



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

**INTERACCIÓN GENOTIPO POR SEXO EN LARGO PATRÓN
Y DE ALETA CAUDAL EN *Poecilia reticulata*
EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

QUE PRESENTA LA ALUMNA

Alquicira Carbajal Maria Fernanda

Matrícula

2142033058

ASESORES:

Dr. Gabriel Ricardo Campos Montes
Asesor Interno (NE 34761)

MC Psique Victoria Rivero Martínez
Asesor Externo (cédula 9886946)

Ciudad de México, 21 de febrero del 2020

Resumen

La acuicultura ornamental es una actividad de gran relevancia económica y social, consiste en el cultivo de organismos acuáticos con características más llamativas para su comercialización; *Poecilia reticulata* es uno de los peces de ornato más apreciado por sus características morfológicas, de coloración, reproducción y fácil manejo, pero debido a la competencia en la producción y comercialización se requiere de la utilización de herramientas para el mejoramiento de los individuos. En los programas de mejoramiento genético es importante conocer el papel que desempeñan los fenómenos biológicos y ambientales, como es el caso de la Interacción Genotipo por Ambiente (IGA), la cual estima si los genotipos tienen un efecto diferente en distintos ambientes, expresados en el fenotipo. El objetivo del presente trabajo fue estimar la interacción genotipo por sexo en el Largo de la aleta caudal (LAC) y Largo patrón (LP) en guppies. Se analizó información proveniente de familias de medios hermanos paternos de *P. reticulata*, variedad flamingo. Los resultados mostraron la media de largo patrón (LP) mayor en hembras 1.89 (0.27) que en machos 1.77 (0.15); mientras en el largo de aleta caudal (LAC) la media fue menor en hembras 0.59 (0.14), respecto a los machos 0.63 (0.11). Las correlaciones genéticas (r_G) de LP entre ambos sexos fue de 0.21 ± 0.49 ; sin embargo, para LCA no fue estimable. Se encontró Interacción genotipo por sexo en Largo Patrón (LP), mientras que en Largo de Aleta Caudal no fue estimable.

Palabras clave: Interacción Genotipo por Ambiente, *Poecilia reticulata*, Largo Patrón, Largo de Aleta Caudal.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
<i>Acuicultura de ornato en Morelos</i>	3
<i>Poecilia reticulata</i>	3
<i>Características sexuales secundarias</i>	4
<i>Características relacionadas con el sexo</i>	4
<i>Interacción genotipo por ambiente (IGA)</i>	5
<i>Correlación genética como evidencia de IGA</i>	5
<i>El efecto de la IGA en la respuesta a la selección</i>	6
OBJETIVO GENERAL.....	7
METODOLOGÍA	7
<i>Ubicación y manejo de los organismos</i>	7
<i>Formación de familias y manejo de los alevines</i>	7
<i>Obtención y análisis de los datos</i>	8
RESULTADOS.....	8
DISCUSIÓN	10
CONCLUSIÓN	12
REFERENCIAS.....	12

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ornamental es una actividad de gran relevancia económica y social, consiste en el cultivo de organismos acuáticos con características más llamativas para la comercialización, debido a ello se requiere de intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción. En México, la producción de peces de ornato ha tomado importancia en las últimas décadas como una actividad que genera ingresos a las comunidades antes agrícolas y ganaderas. Las entidades de la República Mexicana donde se encuentran establecidas las granjas de peces ornamentales son Jalisco, Estado de México, Veracruz, Yucatán y Morelos, siendo este último el principal productor. Las familias de peces con mayor producción en México son los *Anabantidae*, *Cichlidae*, *Cyprinidae* y *Poeciliidae* (SAGARPA, 2017; Martínez *et al.*, 2010).

