiento sexual y se ha reportado que la hembra es la que realiza la preferencia y que los machos tienen que desarrollar aspectos fenotípicos como cortejo, manchas negras abdominales y coloración característica para atraer a las hembras así como estrategias de cópula que implican paternidad múltiple y mimetismo sexual (Magurran & Macías-García, 2000; Macías-García & Burt de Perera, 2002; Macías-García & Saborio, 2004) además se ha reportado que la luz UV es importante en la selección sexual en esta especie ya que la hembra detecta estas longitudes de onda en el macho (Macías-García & Burt de Perera 2002). Webb *et al.* (2004) menciona que la selección sexual es un factor intrínseco que tiene un papel muy importante en la diversificación de la familia Goodeidae, por tanto, puede tenerlo para la especie *G. multiradiatus*.

Debido a lo anterior en el presente estudio se desarrollan una serie de experimentos de laboratorio para determinar si diferentes condiciones de turbidez algal provocan cambios en el comportamiento de selección sexual de ejemplares de *Girardinichthys multiradiatus* y poder elucidar los efectos que las actividades humanas tienen sobre la especie.

ANTECEDENTES

Eutrofización en sistemas lénticos

Los sistemas lénticos son cuerpos de agua que no presentan corriente continua, es decir, sus aguas se encuentran retenidas en algún sitio determinado (Rodríguez-Garzón, 2013). La República Mexicana cuenta más de 5,000 presas y bordos, algunos de ellos han sido clasificados como grandes presas de acuerdo con la definición de Comisión Internacional de Grandes Presas (Conagua, 2016). Dentro de estos cuerpos de agua existe un proceso de eutrofización, durante el cual hay una degradación ambiental derivado esencialmente de cambios asociados a la naturaleza misma y a las actividades antropogénicas. Consiste en un aumento en la concentración de nutrientes en los lagos, que propicia el crecimiento excesivo de malezas acuáticas y algas, el incremento de la materia orgánica en descomposición,

reducción de la luz, aumento de sedimentos, disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, coloración verde-grisácea del agua y aumento de la turbidez del agua (Moreta-Pozo, 2008).

Los cuerpos de agua pueden ser clasificados acorde a su nivel específico trófico en cuatro categorías del nivel más bajo al más alto de actividad biológica. En el nivel oligotrófico el agua es clara y traslúcida, y los niveles de nutrientes y algas son muy bajos además frecuentemente ocurren a elevadas altitudes o temperaturas frías. En el nivel mesotrófico las aguas presentan una coloración verde pero aun así claras, cantidad media de nutrientes y algas. En el nivel eutrófico el agua tiene un color verde oscuro con alta concentración de nutrientes y algas, que elevan los niveles de turbidez. Y por último en el nivel hipertrófico el sistema es enriquecido con fósforo y nitrógeno, hay bajo desarrollo de fitoplancton y agua contaminada (Çako *et al.*, 2013; Matthews, 1998; Valdovinos & Figueroa, 2000).

Determinación de sistemas eutróficos

Para conocer el estado trófico, bioindicadores como las microalgas pueden ser una gran herramienta para la obtención de índices con base en su composición y abundancia. Entre los métodos utilizados para evaluar las condiciones tróficas de un cuerpo de agua se encuentran el Índice del Estado Trófico de Carlson (IET) (utiliza parámetros fisicoquímicos del agua, como transparencia, concentración de clorofila a, fósforo total y de ortofosfatos), el Índice compuesto de Thunmark y Nigaard (basado en la relación entre especies fitoplanctónicas accidentales y dominantes), el Índice Trófico Planctónico (ITP) (considera los grupos taxonómicos del fitoplancton de la muestra, su abundancia relativa y los valores de clorofila a y el índice de eutrofización por nutriente (considera el aporte de cada nutriente en áreas distintas) (Moreno-Franco, 2010; Rodríguez-Garzón, 2013).

Causas de la eutrofización

Algunos lagos cambian gradualmente de condiciones oligotróficas a eutróficas, sin embargo hay una enorme varianza en la escala de tiempo del proceso, algunos lagos se mantuvieron oligotróficos por miles de años, otros exhibieron un gradual y natural incremento en la

eutrofización y en nutrientes acumulados en la cuenca, otros sufrieron una eutrofización cultural en pocas décadas (Matthews, 1998).

Entre las principales causas de la eutrofización se encuentran la descomposición de materia vegetal que de manera natural se va acumulando conforme el cuerpo de agua envejece y también, por las actividades antropogénicas como el ingreso en demasía de nutrientes, sustancias fosfatadas y nitrogenadas que son vertidos de aguas de las zonas urbanas, agrícolas e industriales, con abundante materia orgánica, el uso en exceso de fertilizantes, la deforestación y erosión en suelos agrícolas que contribuyen a la carga de nutrientes (Moreno-Franco *et al.*, 2010; Erazo-Parga & Cárdenas-Romero, 2013). Además, los fenómenos naturales también causan eutrofización, la lluvia y las inundaciones eliminan el exceso de nutrientes de la tierra y los vierten en el agua, por lo que existe una mayor probabilidad de que la eutrofización suceda en lugares cercanos a tierras fertilizadas. Debido a estos cambios que incrementan la existencia de nutrientes en el ambiente se genera una proliferación de algas que en ambientes eutróficos produce elevada turbidez, disminuye la transparencia y el espectro visible de luz a través del agua (Bista, 2016).

Eutrofización en CARL

Sedeño-Díaz y López-López (2007) reportan que a pesar de la modificación a la legislación Mexicana en 1992 y al incremento en el índice de calidad del agua en CARL, ésta aún se caracteriza por tener descargas industriales y municipales. Más aún, los índices actuales de calidad de agua no son suficientes para la protección y conservación de especies de vida acuática. Se ha reportado que varias especies han sido extintas y otras desplazadas, además, se ha tenido pérdida de hábitat así como cambios en la distribución y abundancia de éstas (López-López & Díaz-Pardo, 1991; Soto-Galera *et al.*, 1998; Méndez-Sánchez *et al.*, 2008). De acuerdo a la NOM-059-ECOL-2010, dos especies nativas están extintas (*Chirostoma charari* y *C. compressum*), dos más (*Algansea barbata* (Pertenece a CARL) y *Hubbsina turneri*) en peligro de extinción y otras tres (*Skiffia lermae*, *S. bilineata* y *Allotoca dugesi*) se encuentran amenazadas. Hasta cierto punto todos los ecosistemas acuáticos son capaces de asimilar el estrés provocado por descargas o nutrientes excesivos, pero cuando el estrés excede la

capacidad del sistema para absorberlo, como en el caso de CARL, el sistema desarrolla síntomas de degradación ambiental y se vuelve insano, con perspectivas de disminución en la biodiversidad. Dentro de CARL los sistemas artificiales denominados bordos, son construidos de acuerdo a Cotler y Gutiérrez (2005), para el desarrollo industrial y agrícola impulsado en la cuenca Lerma-Chapala estas obras se construyeron principalmente para riego (50.9%), lo cual constituye 281 presas, para riego y abrevadero (20.1%), para control de avenidas (2.8%), para uso piscícola y riego, riego y agua potable, riego y control de avenidas, generación de energía y servicio público (2.35%). Un alto porcentaje de presas son de uso desconocido (23.5%).

Los bordos como pequeñas presas causan múltiples cambios de los patrones naturales de flujo del agua, de la fragmentación, de la conectividad de los ecosistemas fluviales, interrupción del flujo y los pulsos que mantienen a los hábitats riparios, los cuales renuevan y enriquecen las planicies, deltas y suelos de la cuenca baja y, controlan y regulan las fluctuaciones hídricas extremas. La introducción de estos cambios sobre el flujo natural del agua provoca el aislamiento de poblaciones e interrumpe las migraciones de otras especies, modificando la calidad del agua “presa abajo” en relación a los cambios de temperatura, cantidad de nutrientes, turbidez, gases disueltos, concentración de metales pesados y minerales. Entre otros impactos, también es relevante el cambio de la morfología del sistema hidrológico en cuanto a la variabilidad total de los flujos y del cambio estacional, sus fluctuaciones y extremos, a los que se han adaptado y dependen una miríada de fauna y flora (Mc Cully, 2001; Toledo & Bozada, 2002) así como ser fuente de importantes emisiones de gases invernaderos (Mc Cully, 2001).

Turbidez y sus efectos en peces

La turbidez que se genera en sistemas eutróficos así como de manera general en otros ambientes es una característica óptica que describe la opacidad del agua, está definida como la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia a causa de la presencia de partículas en suspensión, como las algas, la materia orgánica, sedimentos en suspensión (arcillas, limos, partículas de sílice), y especies químicas inorgánicas disueltas. Estas partículas

en suspensión dispersan la luz, ocasionando una disminución de la actividad fotosintética en las plantas y algas o incluso las partículas suspendidas pueden absorber luz del sol y calentarse, elevando la temperatura del agua y disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto (Çako *et al.*, 2013; Kitchener *et al.*, 2017; Abarca, 2007).

Frecuentemente encontramos los términos turbidez y transparencia juntas, porque están relacionadas a los tipos de concentración de partículas suspendidas en el cuerpo de agua, la turbidez está asociada a la difusión y disminución de la luz por micropartículas, mientras que la transparencia está relacionada al grado de visibilidad del agua y ambos parámetros pueden cambiar estacionalmente. La transparencia del agua incrementa conforme el desarrollo de algas y material suspendido disminuye (Çako *et al.*, 2013).

De acuerdo con Zhang *et al.* (2016) otro factor causante de turbidez en los cuerpos de agua puede ser la presencia de especies invasoras como *Oreochromis niloticus*, que no sólo estimula el crecimiento de fitoplancton, sino que también promueve la turbidez del agua mediante la resuspensión de sedimentos y la reducción de biomasa de algas bentónicas, lo que provoca un deterioro de la calidad del agua. Así mismo, se ha reportado que *Cyprinus carpio* tiene actividad de remoción al alimentarse lo que provoca la re-suspensión de nutrientes como nitrógeno y fósforo capturados en el sustrato, y en la exposición y el daño a las raíces de hidrófitas, que eventualmente mueren. Ambos efectos promueven la reproducción excesiva de algas suspendidas (mayoritariamente cianófitas), y en general conllevan a la eutrofización del sistema por el aumento en turbidez, nitrógeno, fósforo y disminución de sitios de refugio para la microfauna (Zambrano *et al.*, 1999; Zambrano 2010; Badiou & Goldsborough, 2010). Caballero-Viñas *et al.* (2017) reportan que las características de historia de vida *Girardinichthys multiradiatus* bajo condiciones de laboratorio se ven alteradas por la presencia de carpa ya que ésta provoca alteraciones en la calidad de agua incrementando la turbidez, nitratos y fosfatos.

La turbidez del agua afecta a la flora y a la fauna del sistema, y los principales efectos del estatus trófico en los peces son la disponibilidad de los peces de producción primaria y secundaria como comida, la disponibilidad de oxígeno en verano y en invierno, así como los

cambios en el drenaje de la cuenca (climáticos, asociaciones de plantas, actividades antropogénicas, etc.) que pueden alterar rápidamente el estado trófico del lago, además el crecimiento excesivo de plantas y algas puede favorecer un ambiente hipóxico, provocando la muerte de los peces (Çako *et al.*, 2013; Matthews, 1998).

Turbidez y sus efectos en selección sexual en peces

La turbidez generada por todas las actividades antropogénicas mencionadas anteriormente, puede tener efectos en varios aspectos de los organismos, entre éstos en la selección sexual ya que dentro de ésta se encuentran comportamientos de cortejo que dependen de las señales visuales, tales como los despliegues o cualquier información del fenotipo de los machos que las hembras pueden detectar o viceversa. En la especie *Gasterosteus aculeatus*, por ejemplo, se ha reportado que, conforme aumenta la turbidez, las exhibiciones de cortejo de los machos se vuelven más intensas, aumentando así los costos de apareamiento (en términos de tiempo y energía) y tal vez el riesgo de depredación (Engstrom-Ost & Candolin, 2006).

Sundin *et al.* (2017) reporta que en la especie *Syngnathus typhle*, la turbidez del agua aumentó la selección sexual en el tamaño de cuerpo de los machos y disminuyó el éxito reproductivo de los machos de menor longitud, muy probablemente porque los machos pequeños no eran identificados correctamente como parejas potenciales en condiciones turbias.

Järvenpää & Lindström (2004) reportan que el aumento de turbidez del agua, generada por el crecimiento excesivo de algas incluso puede modificar el sistema de apareamiento, disminuir la oportunidad de selección y también la intensidad de la selección, como sucede con la especie *Pomatoschistus minutus* cuyo éxito de apareamiento en agua turbia se distribuye de manera uniforme en los machos, y las diferencias en talla entre machos apareados y no apareados son pequeñas, además la oportunidad de selección sexual y la selección diferencial disminuye para ambos en condiciones de agua turbia.

Los efectos que la turbidez del agua puede tener a nivel de selección sexual en las especies es relevante puesto que esta se basa en las ventajas que ciertos individuos poseen sobre

otros de su misma especie y sexo con respecto a la reproducción (Darwin, 1871), y es un proceso que deriva en el éxito reproductivo diferencial entre los individuos de un mismo sexo (selección intrasexual) o mediante la elección de pareja (selección intersexual) (Passos, 2013). Por tanto, es el componente de la selección natural asociado con el éxito de apareamiento, esto mejora el éxito de apareamiento a costa de otros componentes del éxito reproductivo como la supervivencia adulta (Stearns & Hoekstra, 2005). Este componente de la selección natural surge a partir de diferencias en el éxito reproductivo como consecuencia de la competencia por parejas. Usualmente en las especies en las cuales opera la selección sexual es la hembra quien elige pareja, y los machos quienes portan características conspicuas y compiten entre ellos (De Gasperin Quintero, 2011).

Frecuentemente los machos son más grandes en talla que las hembras en algunos grupos, y ejemplos de características conspicuas que los machos pueden portar son plumajes exagerados como en el pavo real o el ave del paraíso (Strickberger, 2000). Con frecuencia estas características son costosas de portar, debido a que no solamente vuelven a los machos más atractivos para las hembras, sino que también los hacen más notables para los depredadores (Endler, 1980, 1988; Moyaho *et al.*, 2004), obstaculizan su movilidad (Macías & Contreras, 1994) y además podrían sufrir costos fisiológicos y energéticos (Godin, 1995).

El éxito adaptativo es determinado por la habilidad de un individuo para colocar genes en futuras generaciones, en relación con el éxito de sus conespecíficos, y para lograrlo deben aparearse. Por ello la selección sexual toma gran relevancia en este ámbito.

Parte del éxito reproductivo de un individuo no radica exclusivamente en lograr que sus descendientes posean todas aquellas características que le permitan adaptarse mejor al medio, sino que estos sean también atractivos para el otro sexo, aumentando así sus probabilidades reproductivas y eficacia biológica (Maier, 2001).

Una forma de competencia entre los machos por conseguir apareamientos consiste en atraer la atención y la respuesta sexual de las hembras. Compiten, de forma que aquellos machos cuyo aspecto o comportamiento se ajuste a las preferencias de las hembras, tendrán más éxito en el apareamiento. En muchas especies hay datos que indican que los machos con

ciertos caracteres morfológicos son preferidos por las hembras (Martín-Vilvaldi & Cabrero, 2003).

Preferencia

Diversas investigaciones han abordado el tema de preferencia femenina de pareja basándose en la selección de determinadas características atractivas visualmente que el macho porta, dependiendo de la especie en cuestión, pero Lemma (2008) menciona que, existen otro tipo de factores que también intervienen en la comunicación entre los individuos al momento de la reproducción, en los peces por ejemplo, los factores extrínsecos son, la temperatura del agua, corriente del agua, disponibilidad de alimento, presencia del sexo opuesto, fotoperiodo, entre otros. Alcock (1998) sugiere que de acuerdo con el canal sensorial utilizado para la transmisión, las diversas señales pueden ser clasificadas como visuales, auditivas, químicas, táctiles y eléctricas; cada una se adecua mejor a un ambiente dado y tiene diferentes características que determinarán sus costos y beneficios con base en el gasto energético requerido para producirlas y el tipo de receptores que pueden recibir estas señales (Wagner, 2015). De acuerdo con esta aseveración, podríamos inferir que la turbidez del agua alteraría principalmente el canal de comunicación visual.

Especie en estudio

Girardinichthys multiradiatus, es un goodeido endémico a la CARL y a las Cuencas Altas los Ríos Balsas y Pánuco, que al igual que sus especies hermanas presenta dimorfismo sexual muy visible, que comprende la modificación de la aleta anal masculina, principalmente (Miller, 2005). Alcanza la madurez sexual a los 20-30 mm en tres o cuatro meses de edad, se reportó que en tres poblaciones de la microcuenca Toluca-Ixtlahuaca en el Alto Lerma, el periodo reproductivo tuvo lugar de febrero a noviembre (Velázquez-Medina, 2014). Cruz-Gómez (2010) reporta que la época de reproducción de la especie en un embalse ubicado en el Poblado de San Martín en el municipio de Amealco, Querétaro, se presenta de febrero a septiembre, presentando una temporada corta (cuando el sistema empieza a vaciarse durante marzo-abril) y una larga de junio a septiembre correspondiente a la temporada de lluvias.

Como sucede en otras especies, las hembras de *G. multiradiatus* son quienes eligen a la pareja y los machos quienes portan características llamativas y compiten por el acceso a las hembras. Se sabe que en la preferencia de las hembras las características fenotípicas son muy importantes, tales como coloración, y el comportamiento de los machos en el cortejo. De Gasperin Quintero (2011) reportó que en la laguna de Zempoala las hembras prefieren machos que cortejen con mayor frecuencia despliegues de aletas, y que cortejen durante más tiempo. Macías-García (1991) determinó que en esta especie la coloración y el tamaño que poseen las aletas de los machos son de gran importancia en la preferencia de la hembra; pero el portar características conspicuas, representa también una desventaja para los machos, debido a la movilidad reducida, resultante de portar aletas de gran tamaño (Macías-García *et al.*, 1994). Así mismo Macías-García & Burt de Perera (2002), encuentran que estos organismos poseen visión UV la cual influye en la elección de pareja de la hembra. También se ha estudiado la respuesta que las hembras muestran al cortejo de los machos, Martínez-Medina *et al.*, (2013) reportaron que la vibración de la hembra puede tener una función de apaciguamiento del acoso de los machos pero que también puede desempeñar un papel de atracción y estimulación de cortejo en los machos.

Los factores ambientales desempeñan un papel muy importante en el comportamiento de selección sexual de la especie, se ha visto que la temperatura ambiental es un indicador secundario del inicio de la estación reproductiva, un incremento en la temperatura favorece la reproducción, pero no depende totalmente de ella (Velázquez-Medina, 2014).

Hábitat

En dos bordos de CARL en donde habita *G. multiradiatus* González-Fernández (2015) reportó valores de parámetros fisicoquímicos, en Ex Hacienda registró valores de 6.32 ± 2.48 mg/l de O₂, una temperatura de 16.65 ± 1.03 °C, salinidad de 0.197 ± 0.031 ppt, un pH de 8.43 ± 0.35 , 0.39 ± 0.07 ppt de sólidos totales disueltos, una profundidad de 26.25 ± 12.74 cm y una transparencia de 9.37 ± 4.17 cm. Mientras que, en el bordo San Elías reportó valores de 8.51 ± 3.32 mg/l de O₂, una temperatura de 20.01 ± 2.68 °C, salinidad de 0.1714 ± 0.026 ppt, un

pH de 9.69 ± 0.98 , 0.33 ± 0.033 ppt de sólidos totales disueltos, una profundidad de 45 ± 26.14 cm y una transparencia de 13.75 ± 4.78 cm.

En el laboratorio de Ecofisiología Animal de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, se mantienen en semi-cautiverio en estanques, ejemplares de éstas dos poblaciones de *G. multiradiatus*. En julio de 2016 se midió la turbidez del estanque con ejemplares de la población del Bordo Ex Hacienda y se registró una turbidez de 2 FAU y 22 mg/l sólidos suspendidos (SS). En abril de 2017 los parámetros fisicoquímicos reportados para el estanque Ex Hacienda son 0.028 mg/l de nitritos, 2.6 mg/l de nitratos, 15.54 mg/l de oxígeno, 0.33 mg/l de fósforo reactivo, un pH de 9.05, 39 mg/l de sólidos suspendidos, una turbidez de 65 FAU, 1.58 mg/l de fósforo total. Para el estanque San Elías los parámetros fisicoquímicos del agua fueron 0.015 mg/l de nitritos, 5.3 mg/l de nitratos, 9.70 mg/l de oxígeno, 2.52 mg/l de fósforo reactivo, un pH de 8.76, 20 mg/l de sólidos suspendidos, una turbidez de 33 FAU y 1.12 de fósforo total (Pérez-Guerra, 2017).

De acuerdo con los índices de calidad del agua en sistemas acuáticos descritos por Chapman (1992), se define que el Bordo San Elías presenta una cantidad de oxígeno de 8.5 mg/L considerada como excelente, lo que nos habla de la gran cantidad de biomasa algal que presentan, teniendo un ambiente hiperóxico por la actividad fotosintética durante el día pero hipóxico durante la noche, lo cual podría ser nocivo para los organismos, incluyendo los peces. La temperatura en San Elías es mayor que en Ex Hacienda lo cual puede deberse a la cantidad de partículas suspendidas que absorben la luz solar, y el aumento de la temperatura puede ocasionar bajas concentraciones de oxígeno también durante la noche. El pH con un valor de 9.69 es considerado de la mala calidad, al igual que la transparencia de 13.75 cm. El bordo Ex Hacienda tiene concentraciones de oxígeno de 6.32 mg/L consideradas como buenas, al igual que el pH de 8.43, mientras que la transparencia de 9.37 cm es mala. En general ambos bordos presentan características de sistemas eutróficos.

El estanque con organismos de la población de San Elías tiene valores de calidad de agua bajos, debido a que la transparencia de 60 cm es considerada como media, al igual que el pH de 8.76, mientras que el fósforo total de 1.12 mg/l se considera de mala calidad, aunque los

nitratos de 5.3 mg/l se considera de buena calidad, las concentraciones altas de oxígeno de 9.70 mg/l también puede darnos indicios de alta productividad fotosintética de las algas, que puede ser dañino por la noche y los nitratos también tienen valores registrados como buenos (Pérez-Guerra D. y Garduño-Paz M.V. datos no publicados).

La calidad del agua en el estanque con organismos de la población de Ex Hacienda tiene valores bajos en la calidad del agua, la transparencia de 25 cm es considerada de mala calidad, de acuerdo con los índices de Chapman (1992), al igual que el fósforo total y el pH con valores de 1.58 mg/l y 9.05 respectivamente, también registra altos valores de nitratos considerados como excelentes de acuerdo con los mismos índices y la concentración de oxígeno de 15.54 mg/l es considerado como medio y también asociado a la presencia masiva de algas (Pérez-Guerra D. y Garduño-Paz M.V. datos no publicados).

Los parámetros fisicoquímicos del agua pueden cambiar debido a causas naturales como la estacionalidad, que involucra aumento o disminución de la precipitación y la temperatura ambiental, las constantes lluvias que pueden tener impacto en la turbidez del agua, como se observa en el estanque con organismos de la población del bordo Ex Hacienda en donde la turbidez disminuye considerablemente en temporada de lluvias registrando valores de 2 FAU, mientras que en sequía la turbidez aumenta considerablemente a 65 FAU.

JUSTIFICACIÓN

La selección sexual es un proceso importante durante el camino evolutivo de una especie, cuando dicho proceso se ve alterado por condiciones ambientales, la especie puede ser susceptible a ser afectada por la selección natural, en el presente estudio consideramos que la turbidez generada por la presencia de florecimientos algales asociada a la alteración de la calidad del agua que presentan sistemas dentro de la cuenca del Alto Lerma puede ser un factor que altere negativa e irreversiblemente el desempeño de selección sexual en los organismos de la especie *Girardinichthys multiradiatus*, lo cual llevaría a una mayor vulnerabilidad de ésta ante la extinción. Por ello en el presente trabajo pretendemos complementar el avance y generación de conocimiento acerca de la especie,

específicamente en características que tienen que ver con la reproducción, considerando que los aspectos reproductivos pueden estar fuertemente influenciados por las características del medio en donde los individuos se encuentran. De tal forma que la evaluación del efecto que tiene la turbidez en la elección de pareja de las hembras de *Girardinichthys multiradiatus* podría generar información importante acerca de la conducta sexual que los organismos presentan, así como la influencia que pudieran tener aspectos del ambiente en los patrones de cortejo y preferencia de la hembra. Los resultados que puedan obtenerse del presente trabajo de investigación permitirán incrementar la información que existe acerca de la especie, para poder en un futuro realizar propuestas de conservación, además estos resultados podrían contribuir a comprender aspectos evolutivos de la especie.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Es la turbidez del agua un factor que afecta la preferencia de las hembras de *Girardinichthys multiradiatus* durante la selección de pareja?
2. ¿Es la turbidez del agua un factor que afecta el patrón de comportamiento de cortejo de los machos de *Girardinichthys multiradiatus*?
3. ¿Existe preferencia de las hembras a favor de machos con fenotipos de mayor tamaño en contraste con machos que muestran fenotipos de menor tamaño en *Girardinichthys multiradiatus*? Si es así, ¿esta preferencia se verá afectada por distintos niveles de turbidez del agua?