El guppy (*Poecilia reticulata*) es uno de los peces de ornato más apreciado comercialmente, por sus características morfológicas, de coloración, reproducción y fácil manejo (Salgado *et al.*, 2008). La calidad de los guppies está determinada por las diferentes características de forma de aletas y color, en hembras y machos, debido a que los machos desarrollan características sexuales secundarias más llamativas, por lo que se cotizan mejor que las hembras. La cola de los machos es una de las características más llamativas debido a su diversidad, pueden tener al menos cuatro formas típicas de aleta caudal: aleta *de espada* y aleta *de doble espada*, ambas deben tener bordes suaves y coincidir en longitud, la aleta *en delta* debe tener un ángulo de 60°; y la aleta *de velo* debe ser un triángulo isósceles con un ángulo de 45°. La proporción de longitud del cuerpo respecto a la aleta en el macho debe ser de 1:1, mientras que en las hembras debe ser de 2:1. Los criterios relacionados al color son más difíciles de determinar por lo que simplemente se define por un color en general (rojo, azul, amarillo) o por patrones de color (bicolor, piel de serpiente, multicolor, entre otros.) (Rodríguez *et al.*, 2005; Zion *et al.*, 2008; Salgado *et al.*, 2008).

La importancia de los guppies machos, se debe a que son de uso ornamental y los pone en un mayor costo en el mercado, en consecuencia, la competencia en la

producción y comercialización conlleva a la utilización de herramientas para el mejoramiento de los individuos. Un programa de mejoramiento genético consiste en aplicar principios biológicos, económicos y matemáticos, con el fin de encontrar estrategias óptimas para aprovechar la variación genética existente en una especie de animales en particular para maximizar su mérito, en varios casos se deben considerar los fenómenos biológicos y ambientales como la Interacción Genotipo por Ambiente (Montaldo y Barría, 1998; Falconer y Mackay, 1996).

Por ello en esta investigación se pretende conocer si existe interacción genotipo por ambiente (IGA); considerando al sexo como factor ambiental; en el Largo de aleta caudal (LAC) y Largo patrón (LP) en *Poecilia reticulata* en una población generada y seleccionada en condiciones de laboratorio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Acuicultura de ornato en Morelos

En México, en la década de 1990 el cultivo de peces de ornato logró establecerse y crecer en el estado de Morelos, donde actualmente existen alrededor de 200 Unidades de Producción Acuícola distribuidas en 17 de los 33 municipios de la entidad; las cuales producen anualmente aproximadamente 17 millones de organismos de 61 variedades pertenecientes a 19 especies de las familias *Ciprinidae*, *Poeciliidae* y *Callichthyidae*, entre otras (CONAPESCA, 2018; INAPESCA, 2018). El efecto que este crecimiento ha tenido sobre la estructura de la producción acuícola ornamental del estado de Morelos determina la diversidad de la oferta e influye sobre la rentabilidad de la actividad (Martínez *et al.*, 2010). La estrategia de producción está determinada por la diversidad de la oferta y la demanda ya que una afecta directamente a la otra, por ello es necesario el uso de herramientas genéticas para mejorar a los organismos, obtener una ventaja en el costo y la producción de las especies en el mercado.

Poecilia reticulata

Poecilia reticulata (guppy) se caracteriza por ser una especie vivípara y presenta dimorfismo sexual, en general en la etapa adulta las hembras son de mayor

tamaño que los machos, éstas poseen colores con tonalidades grisáceas, mayor volumen corporal y aletas más pequeñas. En la reproducción la fertilización es interna, los machos tienen una aleta anal modificada, con un órgano intermitente llamado gonopodio (Araújo *et al.*, 2009). Las hembras son capaces de almacenar esperma viable para fecundar múltiples óvulos, 2 semanas antes de parir ensanchan y abultan su abdomen arrojando a los alevines, en promedio tienen 20 alevines por camada (Maya *et al.*, 2006).

La variación en el tamaño corporal de los guppies, específicamente en los machos, es una característica cuantitativa distribuida de forma normal dentro de las poblaciones (Reznick *et al.*, 1997). Los guppies machos muestran variabilidad fenotípica y genética para varias características sexuales secundarias, son importantes para la condición física masculina (Hughes *et al.*, 2005).

Características sexuales secundarias

Las características sexuales secundarias masculinas de algunos animales a menudo se consideran como resultados de la selección sexual. Es decir, las hembras eligen como pareja a machos con características más vistosas, con lo que pueden superar a otros machos y obtener un mayor éxito reproductivo (Karino y Haijima, 2001).