HIPÓTESIS

H₀₁: No habrá efecto de la turbidez del agua en la preferencia de las hembras de *Girardinichthys multiradiatus* por algún fenotipo de macho.

H₀₂: No habrá efecto de la turbidez del agua en el patrón de comportamiento de cortejo de machos de *Girardinichthys multiradiatus*

H₀₃: No habrá preferencia de las hembras por machos con fenotipos de mayor tamaño frente a fenotipos de menor tamaño en *Girardinichthys multiradiatus* tanto en condiciones de cero turbidez como en condiciones de alta turbidez.

OBJETIVOS

General

- Determinar si existe efecto de la turbidez sobre el comportamiento de selección sexual de *Girardinichthys multiradiatus*.

Particulares

- Determinar la preferencia de las hembras de *G. multiradiatus* bajo tres niveles de turbidez del agua.
- Determinar el comportamiento de cortejo de los machos de *G. multiradiatus* bajo tres distintos niveles de turbidez del agua.
- Determinar si existen ventajas de selección para machos de fenotipos de mayor tamaño tanto en condiciones de cero como de alta turbidez.
- Determinar si la transparencia del agua les da ventajas a los machos durante el cortejo independientemente de su fenotipo.

METODOLOGÍA

Captura de organismos

El estudio se llevó a cabo de julio 2016 a febrero 2017. Los organismos utilizados en este estudio son originarios del Bordo Exhacienda, ubicado a una latitud de 19° 24' 59.70" N y longitud 99°41'49.51" O y a una elevación de 2612 msnm y fueron mantenidos en condiciones de semicautiverio en estanques rectangulares (5.18X174X96m) que se encuentran en la Facultad de Ciencias de la UAEMéx. de 2012 a la fecha. En total fueron capturados 36 individuos juveniles de *G. multiradiatus*, 22 ejemplares macho y 14 ejemplares hembra.

Aclimatación

Después de la captura, los organismos fueron transportados al laboratorio de Ecofisiología Animal de la Facultad de Ciencias, machos y hembras fueron separados en dos cajas de plástico de 60 litros en las cuales se aclimataron a condiciones de transparencia del agua (0 FAU) durante dos días, además se diluyeron 5 ml de stress-coat por caja para disminuir el estrés de los peces.

Después de la aclimatación, se verificó que las hembras no estuvieran gestantes, mediante la observación cuidadosa de la morfología y coloración ventral y se determinó su longitud total (mm) utilizando un Vernier (Digital caliper 0-150 mm). Por otro lado, los machos fueron anestesiados uno por uno con lidocaína (0.4 mL/500 mL de agua), enseguida se tomaron fotografías de los mismos con una cámara Canon modelo VIXIA HF R52, una iluminación y fondo estandarizada para todos los organismos, un radio focal f de 2.8, se les midió la longitud total (mm) con vernier y posteriormente se colocó a los individuos en una pecera de recuperación de 40L con abundante aireación. Todos los individuos se trasladaron a 4 peceras de 40 litros previamente acondicionadas, de las cuales dos fueron exclusivas para hembras y dos para machos, cada pecera se separó del resto mediante una película adherible opaca, con el fin de evitar que hembras y machos se reconocieran y tuvieran contacto visual antes de los experimentos. Dentro de cada pecera los peces fueron separados individualmente por mayas de plástico para facilitar la identificación de cada uno. Se alimentaron diariamente con hojuelas comerciales y/o *Daphnia sp.* Todos se mantuvieron bajo un fotoperiodo de 12 horas luz/12 horas oscuridad, específicamente las peceras de los machos contaron con iluminación UV para estimular la coloración. La temperatura se mantuvo constante entre 19° y 21° C con ayuda de calentadores sumergibles, una dureza promedio de 280 ppm, un pH promedio de 8.4, una turbidez de 9.4 FAU y 0.25 ppm de nitritos.

Diseño experimental

Determinación de Niveles de Turbidez

Los niveles de turbidez fueron establecidos con base en los valores reales de turbidez registrados en el estanque de donde provenían los peces (Bordo ExHacienda) y otro estanque con peces de la población del bordo San Elías. Para el primer estanque se registró una turbidez de 2 FAU y para el segundo una turbidez de 32 FAU. La turbidez en FAU (Formazin Attenuation Units, mide la disminución de luz transmitida a través de la muestra a un ángulo de 180 grados de incidencia de luz) se midió con un espectrofotómetro HACH COMPANY DR 2010. Con base en estos valores se establecieron tres niveles de turbidez: 0, 33 y 66 FAU. El primer nivel fue considerado como control debido a que es cercano al valor real del estanque de origen de la población analizada. El nivel 33 se determinó con base en el valor real del estanque con la población del bordo San Elías y el nivel de 66 se definió duplicando el segundo como una referencia de elevada turbidez que ha sido registrada en algunos bordos donde hay presencia de la especie ya que en algunos cuerpos de agua donde no hay presencia de peces se puede alcanzar hasta 110 FAU en promedio (Albarrán-Mondragón, F. J. datos no publicados).

La turbidez se generó incrementando la densidad de algas hasta alcanzar la turbidez deseada, 0, 33 y 66 FAU. Las algas provenían de un cultivo de algas del género *Desmodesmus* que nos fue proporcionado en el laboratorio de Ecofisiología Animal de la Facultad de Ciencias. Las cantidades de cultivo utilizadas para preparar el agua a esta turbidez variaban de acuerdo a su densidad pero el set experimental se realizó en peceras de 17 litros.

La secuencia en la que se filmaron los videos, se realizó de la siguiente forma: se inició con los experimentos en 0 FAU, con el objetivo de tener una referencia. Una vez que se obtuvieron las grabaciones completas de ese nivel, los organismos regresaron a su pecera (hembras separadas de machos) durante una semana. Posteriormente se continuó con las grabaciones de 33 FAU y al final las de 66 FAU siguiendo el mismo procedimiento, con el objetivo de observar el cambio gradual de la conducta de cortejo de los machos conforme aumenta el nivel de turbidez del agua.

Experimentos

Se diseñaron cuatro peceras divididas en tres secciones la primera sección (12X24 cm) abarcó la mitad del acuario y las otras dos un cuarto del acuario cada una (12 X12 cm, ver figura 1).

Antes de iniciar los experimentos los individuos fueron introducidos a las peceras experimentales por 10 minutos para su aclimatación. Con el fin de evitar contacto visual entre individuos durante este periodo, las divisiones de las peceras fueron cubiertas por un plástico opaco y blanco. Posteriormente, frente a cada pecera se colocó una cámara de video de alta definición CANON VIXIA HF R52. Los experimentos iniciaron al remover el plástico opaco y los peces fueron grabados durante 15 minutos. Todos los videos tuvieron lugar entre las 12:00 y 15:00 horas del día.

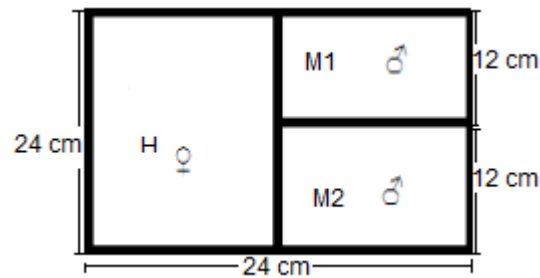


Figura 1. Acuario de experimentación, donde se muestran las medidas del mismo y la disposición de los organismos durante el experimento.

Pruebas y repeticiones

Los machos fueron clasificados artificialmente en dos fenotipos de acuerdo con su tamaño y coloración. El fenotipo pequeño y pálido (PP) de tamaño medio de $17.17 \pm DS$ mm, aletas con un grado ligeramente menor de coloración amarilla visible en las aletas dorsal, anal y caudal y no presentaban borde de color negro marcado en las aletas y el fenotipo grande y colorido (GC) de tamaño medio de $19.16 \pm DS$ mm con una coloración amarilla mayor y borde de aletas de color negro bien definido (ver figura 2).

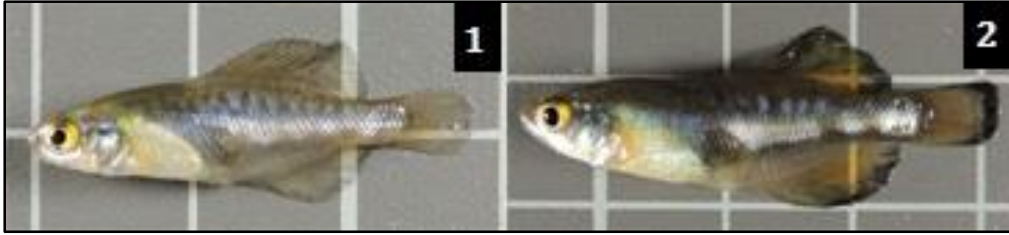


Figura 2. Fenotipos de los machos utilizados en el experimento. 1) Perfil de los machos de menor tamaño y sin borde de color negro en las aletas dorsal, anal y caudal. 2) Perfil de los machos de mayor tamaño y borde de color negro bien definido en las aletas dorsal, anal y caudal.

Las unidades experimentales se conformaron de una hembra y dos machos (A, B y C), un macho del PP y uno del fenotipo GC y se realizaron tres réplicas para cada tratamiento de turbidez con la finalidad de tener mayor precisión en la determinación de preferencia de la hembra. En cada réplica se intercambiaron de lugar los dos machos en la pecera, teniendo un orden ABC para la primera réplica, mientras que para la segunda réplica se tuvo un orden de machos ACB y en la tercera los machos volvieron a su posición original ABC en la pecera de experimentación. Es importante mencionar que debido a que 8 machos de la primera captura murieron durante el periodo de aclimatación, algunos machos fueron reutilizados en el análisis con otras hembras, dejando pasar hasta dos semanas entre experimentos.

Evaluación del Comportamiento

Las variables que se midieron fueron la preferencia de la hembra basada en el tiempo que pasa frente a cada uno de los machos y el comportamiento de cortejo de los machos, que fue registrado en frecuencias de ocurrencia en cada fase del experimento tomando como referencia las conductas descritas por Macías García (1991) (tomado de De Gasperín Quintero, 2011) (ver tabla 1).

Tabla 1. Conductas descritas por Macías García (1991) y que fueron registradas en el experimento.

Conducta	Descripción	Contexto
<i>Despliegue frontal de aletas (DFA)</i>	Despliegue de las aletas dorsal, caudal y ventral, mientras que las aletas pélvicas se encuentran rígidas y separadas del cuerpo, y las aletas pectorales son utilizadas para maniobrar lentamente. Durante el despliegue de esta conducta el pez se mantiene horizontal o ligeramente inclinado hacia adelante. El pez se posiciona de manera frontal al pez al que le despliega.	Cortejo y encuentros agonistas.
<i>Despliegue lateral de aletas (DLA)</i>	Despliegue de las aletas dorsal, caudal y ventral, mientras que las aletas pélvicas se encuentran rígidas y separadas del cuerpo, y las aletas pectorales son utilizadas para maniobrar lentamente. Durante el despliegue de esta conducta el pez se mantiene horizontal o ligeramente inclinado hacia adelante. El pez se posiciona de manera lateral al pez al que le despliega.	Cortejo y encuentros agonistas.
<i>Doblez de aletas (DA)</i>	Las aletas ventral y dorsal del macho son dobladas y presionadas hacia el cuerpo, o se esconden en el lado opuesto al otro pez. Las aletas pélvicas se presionan contra el cuerpo y las pectorales se utilizan para maniobrar. El cuerpo puede colocarse horizontalmente o inclinado hacia el frente.	Cortejo
<i>Danza en figura de ochos (DF8)</i>	Un macho se coloca frente a otro pez, y las aletas dorsal y ventral se despliegan y doblan de manera alterna, mientras que el pez nada hacia adelante aproximadamente un cuerpo de extensión regresa, avanza dos cuerpos, regresa, y repite el patrón descrito. Estos movimientos producen un resultado similar al número arábigo 8. Comúnmente va acompañado de flagging.	Cortejo
<i>Ondulaciones de aletas (OA)</i>	El pez se coloca en frente de otro pez y despliega y dobla las aletas dorsal y ventral alternativamente. Sin aproximación, comúnmente ocurre antes de realizar la danza en figura de ocho.	Cortejo
<i>Overtaking (O)</i>	Un macho se mueve hacia una hembra aceleradamente y se coloca en frente de la misma. Después comúnmente realiza el baile de la figura 8.	Cortejo
<i>Latencia (L)</i>	Tiempo que pasa entre que se coloca a la hembra dentro de la pecera con el macho y él comienza a desplegar conductas hacia ella.	

Determinación de Morfología de los machos

Las fotografías de los 22 machos fueron sometidas a un análisis de morfometría geométrica para analizar la forma de cada uno de los individuos. Se generó un archivo de fotografías con formato tps mediante el programa tpsUtil, (versión 1.68) y con la aplicación del programa tpsDig2, (versión 2.26), se les asignaron 23 puntos (landmarks) a las fotografías (ver figura 3) para definir la morfología. Posteriormente, se utilizó el programa tpsRelw, (versión 1.62 64 bits) para obtener las variables de forma conocidas como “relative warps” (RW1, RW2, RW3) que explican la variación en la morfología de los machos.

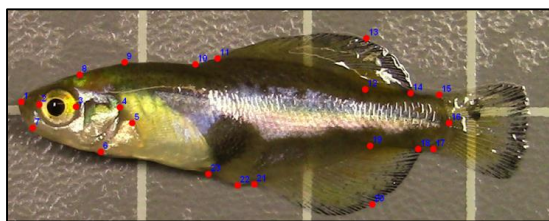


Figura 3. Landmarks utilizados en el análisis de morfometría.

Determinación de la coloración de los machos

El contorno de los individuos en las fotografías fue recortado, posteriormente se midió la coloración utilizando el sistema de color aditivo RGB con ayuda del programa ImageJ (32 bit), para lo cual la imagen se descompuso en los canales rojo, verde, y azul y los valores de estos canales más la suma de todos ellos (RGB) fueron registrados. La coloración UV no pudo medirse, en el caso de las fotografías, debido a que no se contó con el filtro específico para luz UV y en el caso de los videos, debido a que no es posible medir la luz UV a través de un vidrio.

Una característica a destacar de la especie es que presenta una coloración amarilla marcada, es por eso que también se midió esta coloración convirtiendo las imágenes (fotografías de los machos) del sistema RGB al sistema de color CMYK, descomponiendo la imagen en cuatro canales de color, cian, magenta, amarillo y negro, mediante el programa ImageJ, y específicamente para medir el amarillo, se hizo una imagen binaria a partir de la imagen del

canal amarillo y entonces se midió el área que ocupaba el color amarillo en la imagen, utilizando el programa MATLAB versión 7.12.0.635 (ver figura 4).

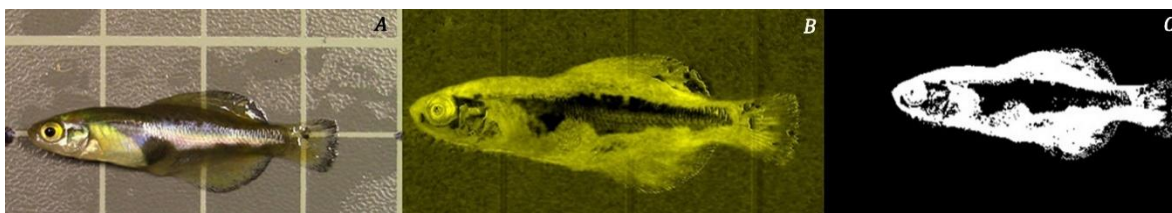


Figura 4. Imágenes utilizadas para el análisis de la coloración amarilla en *G. multiradiatus*. A) Fotografía original del individuo, B) Canal amarillo del sistema de coloración CMYK y C) Imagen binaria que posteriormente se procesó en el programa MATLAB.

Análisis estadísticos

Se corroboró la normalidad de los datos de la variable tiempo que la hembra pasó con cada macho y de las variables de comportamiento de cortejo de los machos aplicando una prueba de Kolmogorov-Smirnov, si los datos cumplían con distribución normal entonces fueron analizados con pruebas paramétricas, si los datos no se ajustaban a la normalidad se transformaron y en caso de que no se logrará el ajuste a la distribución normal entonces se aplicaron pruebas estadísticas no paramétricas.

Para determinar el efecto de la turbidez en la preferencia de las hembras se aplicó un Modelo Lineal Generalizado (MLG) de medidas repetidas utilizando como factor intra-sujetos los niveles de turbidez, el factor inter-sujetos fue el fenotipo del macho y como variable respuesta la preferencia de la hembra. Se realizaron pruebas Post-Hoc con ajuste de Bonferroni.

Las variables de comportamiento fueron sometidas a un Análisis de Componentes Principales para reducir la información de todas las variables de comportamiento de cortejo (overtaking, danza en figura de ochos, ondulaciones, doblamiento, despliegue lateral y despliegue frontal de aletas) en una nueva variable llamada “cortejo” (Componente Principal 1). Y posteriormente se analizó el efecto de la turbidez en el comportamiento de cortejo mediante una prueba no paramétrica de Friedman.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa SPSS (versión 22.0.0.0) y el programa PAST (versión 3.14).

RESULTADOS

Un total de 36 individuos juveniles de *Girardinichthys multiradiatus* fueron utilizados para el experimento, de los cuales 22 eran machos y 14 hembras.

Preferencia-Turbidez

Se registró el tiempo que las hembras pasaron frente a cada uno de los machos a través del cristal (distancia aproximada de 4 mm) y se realizó un MLG de medidas repetidas, utilizando éste como variable respuesta. La prueba de esfericidad de Mauchly ($W=0.825$, g.l.=2, $p=0.00$) indica que los datos no presentaron esfericidad por tanto se consideró la corrección Greenhouse-Geisser, la cual nos indica que la turbidez si tuvo un efecto significativo sobre el tiempo que las hembras pasan con los machos ($GG=0.851$, $F=741$, $p<0.001$). Sin embargo, no hubo diferencia entre el tiempo que las hembras pasaron con los machos de fenotipo PP y los machos del fenotipo CG ($GG=0.851$, F g.l.= 1.702, $p=0.1571$) ni tampoco hubo interacción entre Turbidez y Fenotipo de macho ($GG=0.851$, g.l.= 1.702, $p=0.639$).

Cortejo-Turbidez

De manera general las variables de comportamiento de cortejo se analizaron mediante el método de ordenación de componentes principales, el primer componente explica el 50.139%, el segundo 15.933% y el tercero 12.183%, que se muestran en la tabla 2 y en la tabla 2.1 se muestran los pesos del CP1 y CP2 por variable de cortejo. Por tanto, se tomó el CP1 como la nueva variable de Cortejo. El efecto de la turbidez en el cortejo de los machos se evaluó con la prueba no paramétrica de Friedman, ya que las variables no cumplieron con la normalidad ni se logró ajustarlos mediante alguna transformación, los resultados muestran que hay efecto de la turbidez del agua en el comportamiento de cortejo de *Girardinichthys multiradiatus*, $X^2(2)= 1035.453$, $p=4.4924e^{-215}$.

En la figura 4.1 se muestra el efecto de la turbidez en el comportamiento de cortejo (CP1) de *G. multiradiatus*, donde se observa que en condiciones de transparencia se expresan con mayor frecuencia y duración las variables de cortejo en comparación con el comportamiento registrado en condiciones de turbidez.

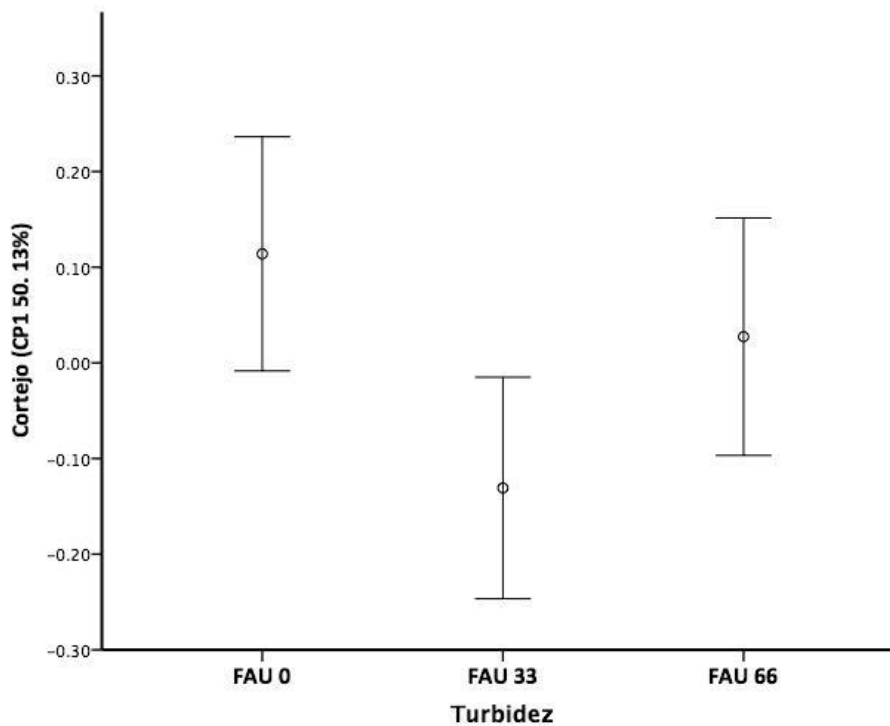


Figura 4.1. Gráfica de medias \pm ES del comportamiento de cortejo (CP1) en los tres niveles de turbidez del agua.

Tabla 2. Varianza total explicada, Análisis de Componentes Principales

Componente	Varianza total explicada		
	Eigenvalor	% de varianza	% acumulado
1	1.25389	50.139	50.139
2	0.3984	15.933	66.072
3	0.3046	12.183	78.255

Tabla 2.1 Pesos de los componentes por variable de cortejo

	CP1	CP2
Frecuencia OA	.070199	.11773
Duración OA	.13282	.19124
Frecuencia DA	.25018	.099407
Duración DA	.29585	.098039
Frecuencia DLA	.24814	-.12682
Duración DLA	.47315	-.34594
Frecuencia DFA	.31902	-.16518
Duración DFA	.52259	-.32414
Frecuencia O	.18159	.33278
Duración O	.34513	.72637
Frecuencia DF8	.088708	.096262
Duración DF8	.083845	.11976

En la figura 5 (a) se muestra un histograma de la duración de cada conducta de cortejo, en la que se observa que la duración de todos los comportamientos (a excepción de la danza en figura de ochos) es mayor en ausencia de turbidez (0 FAU), las ondulaciones de aletas no se llevan a cabo en 66 FAU y en 33 FAU la duración es corta. En la figura 5 (b), se muestran las frecuencias de cada comportamiento y se observan resultados muy parecidos con la gráfica anterior. En general para todos los machos analizados la variable con mayor duración y frecuencia es DFA, mientras que la variable DA aunque es muy frecuente tiene poca duración. Mientras que las menos frecuentes fueron OA y la DF8, siendo esta última la de menor duración.

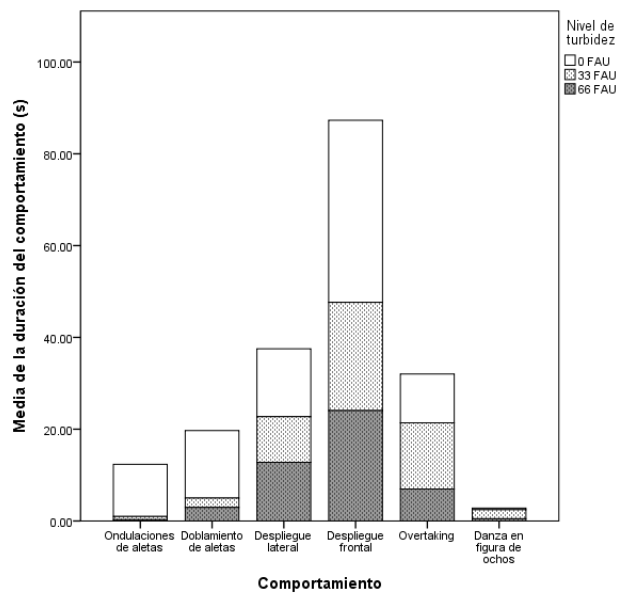


Figura 5 (a). Gráfica de barras de la duración del comportamiento de cortejo.

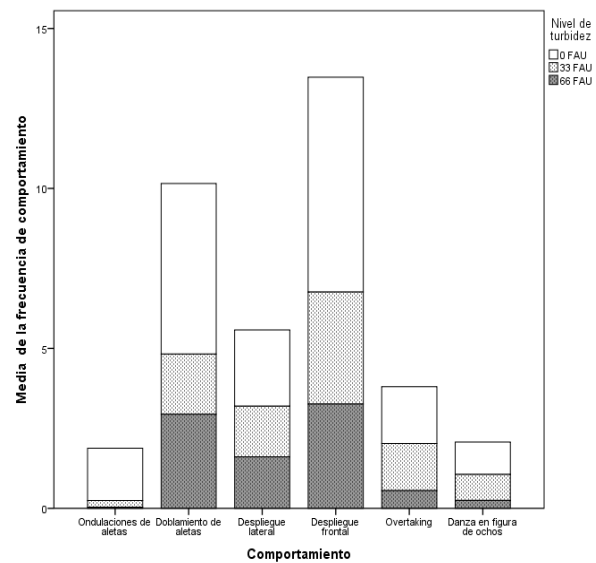


Figura 5 (b). Gráfica de barras de la frecuencia del comportamiento de cortejo.