Para los guppies machos es importante que exista variabilidad fenotípica y genética en características sexuales secundarias, esto les proporciona mayor valor económico, por ejemplo, tener patrones de color muy diversos, la variación de color, número, tamaño y posición de las manchas (Hughes *et al.*, 2005). Entre estas características se encuentran algunos patrones de manchas de color, parecen heredarse con niveles bajos de depredación a través de los cromosomas X y Y, mientras que, a niveles altos de depredación, se hereda a través del cromosoma Y. Por otro lado, los genes ligados a Y son los responsables de algunas variaciones genéticas en el tamaño del macho y algunas características de color. Existe una alta variación entre las características sexuales, como las longitudes de las aletas dorsal, caudal y patrones de manchas en sus cuerpos (Karino y Haijima, 2001).

Características relacionadas con el sexo

Limitadas por el sexo: Son caracteres que se encuentran en cromosomas autosómicos, se expresan en uno solo de los sexos, aunque los genes estén presentes en ambos, un ejemplo de ello es la formación de ovarios y la producción de esperma, o la coloración en muchas especies, donde los machos son más coloridos que las hembras (Campbell y Reece, 2005; Griffiths *et al.*, 2004; Tamarin, 2015).

Influenciadas por el sexo: Son caracteres que se encuentran en cromosomas autosómicos, aparecen en ambos sexos, pero la expresión de las características depende de la constitución hormonal de los individuos, como lo es la coloración en machos y hembras o el tamaño (Campbell y Reece, 2005; Griffiths *et al.*, 2004; Tamarin, 2015).

Ligadas al sexo: Caracteres codificados en cromosomas sexuales, debido a que no pueden recombinarse se encuentran totalmente ligados al cromosoma X o Y, como lo es la forma de aletas y la coloración en algunos casos (Campbell y Reece, 2005; Griffiths *et al.*, 2004; Tamarin, 2015).

Interacción genotipo por ambiente (IGA)

La interacción de genotipo por ambiente (IGA) se define como un cambio en el rendimiento relativo de una característica expresada en dos o más genotipos, medidos en dos o más ambientes, IGA puede ser detectada a nivel fenotípico y surge cuando el desempeño de los diferentes genotipos no está influenciado del mismo modo por los ambientes (Falconer, 1996; Montaldo, 2001; Wakchaure *et al.*, 2016).

Aunque el componente ambiental no modifica la composición genética del individuo, si afecta la magnitud en la cual se va a expresar el genotipo del individuo, es decir, el ambiente en el cual se desempeña el individuo puede determinar un incremento o una disminución del valor fenotípico del animal (Villasmil, 2008; Falconer y Mackay, 1996).

Existen tres métodos principales para estimar la IGA: Componentes de varianza, correlaciones genéticas entre ambientes y análisis de patrones (Montaldo, 2001; Sae-Lim *et al.*, 2015).

Correlación genética como evidencia de IGA

La correlación genética (r_G) entre dos características, indica el grado de asociación genética aditiva existente entre dichas variables. La correlación genética puede tomar valores desde -1.0 hasta 1.0 y dependiendo del signo y la magnitud de la r_G será la manera en que están asociadas las variables involucradas (Falconer y Mackay, 1996).

Cuando la correlación genética entre los entornos es menor a uno, IGA impide la respuesta a la selección ya que puede cambiar la composición de la selección. Se espera que las correlaciones genéticas inferiores a 0.8 causen reducciones importantes en la eficiencia de los programas de mejoramiento (Falconer y Mackay, 1996; Montaldo, 2001).

La correlación genética entre los ambientes (r_g) es considerado como el criterio más útil para evaluar la importancia de IGA, al estimar la correlación genética de una característica entre ambientes se puede determinar la influencia de IGA (Dickerson, 1977; Wakchaure *et al.*, 2016).

En estudios genéticos es necesario distinguir las dos causas de correlación entre caracteres, la genética y la ambiental. La causa genética de la correlación es principalmente la pleyotropía, el ambiente es una causa de correlación siempre que los dos caracteres estén influenciados por las mismas diferencias en las condiciones ambientales (Falconer y Mackay, 1996). En el caso del sexo de los individuos, las diferencias hormonales podrían fungir como un ambiente para genes ubicados en cromosomas autosómicos, lo que puede reflejar en diferentes expresiones del genotipo dependiendo el sexo.