Con respecto al cortejo y a los niveles de turbidez, en la Tabla 3 se reportan los valores de z y su significancia para cada comparación pareada, en esta se observa que para todas las comparaciones Cortejo y OA fueron significativamente diferentes. Además, en la comparación de FAU 0-33 frecuencia y duración de DA, frecuencia y duración del DLA y la frecuencia y duración del DFA fueron significativas. Para la comparación 0-66 FAU las variables frecuencia y duración de DA, frecuencia DLA, frecuencia y duración DFA fueron significativas. En la comparación 33-66 FAU las variables L, y frecuencia y duración de OA fueron significativas.

Tabla 3. Valores de Z y significancia de la prueba de Friedman (con pruebas de rango con signo de Wilcoxon) para las conductas de cortejo entre niveles de turbidez

Variable	0-33		0-66		33-66	
	z	P	Z	P	Z	p
Cortejo1	-2.50	0.01	-3.15	0.00	-0.20	0.84
Latencia (L)	-0.74	0.46	-0.40	0.69	-2.60	0.01
Frecuencia ondulaciones de aletas (OA)	-2.27	0.02	-4.32	0.00	-2.20	0.03
Duración ondulaciones de aletas (OA)	-2.42	0.02	-4.14	0.00	-2.12	0.03
Frecuencia doblamiento de aletas (DA)	-2.94	0.00	-2.45	0.01	-1.70	0.09
Duración doblamiento de aletas (DA)	-3.41	0.00	-3.10	0.00	-1.48	0.14

Frecuencia despliegue lateral (DLA)	-1.97	0.05	-2.32	0.02	-0.46	0.64
Duración despliegue lateral (DLA)	-2.17	0.03	-1.28	0.20	-0.66	0.51
Frecuencia despliegue frontal (DFA)	-3.74	0.00	-4.49	0.00	-0.44	0.66
Duración despliegue frontal (DFA)	-3.70	0.00	-3.11	0.00	-1.46	0.14
Frecuencia Overtaking (O)	-0.20	0.84	-2.35	0.02	-1.82	0.07
Duración Overtaking (O)	-0.24	0.81	-1.68	0.09	-1.29	0.20
Frecuencia danza en figura de ochos (DF8)	-0.48	0.63	-0.21	0.83	-0.51	0.61
Duración danza en figura de ochos (DF8)	-1.27	0.21	-0.78	0.44	-0.56	0.57

En la tabla de medias y desviación estándar de las variables de cortejo en los niveles de turbidez (tabla 4) se observa que los valores de la media de la mayoría de los comportamientos de cortejo como OA, DA, DLA, DFA, frecuencia de O y DF8 son más altos en transparencia y más bajos en condiciones de turbidez.

Tabla 4. Media y desviación estándar de las variables de cortejo en los tres niveles de turbidez medidos en FAU

Variable	0		33		66	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Cortejo1 (CP)	0.805	2.67	-0.33	2.13	-0.470	1.781
Latencia	91.5	131.72	86.62	164.207	116.12	171.81
Frecuencia ondulaciones de aletas	1.69	5.547	0.2	0.576	0.04	0.327
Duración ondulaciones de aletas	11.35	44.851	0.71	2.16	0.27	2.51
Frecuencia doblamiento de aletas	5.33	6.561	1.88	3.228	2.94	4.031
Duración doblamiento de aletas	14.7	52.599	2.04	3.48	2.96	4.037
Frecuencia despliegue lateral	2.39	3.17	1.55	2.192	1.61	2.803
Duración despliegue lateral	14.79	25.701	9.96	17.176	12.77	28.258
Frecuencia despliegue frontal	6.69	7.373	3.5	4.816	3.26	4.44
Duración despliegue frontal	39.68	47.519	23.58	54.72	24.06	39.478
Frecuencia Overtaking	1.77	3.465	1.35	3.342	0.71	1.873
Duración Overtaking	10.65	24.368	14.42	42.817	6.96	24.485
Frecuencia danza en figura de ochos	1.01	6.498	0.81	4.149	0.25	1.016
Duración danza en figura de ochos	0.35	2.021	1.95	10.989	0.49	2.481

Preferencia y Cortejo

Debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los tiempos que las hembras pasaron con los machos PP y CG, se generó una nueva variable categórica o factor con dos niveles: macho preferido (MP) y macho no preferido (MNP), que fueron determinados calculando la diferencia entre tiempos promedio que la hembra pasó con cada fenotipo de macho.

Esta variable fue utilizada en la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para saber si las conductas de cortejo eran distintas entre MP y MNP en cada nivel de turbidez, los resultados se muestran en la tabla 5. En 0 FAU hay diferencias significativas en la duración del DA y de DFA.

Tabla 5. Valores de Z y significancia para el tiempo invertido en cada conducta de cortejo entre machos preferidos y no preferidos en cada nivel de turbidez. Los valores estadísticamente significativos se muestran en negritas.

Variable	FAU 0		FAU 33		FAU 66	
	Z	P	Z	p	Z	P
Latencia (L)	-1.51	0.13	-0.45	0.66	-0.08	0.94
Frecuencia ondulaciones de aletas (OA)	-0.46	0.65	-0.98	0.33	-1.00	0.32
Duración ondulaciones de aletas (OA)	-0.24	0.81	-1.23	0.22	-1.00	0.32
Frecuencia doblamiento de aletas (DA)	-1.22	0.22	-2.07	0.04	1.67	0.09
Duración doblamiento de aletas (DA)	-2.06	0.04	-2.11	0.03	-1.56	0.12
Frecuencia despliegue lateral (DLA)	-0.81	0.42	-0.64	0.52	-2.03	0.04
Duración despliegue lateral (DLA)	-0.59	0.56	-0.74	0.46	-2.09	0.04
Frecuencia despliegue frontal (DFA)	-1.74	0.08	-1.60	0.11	-0.11	0.91
Duración despliegue frontal (DFA)	-2.34	0.02	-2.18	0.03	-0.82	0.41
Frecuencia Overtaking (O)	-1.15	0.25	-0.97	0.33	-0.55	0.58
Duración Overtaking (O)	-1.03	0.30	-0.47	0.64	-0.41	0.68
Frecuencia danza en figura de ochos (DF8)	-1.63	0.10	-0.67	0.50	-1.99	0.05
Duración danza en figura de ochos (DF8)	-1.51	0.13	-0.94	0.35	-2.09	0.04

En FAU 33, las conductas que son diferentes entre MP y MNP son la frecuencia y duración del DA y la duración del DFA. Mientras que en 66 FAU los comportamientos que son diferentes entre MP y MNP son la frecuencia y duración del DLA y en la frecuencia de DF8.

Para evaluar los efectos e interacción de los factores: turbidez y preferencia se realizó un análisis de dos vías para medidas repetidas, para evaluar los efectos e interacción de los factores: turbidez y preferencia, el cuál no indicó que existen diferencias significativas entre niveles de turbidez ($f= 3.79$, $gl= 2$, 251 , $p= 0.0358$), sin embargo no hay diferencias significativas entre macho preferido y no preferido ($f= 0.51$, $gl= 2$, $p= 0.6038$). Además existe una relación significativa entre factores ($f= -21.3$, $gl= 4$, 251 $p<0.001$). En la figura 6 se observa la gráfica de cambios en el cortejo que exhiben los machos preferidos (MP) y los no preferidos (MNP) durante el cortejo en los diferentes niveles de turbidez del agua (análisis basado en una matriz de varianza covarianza). Se observa que en condiciones de transparencia o 0 FAU los MNP presentan un cortejo mayormente expresado por las variables de cortejo DFA, DLA y O en comparación con los MP. Sin embargo en condiciones de turbidez el cortejo disminuye para ambos y el comportamiento se invierte, teniendo más expresión de cortejo en los MP que en los MNP.

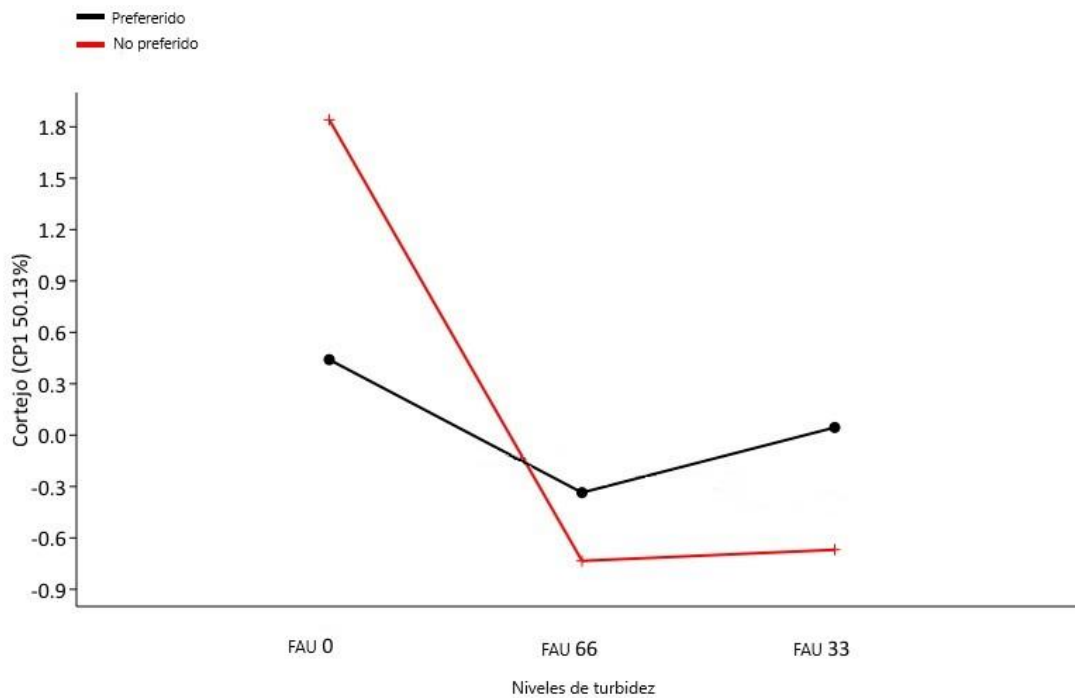


Figura 6. Cambios en el cortejo que exhiben los machos preferidos (MP) y los no preferidos (MNP) durante el cortejo en los diferentes niveles de turbidez del agua.

En la tabla 6 se muestra la tabla de medias de la frecuencia y tiempo de los comportamientos estadísticamente significativos por nivel de turbidez, se observa que en 0 FAU las hembras prefieren en general a machos que cortejen durante menos tiempo y con menor frecuencia. Pero en turbidez de 33 FAU la preferencia de las hembras cambia y prefieren a machos que cortejen durante más tiempo y con mayor frecuencia y lo mismo ocurre en 66 FAU.

Tabla 6. Tabla de medias de la frecuencia y del tiempo de los comportamientos estadísticamente significativos (en negritas) por nivel de turbidez.

		Frecuencia DA	Duración DA	Frecuencia DLA	Duración DLA	Frecuencia DFA	Duración DFA	Frecuencia DF8
Macho preferido FAU 0	<i>Media</i>	4.10	5.24	2.17	11.17	5.02	26.24	0.05
	<i>Desviación estándar</i>	5.12	6.90	2.84	13.82	5.81	36.46	0.22
Macho no preferido FAU 0	<i>Media</i>	6.57	24.17	2.62	18.40	8.36	53.12	1.98
	<i>Desviación estándar</i>	7.60	73.28	3.48	33.46	8.40	53.59	9.14
Macho preferido FAU 33	<i>Media</i>	2.85	3.10	1.72	10.62	4.15	27.59	1.00
	<i>Desviación estándar</i>	4.02	4.33	2.15	16.32	4.81	55.81	3.99
Macho no preferido FAU 33	<i>Media</i>	1.21	1.28	1.56	10.41	3.26	21.79	0.74
	<i>Desviación estándar</i>	2.14	2.29	2.36	19.13	5.07	57.84	4.64
Macho preferido FAU 66	<i>Media</i>	3.73	3.73	2.27	19.73	3.59	26.95	0.46
	<i>Desviación estándar</i>	4.69	4.69	3.67	38.25	5.12	43.19	1.42
Macho no preferido FAU 66	<i>Media</i>	2.41	2.46	1.08	6.61	3.23	23.44	0.05
	<i>Desviación estándar</i>	3.23	3.26	1.38	8.79	3.79	37.21	0.22

Preferencia y características fenotípicas del macho

Para saber si la preferencia (MP y MNP) de las hembras en *G. multiradiatus* estaba asociada al fenotipo artificialmente creado de los machos PP y GC, se realizó el estadístico de X^2 , el resultado muestra la independencia de las variables ($X^2=0.733$, $p=0.3918$), por tanto, los machos preferidos podían ser PP o CG de forma indiferente.

Se evaluó la forma de los machos explicada por las relative warps entre fenotipos mediante una T-Student, siendo diferentes en la RW2 ($t=-2.244$, $gl=20$, $p=0.036$), y después se comparó

entre MP y MNP pero no hubo diferencias en RW1 ($t=1.545$, $gl=20$, $p=0.138$), en RW2 ($t=-0.56$, $gl=20$, $p=0.582$) y en RW3 ($t=-0.431$, $gl=20$, $p=0.671$). Así mismo, se evaluó el tamaño de los machos preferidos pero no hubo diferencias en la talla entre MP y MNP ($t=-0.652$, $gl=20$, $p=0.522$).

Además, la coloración entre MP y MNP se comparó en espectro RGB ($z=-0.088911$, $p=0.929153$), y la coloración amarilla en espectro CMYK ($z=-0.622376$, $p=0.533695$), ninguna de las dos fue significativa.

Los fenotipos creados artificialmente PP y CG también fueron evaluados en su espectro de coloración, el resultado muestra que no hay diferencias significativas en los canales rojo ($p=0.614$), verde ($p=0.131$), azul ($p=0.614$) y todas juntas RGB ($p=0.614$), lo mismo sucede con el canal amarillo del sistema de coloración CMYK ($p=0.582$).

DISCUSIÓN

El presente estudio se basa en un diseño factorial de medidas repetidas de variables de selección sexual que representan señales visuales, aquí se eliminó el efecto de señales hormonales y mecánicas ya que durante las pruebas, las hembras fueron separadas de los machos por una barrera de vidrio sellada que impedía el intercambio de agua entre secciones, además, durante las pruebas los machos estaban separados por una barrera opaca de manera que no podían verse entre sí, evitando el comportamiento de competencia entre ellos. Por tanto, este diseño se encuentra enfocado a la preferencia de la hembra basada en el fenotipo visual del macho que correspondía a identificar su coloración, forma, tamaño y despliegue de cortejo. Con base en este diseño obtuvimos resultados diferentes a los que mucha de la literatura refiere ya que no se observó una preferencia significativa de las hembras hacia algún fenotipo de machos PP o machos CG en los tres niveles de turbidez. En cíclidos se ha reportado que, las señales visuales como la coloración y el tamaño son de gran importancia en el comportamiento de selección sexual, por ejemplo, en *Pundamilia nyererei* y *Pundamilia pundamilia* la coloración de los machos puede ser una señal importante y suficiente para la elección de machos conespecíficos (Selz *et al.*, 2013). Plath *et al.* (2007) evaluó la preferencia femenina de *mexicana* en tres experimentos para saber si las hembras de esta especie eran capaces de diferenciar entre sexos y entre especie o si sólo identificaban fenotipos grandes, en el primer experimento las hembras podían elegir con base en señales visuales y no visuales; en el segundo las hembras podían elegir basándose

únicamente en señales no visuales y en el tercero las hembras podían elegir basándose únicamente en señales visuales. Cada experimento ocurrió bajo tres escenarios, en el primero las hembras de *Poecilia mexicana* tenían opciones de talla (grandes y pequeñas) de hembras heterospecíficas de *Xiphophorus hellerii*; en el segundo a las hembras se les colocaron opciones de talla (grandes y pequeñas) de hembras conespecíficas; y en el tercero a las hembras se les colocaron opciones de talla (grandes y pequeñas) de machos conespecíficos. Los resultados mostraron preferencia hacia machos y hembras conespecíficas más grandes en todos los tratamientos. Solo hubo preferencia hacia hembras heterospecíficas grandes en el experimento donde las hembras sólo podían basarse en señales visuales para la elección de pareja, pero no hubo preferencia cuando las hembras podían elegir basándose únicamente en señales no visuales. Por lo que la preferencia no visual por fenotipos grandes en esta especie parece estar mediada por especies, pero no por señales específicas del sexo, lo que sugiere que además de las señales visuales, las señales químicas específicas de la especie juegan un papel importante durante la elección de pareja. En *Xiphophorus birchmanni*, la preferencia de las hembras está dirigida hacia machos que presentan una cola de espada más larga, lo que además se relaciona con el rango de dominancia (Robinson *et al.*, 2011) y también en *Limia nigrofasciata* se ha reportado que existe preferencia de la hembra hacia fenotipos de mayor longitud (Holz, 2015). En la mayoría de las investigaciones reportan la importancia de las señales químicas para la elección del fenotipo, sin embargo en esta investigación esta señalización no existió, por tanto nuestros resultados indican que el efecto hormonal en la elección de pareja es muy importante. Mientras que el componente visual aislado, es seriamente afectado y se refleja en la disminución del tiempo que las hembras pasaban con ambos machos, en ambos niveles de turbidez, de manera que a mayor turbidez menor tiempo de atención y mayor latencia, lo que puede deberse al impacto que la turbidez tiene en la visión de los peces.

Se ha reportado que la turbidez tiene influencia directa en la preferencia femenina, Candolin *et al.* (2016) encontró que la turbidez generada por algas disminuye el comportamiento de cortejo de *Gasterosteus aculeatus* y que también prolonga el tiempo que las hembras

invierten evaluando a los machos antes del desove, similar a nuestros resultados. En *Nerophis ophidion* la preferencia de los machos hacia hembras de mayor tamaño y mayor ornamentación se ve afectada en condiciones de turbidez generada por algas (Sundin *et al.*, 2016). En *Poecilia mexicana* las hembras provenientes de ambientes con disminución de la claridad del agua y donde el estado nutricional de los machos es malo, existe una preferencia marcada hacia machos con buen estado nutricional, incluso en condiciones de oscuridad, mientras que hembras provenientes de ambientes con agua clara y donde el estado nutricional de los machos es bueno no hay preferencia alguna (Plath *et al.*, 2005). En cíclidos Wright *et al.* (2017) encontró que las condiciones de luz durante el desarrollo influyen significativamente en la preferencia de las hembras. Nuestros resultados apoyan la literatura anterior dejando más evidencia para el efecto de la turbidez en la selección sexual en peces, nuestros resultados indican que la elección visual de las hembras de *G. multiradiatus* está en función del comportamiento de cortejo de los machos y que presenta variación entre niveles de turbidez. En FAU 0 o transparencia total las hembras prefirieron machos cuyos despliegues de cortejo no eran tan frecuentes ni de larga duración (Fig. 6), mientras que los MNP, se puede decir, que eran los que mayor esfuerzo de cortejo realizaban ya que la frecuencia y duración de sus despliegues fue mayor, principalmente en los despliegues lateral y frontal, en el overtaking y en el doblamiento de aletas, mientras que en FAU 33 este patrón se invirtió y los MP fueron aquellos con mayor esfuerzo de cortejo, aunque este esfuerzo fue menor en comparación con el registrado para FAU 0. Lo mismo sucedió en FAU 66 pero con mayor atenuación del comportamiento para ambos tipos de machos, los resultados de preferencia femenina encontrados en turbidez, además, coinciden con los encontrados por De Gasperin Quintero (2011) que reportó que en la laguna de Zempoala las hembras prefieren machos que cortejen con mayor frecuencia despliegues de aletas, y que cortejen durante más tiempo.

Más aún, la turbidez afectó el comportamiento de los machos quienes disminuyeron la frecuencia y duración de sus despliegues, principalmente en el nivel 66, esto concuerda con lo que reporta Candolin *et al.* (2016) en *Gasterosteus aculeatus*.

La variación en la preferencia de las hembras así como la disminución en la frecuencia y duración de los despliegues de cortejo de los machos tal vez puedan deberse a la obstaculización de la percepción de las señales visuales o a la respuesta que los peces tienen a los cambios que ocurren en su ambiente, ya que en los peces la comunicación visual juega un rol importante en el reconocimiento de parentesco y familiaridad, identificación de depredadores, forrajeo, aprendizaje, o conducta social, como sucede con el comportamiento de *Poecilia reticulata* que en agua turbia es significativamente menos activo, los cardúmenes son más pequeños y hay una mayor probabilidad de encontrar a peces solitarios (Borner, 2015).

Dicha variación en la preferencia de las hembras y el comportamiento de los machos también refleja una respuesta plástica, es decir, es un recurso de los organismos para responder a las variaciones ambientales, la turbidez podría también influir en la expresión fenotípica de los organismos de acuerdo con las variaciones de este parámetro físico del agua, tal como se reporta para *Cyprinella lutrensis* que muestra una relación positiva que asocia el tamaño del ojo y el incremento de la turbidez del agua y además se observa que los peces que provienen de ambientes más turbios presentan una coloración de cortejo más intensa (Dugas, 2016). Incluso en centrárquidos como *Lepomis macrochirus*, *Lepomis cyanellus* y sus híbridos que habitan arroyos con indicios de degradación se ha investigado la respuesta a la turbidez del agua, encontrando que, hay relación positiva entre la longitud estándar y la coloración roja-amarilla (basada en carotenoides) en los tres grupos y al mismo tiempo se encontró una relación negativa entre la turbidez y la expresión de la coloración roja-amarilla en *Lepomis macrochirus*, con lo que se pone en evidencia que la turbidez afecta la saturación de color basada en carotenoides en centrárquidos (Atkinson, 2015).

El efecto de la turbidez del agua en el patrón de comportamiento de cortejo de machos de *Girardinichthys multiradiatus*, se refleja marcadamente en los despliegues que hacen los machos con las aletas (cortejo estático, De Gasperin, 2011) mientras que los despliegues corporales, overtaking y danza en 8 (cortejo Dinámico, De Gasperin, 2011) se mantienen sin ser afectados, en las comparaciones FAU 0-FAU 33 y FAU 0-FAU 66, mientras que entre

niveles de turbidez (FAU 33 y FAU 66) la diferencia se encuentra solo en ondulaciones y doblamiento de aletas. El efecto de la turbidez del agua en el comportamiento de cortejo de los machos de *G. multiradiatus* concuerdan con el supuesto de que la alteración de este parámetro físico afecta de alguna forma las conductas de cortejo de los peces, en investigaciones como la de Candolin *et al.* (2016) se observa que el desempeño de cortejo en general disminuye en condiciones de turbidez; Wong *et al.* (2012) también reporta que las proliferaciones de algas afectan el desempeño de anidación y construcción de nido de *Gasterosteus aculeatus*, retardando el tiempo de construcción en ambientes con turbidez generada por algas, y obteniendo como resultado final nidos más pequeños y con entradas de nido más anchas. Los resultados de estas investigaciones permiten ver que el incremento en la turbidez del agua generada por algas como consecuencia de la eutrofización afecta de manera significativa las conductas de anidación y construcción del nido. No obstante, también se ha visto que esta variación en los ambientes acuáticos puede propiciar a que los peces respondan positivamente en términos conductuales, tal como lo reporta Engstrom-Ost y Candolin (2006) también para la especie *Gasterosteus aculeatus* en donde observó que conforme aumenta la turbidez del agua los machos muestran exhibiciones de cortejo más intensas, pero aun respondiendo positivamente, estos cambios conductuales siguen siendo una desventaja para los machos ya que se aumentan los costos de apareamiento en términos de tiempo y energía. En *G. multiradiatus* se observa que los machos preferidos en condiciones de turbidez son los que realizan más despliegues de cortejo y de mayor duración, siendo estos, los que probablemente tengan mayor oportunidad de reproducirse en ambientes turbios, aclarando que, en general las conductas de cortejo de los machos en turbidez comparadas con las registradas en transparencia fueron significativamente menores. Estos resultados ponen en evidencia que no sólo el patrón de cortejo de los machos de *G. multiradiatus* es afectado por la turbidez, sino que también la preferencia de las hembras hacia un comportamiento de cortejo de menor costo y energía se ve alterada. Vale la pena mencionar que, el ambiente que habita *G. multiradiatus* se encuentra en constante cambio, ya sea por las variaciones estacionales naturales, por el proceso de eutrofización derivado de las actividades antropogénicas, o también por la presencia de

especies invasoras como *Cyprinus carpio* que como reporta Caballero-Viñas *et al.* (2017) afecta características de historia de vida de *G. multiradiatus*, debido a que la carpa provoca un incremento de turbidez, nitratos y fosfatos en el agua. Bajo estas condiciones de variación ambiental, no sólo por la alteración de la turbidez del agua sino por cambios en la temperatura y la disponibilidad de oxígeno, que también pueden derivarse del proceso de eutrofización (Çako *et al.*, 2013; Kitchener *et al.*, 2017; Abarca, 2007), *G. multiradiatus* ha manifestado ser una especie que responde favorablemente a la adversidad de las variaciones ambientales, lo que le ha permitido sobrevivir y aunque la plasticidad fenotípica de la especie todavía no se ha estudiado a profundidad, Pérez-Guerra (2017) corrobora que esta especie presenta plasticidad fenotípica al ser alimentada con dos tipos de dieta, observando cambios significativos en la morfología de la cabeza y el cuerpo. A pesar de ello, es importante mencionar que actualmente *G. multiradiatus* no solo enfrenta las adversidades del ambiente que ocurren de manera natural, sino que, además tiene que lidiar con la problemática de eutrofización que se vive en CARL (López-López & Díaz-Pardo, 1991; Soto-Galera *et al.* 1998; Méndez-Sánchez *et al.* 2008) y que ha llevado a la disminución de la biodiversidad de acuerdo con la NOM-059-ECOL-2010, ya que en CARL dos especies nativas están extintas (*Chirostoma charari* y *C. compressum*), dos más (*Algansea barbata* y *Hubbsina turneri*), en peligro de extinción y otras tres (*Skiffia lermae*, *S. bilineata* y *Allotoca dugesi*) se encuentran amenazadas y aunque *G. multiradiatus* no se encuentra en la NOM-059 sí está considerada como vulnerable en la IUCN Red List of Threatened Species (2017-2).