El efecto de la IGA en la respuesta a la selección

La *heredabilidad* (h^2) es la proporción de la varianza fenotípica que está explicada por los efectos genéticos aditivos, cuyo principal uso está en la predicción de la

respuesta a la selección. Este parámetro determina el grado de parecido entre parientes. El intervalo de este parámetro es de 0 a 1, donde los valores cercanos a cero indican un fuerte componente ambiental, mientras que valores cercanos a uno representan una elevada influencia genética (Falconer y Mackay, 1996).

Dentro de la población, el cambio producido por la selección que nos interesa principalmente es la respuesta *a la selección*, se simboliza con una R, es la diferencia de la media del valor fenotípico entre la descendencia de los padres seleccionados y la totalidad de la generación parental antes de la selección. La respuesta a la selección mide el grado de mejora logrado en uno o varios caracteres a lo largo de “n” cantidad de ciclos de selección (Falconer, 1996).

OBJETIVO GENERAL

Estimar la interacción genotipo por sexo en el largo caudal y largo patrón en *Poecilia reticulata* en condiciones de laboratorio.

METODOLOGÍA

Ubicación y manejo de los organismos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Sistemas Acuícolas del Departamento El Hombre y su Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, se utilizaron 26 familias de hermanos y medios hermanos paternos de *Poecilia reticulata*, variedad flamingo. Los candidatos a reproductores se mantuvieron en peceras de 10L, con filtros y aireación constante, a una temperatura ambiental de 27°C, recambio de agua del 30% periódicamente y alimentados una semana antes de la reproducción con *Tubifex* sp., *Artemia salina*, *Panagrellus* sp., *Daphnia* sp., y diariamente con alimento balanceado en micropelet de la marca El Pedregal® con 50% de proteína.

Formación de familias y manejo de los alevines

Para la formación de familias se utilizó un esquema de dos hembras por cada macho, en apareamientos individuales. Se colocó una hembra con el macho en un

acuario de 10L por un periodo de 7 días, posteriormente se pasó al macho con la otra hembra por otro periodo de 7 días. Las hembras llevaron una dieta de alimento vivo (una vez que se ensanchaban) con *Artemia salina*, *Panagrellus sp.*, *Daphnia sp.*, y alimento balanceado en micropellet hasta el momento del parto. Al detectar el nacimiento del primer alevín se dejó una semana más a la hembra en el acuario y posteriormente se retiró. Se ajustó la densidad de la población de crías, con 10 organismos por acuario, procurando que cada familia se colocara en al menos dos acuarios. Las crías se alimentaron con *Artemia salina* durante una semana, después de ello se mantuvieron con alimento balanceado en micropellet. A la edad de 40 días se realizó un ajuste de densidad para alcanzar una densidad de 2.2 organismos por L a 0.87 organismos por L, procurando que cada familia fuera colocada en al menos 2 acuarios. Las medidas se realizaron a la edad de 99.7 días.

Obtención y análisis de los datos

Las mediciones se realizaron a los 99.7 días de edad, para obtener la longitud total se midió de la punta de la boca a la punta de la aleta caudal; y la longitud patrón (LP) se midió de la punta de la boca a la base de la aleta caudal, el largo de la aleta caudal (LAC) se obtuvo por la diferencia entre largo total y largo patrón. De cada individuo se consideró la edad, sexo y densidad del acuario de procedencia. Los componentes de varianza de cada variable (largo patrón y largo de aleta caudal) se estimaron con un modelo animal bivariado utilizando el programa AsREML (Gilmour *et al.*, 2009). A partir de estos componentes se estimaron las heredabilidades y las correlaciones genéticas correspondientes.

RESULTADOS

La estadística descriptiva de las variables analizadas se presenta en el Cuadro 1. La media de LP fue mayor en hembras 1.89 (0.27) que en machos 1.77 (0.15), mientras que en LAC la media fue menor en hembras 0.59 (0.14), respecto a los machos 0.63 (0.11).