La tercera hipótesis se enfoca a probar la preferencia de las hembras por machos con fenotipos de mayor tamaño frente a fenotipos de menor tamaño en *Girardinichthys multiradiatus* tanto en condiciones de cero turbidez como en condiciones de alta turbidez, sin embargo de acuerdo a las características de los MP y MNP, se encontró que para esta preferencia ni la coloración ni la forma ni el tamaño tuvieron efecto. Los resultados para la población del Bordo Ex Hacienda son contrastantes con lo que se ha documentado en *G. multiradiatus* en otras poblaciones por Macías-García (1991) que determina que en esta especie la coloración y el tamaño que poseen las aletas de los machos son de gran importancia en la preferencia de la hembra, muy probablemente estas diferencias puedan

deberse a que aunque inicialmente el tamaño de los fenotipos PP y CG fueron diferentes significativamente ($17.17 \pm DS$ mm $19.16 \pm DS$ mm respectivamente), probablemente no representaron una diferencia que las hembras pudieran detectar o tomar en cuenta. La no preferencia de las hembras de esta población por aspectos fenotípicos como talla y coloración del macho también es diferente a lo que se reporta para *Poecilia mexicana*, *Xiphophorus birchmanni* y *Limia nigrofasciata* cuya preferencia está orientada hacia fenotipos de mayor longitud (Plath *et al.*, 2007; Robinson *et al.*, 2011; Holz, 2015), o incluso en peces en donde es el macho quien elige pareja como *Nerophis ophidion* donde la preferencia de los machos está orientada hacia hembras de mayor tamaño y mayor ornamentación en condiciones de transparencia (Sundin *et al.*, 2016).

La no preferencia de las hembras de *G. multiradiatus* por machos de los fenotipos PP o CG en cuanto a coloración también difiere con lo que se ha reportado anteriormente en otras poblaciones y en otras especies como *Pundamilia nyererei* y *Pundamilia pundamilia* (Macías-García, 1991; Selz *et al.*, 2013). Esta diferencia puede deberse en primer lugar a que en esta investigación la coloración de los fenotipos PP y CG se determinó a simple vista y pese a que, bajo esta evaluación, las diferencias entre fenotipos fueron marcadas, estadísticamente no se encontraron diferencias entre fenotipos. En segundo lugar, la no preferencia de las hembras de *G. multiradiatus* puede deberse a que sólo se tomó en cuenta la coloración del espectro RGB y CMYK, pero no la UV, y probablemente para la hembra la coloración del macho en el espectro RGB y CMYK no es relevante en la elección de pareja, ya que además se sabe que *G. multiradiatus* posee visión UV la cual influye en la elección de pareja de la hembra (Macías-García & Burt de Perera, 2002). En tercer lugar, también puede deberse a que no hubo intercambio hormonal en los experimentos y este canal de comunicación también puede ser determinante no solo en la elección de pareja de la hembra, sino también en las señales que reciben los machos para continuar o detener el cortejo, ya que en pruebas piloto se observó que uno de los machos realizaba despliegues de cortejo a una hembra que estaba grávida, posiblemente porque no recibía señales hormonales o mecánicas por parte de la hembra que le indicaran que estaba grávida, ya que en *G. multiradiatus* Martínez-Medina y colaboradores (2013) reportaron que la vibración de la hembra puede tener una

función de apaciguamiento del acoso de los machos pero que también puede desempeñar un papel de atracción y estimulación de cortejo en los machos.

En este escenario donde no hay una elección visual por alguna coloración, tamaño o forma podría sugerirse que en la población se estaría dando lugar a un proceso de selección estabilizadora que se genera cuando las preferencias tienen una varianza relativamente baja con relación a alguna característica. Sin embargo, con respecto al comportamiento de cortejo de los machos podría ocurrir una selección disruptiva donde la variación de preferencia es lo suficientemente grande y si anexamos los aspectos hormonales y mecánicos, así como las competencias entre individuos con diferentes características se puede causar una selección disruptiva en las características fenotípicas. En el presente estudio se bloquearon las señales químicas y mecánicas, y esta ausencia permite entender su importancia para no generar una selección disruptiva direccional. Debido a que las distribuciones de rasgos y preferencias pueden cambiar dependiendo del contexto geográfico e histórico de la especiación, así como a través del tiempo, los mecanismos de coincidencia de fenotipos y preferencias y características separadas pueden generar diferentes modos de selección sexual en diferentes puntos en el proceso de especiación (Servedio, 2015).

Partiendo de que la selección sexual puede conducir a bajas frecuencias de alguna característica o pérdida de la característica cuando las preferencias femeninas son débiles o intermedias, pero que también la selección sexual puede aumentar las frecuencias de esa característica cuando las preferencias son fuertes, la importancia de la selección sexual estabilizadora generada por coincidencias en el fenotipo radica en que puede oponerse a cualquier selección ecológica disruptiva, evitar la especiación simpátrica por completo o causar apareamiento selectivo que evoluciona durante el proceso de especiación simpátrica para estancarse en un nivel intermedio (Servedio & Burger, 2015; Servedio, 2015). Pero aunque la selección sexual promueve diversificación, esta diversificación también se ve obstaculizada cuando las preferencias benefician a fenotipos masculinos específicos (preferencias de apareamiento "absoluto") siempre que la covarianza entre preferencias y rasgos sean menores que la varianza genética en el rasgo mismo, como se sugiere en la

“*Fisherian sexual selection*” (en donde una preferencia femenina codificada genéticamente impone éxito diferencial de apareamiento con respecto a un rasgo masculino), entonces la selección por sí sola tampoco puede impulsar la especiación ya que se requieren condiciones adicionales (Servedio & Burger, 2014), por lo que en *G. multiradiatus* la turbidez que afecta al comportamiento de selección sexual puede influir el camino evolutivo de la población estudiada así como de la especie.

CONCLUSIONES

- La turbidez del agua generada por algas verdes del género *Desmodesmus* sp. sí tiene efecto en la preferencia de las hembras de manera que sin turbidez los machos preferidos son aquellos que presentan mayores despliegues de aleta y cuerpo lateral y frontal, overtaking y doblamiento de aletas, mientras que en turbidez los machos que prefieren las hembras son aquellos que presentan mayor frecuencia y duración de despliegue DA (cortejo estático, De Gasperin, 2011) como se observa en la tabla de medias de los comportamientos estadísticamente significativos por nivel de turbidez.
- El comportamiento de cortejo de los machos sí se ve afectado por la turbidez, de manera que en FAU 0 los despliegues de aletas (cortejo estático) son más largos y frecuentes y disminuyen sus valores en turbidez 33 y 66 FAU.
- Se comprobó que, para ejemplares de *Girardinichthys multiradiatus* provenientes del Bordo Ex Hacienda (aclimatados a condiciones de semi-cautiverio) no hay preferencia de las hembras hacia machos con fenotipos de mayor tamaño, mayor coloración o determinada morfología (fenotipo de los machos pequeños pálidos (PP) ni por los machos coloridos grandes CG). Sin embargo, podemos afirmar que sí hay preferencia de las hembras, pero es en función del comportamiento de cortejo de los machos.

•De acuerdo con los resultados obtenidos en el estanque con organismos pertenecientes a la población del bordo Ex Hacienda, en donde no hubo preferencia femenina por algún fenotipo de machos PP o CG, se podría sugerir que podría darse lugar a un proceso de selección estabilizadora, y que estas condiciones se podrían dar de forma real si debido a la eutrofización se bloquean los canales de detección química y mecánica como la línea lateral y los poros faciales. Ya que como se ha mencionado, el hábitat de la población estudiada está expuesto a que se viertan contaminantes provenientes de fertilizantes utilizados en la agricultura; y está reportado que los fertilizantes comerciales de fosfato (P) contienen pequeñas cantidades de contaminantes de metales pesados como cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) y vanadio (V) y con el uso continuo estas cantidades se acumulan (Mortvedt, 1996). Es de gran preocupación el cadmio debido que hay evidencia de que en peces como *Dicentrarchus labrax* concentraciones de 5 µg l⁻¹ pueden dañar los neuromastos de la línea lateral (Faucher *et al.*, 2005), también en embriones de *Danio rerio* la exposición a metales como el cadmio, cobre y cobalto provoca daños en los neuromastos de la línea lateral (Sonnack *et al.*, 2015).

RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS:

Preferencia de las hembras

Con el objetivo de determinar con mayor precisión la preferencia de las hembras, se tendría que realizar una selección de fenotipos de machos con mayores diferencias que las que presentaron los machos utilizados en este estudio, ya que las tallas y la coloración no fueron estadísticamente significativas, aunque estas diferencias si se distinguían a simple vista. Tendrían que utilizarse machos con diferencias significativas en talla, para que las hembras puedan notarlo sin complicaciones. Respecto a la coloración, debería tomarse en cuenta la coloración UV, ya que para esta investigación no fue posible evaluarla, pero es muy importante puesto que, como reportan Macías-García & Burt de Perera (2002) la especie posee visión UV, y esta influye en la elección de pareja de la hembra.

También se debería tomar en cuenta la vibración que las hembras tienen como respuesta al cortejo para tener un conocimiento más completo del comportamiento de las hembras en función de su preferencia.

De igual forma se propone que se realicen evaluaciones de la preferencia femenina *in situ*, en hábitats con diferentes niveles de turbidez, para quitar el efecto del estrés y la aclimatación a condiciones de laboratorio y así obtener datos conductuales que ocurren en cada ambiente, lo cual no se logró en el presente estudio debido a la falta de tecnología apropiada para hacerlo, como cámaras subacuáticas ya que la observación desde la orilla, involucra mucha variación adicional.

Comportamiento de cortejo de los machos

Tal como se propone para la evaluación de la preferencia femenina, el cortejo también debe ser evaluado *in situ* y realizar comparaciones entre poblaciones.

En esta investigación no se tomó en cuenta el comportamiento de cópula porque había una barrera de cristal durante los experimentos para evitar el contacto mecánico y hormonal entre los individuos, pero en posteriores investigaciones valdría la pena profundizar en la evaluación de la conducta de cópula, así como la interacción hormonal asociada a cada característica fenotípica como talla, coloración y forma.

También sería interesante evaluar y comparar el efecto de la turbidez desde el desarrollo ontogénico y sus repercusiones en la expresión del comportamiento de selección sexual en la edad adulta.