Cuadro 1. Estadística descriptiva para Largo patrón y Largo de aleta caudal en <i>Poecilia reticulata</i>				
	Media (DS)	CV %	Máximo	Mínimo
Largo Patrón (cm)				
General	1.83 (0.24)	13.1	2.93	1.05
Machos	1.77 (0.15)	8.5	2.18	1.21
Hembras	1.89 (0.27)	14.3	2.93	1.05
Largo Aleta Caudal (cm)				
General	0.61 (0.13)	21.3	1.2	0.11
Machos	0.63 (0.11)	17.5	1.1	0.3
Hembras	0.59 (0.14)	23.7	1.2	0.11
DS= Desviación estándar, CV= Coeficiente de variación				

Los componentes de varianza estimados con el modelo animal bivariado se muestran en el Cuadro 2. La varianza residual del LP fue mayor en hembras (0.0551) que en machos (0.0192), la varianza genética también fue mayor en las hembras (0.0123) en comparación con los machos (0.0068), la heredabilidad fue más alta en machos (0.26 ± 0.14) respecto a las hembras (0.18 ± 0.11).

Para la variable de LAC, la varianza residual fue ligeramente mayor en hembras (0.0171) respecto a los machos (0.0130), mientras, la varianza genética, fue mayor en machos (0.0015) que en hembras (0.0011), la heredabilidad fue mayor en machos (0.11 ± 0.11) comparada con las hembras (0.06 ± 0.08).

Las correlaciones genéticas (r_G) en LP entre ambos sexos fue de 0.21 ± 0.49 , sin embargo, para LAC no fue estimable.

Cuadro 2. Componentes de varianza para Largo patrón (LP) y Largo de la aleta caudal (LAC) de <i>Poecilia reticulata</i> .			
	Varianza Residual	Varianza Genética aditiva	Heredabilidad
Largo Patrón (LP)			
Machos	0.0192	0.0068	0.26 ± 0.14
Hembras	0.0551	0.0123	0.18 ± 0.11
Largo Aleta Caudal (LAC)			
Machos	0.0130	0.0015	0.11 ± 0.11
Hembras	0.0171	0.0011	0.6 0.08

DISCUSIÓN

Las hembras fueron de mayor tamaño respecto a los machos, este resultado coincide con el trabajo reportado por Nakajima y Taniguchi (2002) quienes encontraron que las hembras son de mayor tamaño en comparación con los machos; del mismo modo, Görelşahin *et al.*, (2018) reportaron que las hembras guppies siempre fueron más grandes a los machos en sus tratamientos con alimento tubifex. La densidad de todos los acuarios no fue significativa para este estudio ($P > 0.05$).

La estimación puntual de heredabilidad para LP dentro del sexo fue mayor en machos (0.26 ± 0.14), que en hembras (0.18 ± 0.11), del mismo modo la heredabilidad en LAC dentro del sexo fue mayor en machos (0.11 ± 0.11) en comparación con las hembras (0.06 ± 0.08), en ambas características LP y LAC, las heredabilidades son más cercanas a cero, lo que indican un fuerte componente ambiental (Falconer y Mackay, 1996).

Diversos autores como Brooks y Endler, 2001; Hughes *et al.*, 2005; Nakajima y Taniguchi, 2001; sugieren que existen genes asociados al cromosoma Y, el cual influye en diversos elementos de la ornamentación masculina en guppies, entre

ellos el tamaño corporal. Lo anterior concuerda con los resultados de ésta investigación, ya que se encontró que el tamaño de LP y LAC de los organismos, se heredan intrasexualmente. Por lo tanto, son características independientes que al parecer están ligados al sexo.

Las correlaciones genéticas (r_G) para LP entre ambos sexos fue de 0.21 ± 0.49 , sin embargo, para LAC no fue estimable.

La correlación genética para LP entre ambos sexos sugiere un efecto de interacción genotipo por ambiente; ya que son inferiores a 0.80 (Falconer y Mackay, 1996) lo que indica que LP es un carácter independiente que al parecer se hereda intersexualmente, es decir, las hembras grandes podrían tener hijas grandes, pero no precisamente hijos grandes. Del mismo modo sucede en los machos; el tamaño es una característica con plasticidad fenotípica que depende del carácter sexual. Por esta razón, la respuesta correlacionada a la selección es más específica intrasexualmente, donde se puede seleccionar machos por tamaño de LP, pero no se sabe cuál será el efecto en hembras.

Falconer y Mackay (1996) mencionan que cuando la correlación genética es menor a 0.80, los genotipos reaccionan de forma distinta a los ambientes, es decir los individuos posiblemente tienen distintas plasticidades ambientales, en este estudio la correlación genética de LP entre los sexos fue de 0.21 ± 0.49 , por lo tanto, las características tienen plasticidad ambiental dependiendo el sexo.