REFERENCIAS

- Abarca, F. J. 2007. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En Sánchez, O., Herzig, M., Peters Recagno, E., Márquez-Huitzil, R. & Zambrano, L. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México: Editorial Limusa.
- Alcock, J. 1998. Animal Behavior and evolutionary approach (6th edition). Sinauer associates, Inc. Publishers sunderland, Massachussets 444, 510-511.
- Atkinson, T. 2015. The relationship between turbidity and carotenoid-based coloration of centrarchid fishes in urban streams. Honors Thesis. The Ohio State University.
- Badiou, P. H. & Goldsborough, L. G. 2010. Ecological impacts of an exotic benthivorous fish in large experimental wetlands, Delta Marsh, Canada. Wetlands, 30: 657-667.
- Bista, S. 2016. Eutrophication of Lakes Huhmarjärvi and Tervalampi. Degree Programme in Environmental Engineering. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. Finlandia.
- Borner, K. K., Krause, S., Mehner, T., Uusi-Heikkilä, S., Ramnarine, I. W. & Krause, J. 2015. Turbidity affects social dynamics in Trinidadian guppies. Behav Ecol Sociobiol 69: 645.
- Caballero-Viñas, M. C., Garduño-Paz, M. V., Méndez-Sánchez, J. F. & Macías-García, C. 2017. Indirect effects of the common carp on life history of the amarillo fish, *Girardinichthys multiradiatus*, an endemic species to The Upper Lerma Basin in Central México. Bull, Lampetra, ZO ČSOP Vlašim, 8: 144 – 165.
- Çako, V., Baci, S. & Shena, M. 2013. Water Turbidity as One of the Trophic State Indices in Butrinti Lake. Journal of Water Resource and Protection, 5, 1144-1148.
- Candolin, U., Tukiainen, I. and Bertell, E. (2016). Environmental change disrupts communication and sexual selection in a stickleback population. Ecology, 97: 969–979.
- Chapman, D (ed. 1996). Water quality assessments a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring (2nd). Published on behalf of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), the World Health Organization (WHO) & the United Nations Environment Programme (UNEP). E & F Spon, London.
- Comisión Nacional del Agua. 2016. Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cotler H., Gutiérrez S. 2005. Inventario y evaluación de presas de la Cuenca Lerma Chapala. D. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología.
- Cruz-Gómez, A. 2010. Madurez sexual y reproducción de *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904) en un embalse del Poblado de San Martín, Querétaro, México. BIOCYT, 3(9): 94-106.
- Darwin, C. 1871. The descent of man and selection in relation to sex. J. Murray, Albemale Street. London.

- De Gasperin Quintero, O. 2011. Análisis del efecto de la experiencia social temprana sobre la expresión adulta del cortejo en machos de dos poblaciones del pez *Girardinichthys multiradiatus*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Díaz-delgado, C. & Antón, D. 2002. Sequía en un Mundo de Agua. Toluca, Estado de México: Piriguazú ediciones y CIRA-UAEM.
- Dugas, M. B. & Franssen N. R. 2012. Red shiners (*Cyprinella lutrensis*) have larger eyes in turbid habitats. *Can. J. Zool.* 90: 1431–1436.
- Endler, J. A. 1980. Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*. *Evolution*, 24: 76–91.
- Endler, J. A. 1988. Sexual selection and predation risk in guppies. *Nature*, 222: 592-594.
- Engstrom-Ost, J. & Candolin, U. 2006. Human-induced water turbidity alters selection on sexual displays in sticklebacks. *Behavioral Ecology*, 18:393–398.
- Erazo-Parga, M. & Cárdenas-Romero, R. 2013. Ecología, impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente (1ª Ed.). Colombia: Ecoe Ediciones.
- Faucher, K., Fichet, D., Miramand, P. & Lagardère, J. P. 2005. Impact of acute cadmium exposure on the trunk lateral line neuromasts and consequences on the “C-start” response behaviour of the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.; Teleostei, Moronidae). *Aquatic Toxicology*, 76 (3-4): 278-294.
- Godin, J-G.J. 1995. Predation risk and alternative mating tactics in male Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*). *Oecologia*, 102: 224-229.
- González-Fernández, P. 2015. Comportamiento de forrajeo y morfología de *Girardinichthys multiradiatus* en bordos de la Cuenca Alta del Rio Lerma. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEMéx. México.
- Helfman, G. S., Collette, B.B., Facey, D.E. & Bowen, B. (2009). *The Diversity of Fishes: Biology, Evolution and Ecology* (2a Ed.). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Holz, K. 2015. Female preference and courtship behavior of *Limia nigrofasciata*. Undergraduate Honors Theses. Paper 908. University of Colorado Boulder.
- Järvenpää M. and Lindström K. 2004. Water turbidity by algal blooms causes mating system breakdown in a shallow-water fish, the sand goby *Pomatoschistus minutus*. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271: 2361–2365.
- Kitchener, B. G. B., Wainwright J. & Parsons, A. J. 2017. A review of the principles of turbidity measurement. *Progress in Physical Geography*. *Progress in Physical Geography* 1-23.
- Lemma, B. (2008). *Introduction to Lake Ecology, Aquaculture, and Fisheries in Ethiopia*. Haramaya University. Etiopía. ISBN, 9994481908, 9789994481903.
- López-López, E. & Díaz-Pardo, E. 1991. Cambios distribucionales de los peces del rio de La Laja (Cuenca Rio Lerma), por efecto de disturbios ecológicos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional*. México, 35: 91-116.
- Macías-García, C. & Burt de Perera, T. 2002. Ultraviolet-based female preferences in a viviparous fish. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 52: 1-6.

- Macías-García, C. & Saborío, E. 2004. Sperm Competition in a Viviparous Fish. *Environmental Biology of Fishes* 70:211–217.
- Macías-García, C. 1991. Sexual behaviours and trade-offs in the viviparous fish *Girardinichthys multiradiatus*. Tesis de doctorado, University of East Anglia, Norwich, UK.
- Macías-García, C., Jiménez, G. & Contreras, B. 1994. Correlational evidence of a sexually-selected handicap. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 35: 153–259.
- Magurran, A. E. & Macías-García, C. 2000. Sex differences in behaviour as an indirect consequence of mating system. *Journal of Fish Biology*, 57: 839–857.
- Maier, R. 2001. Comportamiento animal. Un enfoque evolutivo y ecológico. McGraw Hill. Madrid. 582 pp.
- Martínez-Medina, L., Macías-García, C., Flores-Urbina, A. Manjarrez, J. & Moyaho, A. 2013. Female vibration discourages male courtship behaviour in the Amarillo fish (*Girardinichthys multiradiatus*). *Behavioural Processes* 100: 163– 168.
- Martín-Vilvaldi, M. & Cabrero, J. 2003. Selección sexual. Departamento de Genética, Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, España.
- Matthews, W. J. 1998. Patterns in freshwater fish ecology (1ª Ed.). Oklahoma: Chapman & Hall.
- Mc Cully P. 2001. Silenced rivers: The ecology and politics of large dams. Zed Books, 359p.
- Méndez-Sánchez, J. F., Garduño-Paz, M. V. & Ruíz-Gómez, M. L., Hernández-Gallegos, O. & Adams, C. E. 2008. Threatened fishes of the world: *Menidia riojai* Solórzano and López 1965 (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Environ Biol Fish*, 83:211–212.
- Miller, R. R. 2005. Freshwater fishes of Mexico. University of Chicago Press, United States of America.
- Mortvedt, J. J. 1996. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. In: Rodríguez-Barrueco C. (eds) *Fertilizers and Environment. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 66. Springer, Dordrecht.
- Moreno Franco, D.P., Quintero Manzano, J. & López Cuevas, A. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78: 25–33.
- Moreta Pozo, J. C. (2008). La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Tesina de Tecnología en Saneamiento Ambiental. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- Moyaho, A., Macías-García, C. & E. Ávila Luna. 2004. Predation risk is associated with the geographic variation of a sexually selected trait in a viviparous fish (*Xenotoca variata*). *J. Zool. Lon.* 262: 265-270.
- Passos, C. 2013. “Austrolebias: un modelo para explorar la selección sexual”. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad de la República de Uruguay.

- Pérez-Guerra, D. 2017. Variación morfológica inducida por dos tipos de dieta en *Girardinichthys multiradiatus* especie vulnerable del Alto Lerma, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEMéx. México.
- Plath, M., Heubel, K. U., García de León, F., J. & Schlupp, I. 2005. Cave molly females (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae, Teleostei) like well-fed males. *Behav Ecol Sociobiol* 58: 144–151.
- Plath, M., Schlupp, I., Parzefall, J. & Riesch, R. 2007. Female choice for large body size in the cave molly, *Poecilia mexicana* (Poeciliidae, Teleostei): influence of species- and sex-specific cues. *Behaviour* 144, 1147-1160.
- Robinson, D., Tudor, M., & Morris, M. 2011. Female preference and the evolution of an exaggerated male ornament: The shape of the preference function matters. *Animal Behavior*, 81(1015-1021), 1-7.
- Rodríguez-Garzón, L. S. 2013. Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lenticos de La sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá.
- Sedeño-Díaz, J.E., López-López, E. 2007. Water quality in the Río Lerma, Mexico: an overview of the last quarter of the twentieth century. *Water Resour Manage* 21(10):1797-1812.
- Segura-García, V., Israde-Alcántara, I. & Maidana N. I. 2010. The genus *Navicula sensu stricto* in the Upper Lerma Basin, México. *Diatom Research*, 25 (2): 367-383
- Selz, O. M., Pierotti, M. E. R., Maan, M. E. Schmid, C. & Seehausen. 2013. Female preference for male color is necessary and sufficient for assortative mating in 2 cichlid sister species. *Behavioral Ecology* (2014), 25(3), 612–626.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Diario Oficial de la Federación. México.
- Servedio, M. R. & Burger, R. 2014. The counterintuitive role of sexual selection in species maintenance and speciation. *PNAS* 111 (22): 8113–8118.
- Servedio, M. R. & Burger, R. 2015. The effects of sexual selection on trait divergence in a peripheral population with gene flow. *Evolution* 69-10: 2648–2661.
- Servedio, M. R. 2015. Geography, assortative mating, and the effects of sexual selection on speciation with gene flow. *Evolutionary Applications* ISSN 1752-4571.
- Sonnack, L., Kampe, S., Muth-Köhne, E., Erdinger, L., Henny, N., Hollert, H., Schäfers, C. & Fenske, M. 2015. Effects of metal exposure on motor neuron development, neuromasts and the escape response of zebrafish embryos. *Neurotoxicology and Teratology*, 50: 33-42.
- Soto-Galera, E., Díaz-Pardo, E., López-López, E. & Lyons, J. (1998). Fish as Indicators of Environmental Quality in the Río Lerma Basin, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management Society [Aquat. Ecosyst. Health Manage.]*, 1: 267-276.
- Stearns, S. C & Hoekstra, R. F. (2005). *Evolution an introduction* (2a Ed.). Oxford University Press, Oxford.
- Strickberger, M. W. (2000). *Evolution* (3rd Ed). Canadá: Jones and Barlett Publishers.
- Sundin, J. Rosenqvist, G., Myhren, S & Berglund, A. 2016. Algal turbidity hampers ornament perception, but not expression, in a sex-role-reversed pipefish. *Ethology* 122: 215–225.

- Sundin, J., Aronsen, T., Rosenqvist, G. & Berglund, A. 2017. Sex in murky waters: algal-induced turbidity increases sexual selection in pipefish. *Behav Ecol Sociobiol.* 71: 78.
- The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 30 October 2017.
- Toledo A. & Bozada L. 2002. El delta del río Balsas. Medio ambiente, pesquerías y sociedad. Instituto Nacional de Ecología, El Colegio de Michoacán A.C., 294p.
- Valdovinos, C. & R. Figueroa. 2000. Benthic community metabolism and trophic conditions of four South American lakes. *Hydrobiologia.* 429: 151-156.
- Velázquez-Medina, A. 2014. “Características de Historia de Vida del Pez Amarillo (*Girardinichthys multiradiatus*: Goodeidae) en Tres Poblaciones de la Microcuenca Toluca-Ixtlahuaca, México”. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UAEMéx. México.
- Wagner, W. E., Jr 2015. Measuring female mating preferences. *Anim. Behav.*, 55: 1029–1042.
- Webb, S. A., Graves, J. A., Macías-García, C., Magurran, A. E., Ó Foighil, D. & Ritchie, M. G. 2004. Molecular phylogeny of the livebearing Goodeidae (Cyprinodontiformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 30: 527–544.
- Wong, B. B. M., Tuomainen, U. & Candolin, U. 2012. Algal blooms impact the quality of nest construction in three-spined sticklebacks. *Animal Behaviour* 84: 1541-1545.
- Wright, D. S., Demandt, N., Alkema, J. T., Seehausen, O., Groothuis, T. G. G. & Maan, M. E. (2017), Developmental effects of visual environment on species-assortative mating preferences in Lake Victoria cichlid fish. *J. Evol. Biol.*, 30: 289–299.
- Zambrano, L., Perrow, M., Aguirre-Hidalgo, V. & Macías-García, C. (1999). Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in central Mexico. *Journal of Aquatic Stress Ecosystems and Recovery* 6, 281-288.
- Zambrano, L., Valiente, E. & Vander Zanden, M. J. (2010). Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions* 12, 3061-3069.
- Zhang, X., Mei, X. & Gulati, R.D. 2016. Effects of omnivorous tilapia on water turbidity and primary production dynamics in shallow lakes: implications for ecosystem management. *Rev Fish Biol Fisheries*, pp 1-10.