En el trabajo de Hughes *et al.*, (2005) se obtuvo una correlación significativa en el LP de 0.92 ± 0.94 , a diferencia del presente estudio, donde la correlación en LP no fue significativa 0.21 ± 0.49 , es decir, sugiere una posible evidencia de IGA.

La existencia de Interacción Genotipo por Ambiente puede implicar que el mejor genotipo en un ambiente no sea el mejor en otro (Falconer y Mackay, 1996). Es decir, para este caso, la Interacción Genotipo por Sexo, muestra que, al seleccionar las características como LP en las hembras, tendrán un resultado distinto en la descendencia de hembras y machos.

Estudios como los de Ingleby *et al.*, (2010) y Kolluru (2014) explican la importancia del ambiente en los efectos genéticos, donde la expresión fenotípica del individuo

se ve afectada por la IGA, en esta investigación, la Interacción Genotipo por Sexo afecta de manera diferente el LP en machos y en hembras.

De acuerdo con Lin y Togashi (2002) los genes favorables en un ambiente pueden volverse desfavorables en otro, algunos genes incluso pueden activarse o desactivarse dependiendo del ambiente; en la IGA, el ambiente, es decir el sexo, es favorable intrasexualmente, se encontró como evidencia que las hembras de gran tamaño dan hijas de gran tamaño.

Diversos autores como Falconer y Mackay, 1996; Sae-Lim, 2015; Lin y Togashi, 2002; mencionan que la IGA puede tener lugar debido a uno o ambos componentes: la heterogeneidad de las variaciones genéticas, y la correlación genética. Cuando una correlación es inferior a 0.8 (Montaldo, 2001), no existe un genotipo superior único en todos los entornos, y la selección en un solo entorno, podría generar ganancias genéticas inferiores a las esperadas en otros entornos, tal es el caso de esta investigación.

Existe información de IGA en peces, con relación al peso, dietas, tamaño, hormonas, selección sexual, por mencionar algunas (Sae-Lim, 2015); sin embargo, es escasa la información relacionada con las IGA en peces de ornato y aún más considerando al sexo como ambiente, por ello esta investigación es un punto de referencia de la importancia que tiene tomar el sexo como ambiente para programas de mejoramiento genético.

CONCLUSIÓN

Se encontró Interacción genotipo por sexo en Largo Patrón (LP), mientras que en Largo de Aleta Caudal no fue estimable.

Concluimos que para programas de mejoramiento genético, se debe tomar en cuenta la interacción genotipo por sexo en especies de ornato, para asegurarse que los candidatos a reproductores realmente sean la mejor opción.

Sugerimos realizar más estudios de IGA, tomando el sexo como ambiente, y con ello avanzar de manera precisa en el mejoramiento genético.

REFERENCIAS

- Araújo, F.G. Peixoto, M.G. Pinto, B.C.T. Teixeira, T.P. 2009. Distribution of guppies *Poecilia reticulata* (Peters, 1860) and *Phalloceros caudimaculatus* (Hensel, 1868) along a polluted stretch of the Paraíba do Sul River, Brasil. *Braz. J. Biol.* 69(1), 41-48.
- Brooks, R. Endler, J. 2001. Direct and indirect sexual selection and quantitative genetics of male traits in guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution.* 55(5), 1002-1015.
- Campbell, N.A. Reece, J.B. 2005. *Biología*. Editorial Medica Panamericana. 7°ed. Madrid, España. 238-292.
- CONAPESCA, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2018. *Peces ornamentales, un negocio con amplias perspectivas de desarrollo en México: CONAPESCA*.
- Dickerson, G.E. 1977. Genetic environmental interaction background information. United States Department of Agriculture. Unpublished Mimeo. NC-1, S-10, WRCC-1 Meeting. Texas.
- Falconer, D.S. Mackay, T. 1996. *Introduction to quantitative genetics*, 3°ed. Longman Scientific & Technical. New York.
- Gilmour, A.R. Gogel, B.J. Cullis, B.R. Thompson, R. 2009. *ASReml User Guide Release 3.0*. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK.
- Görelşahin, S. Yanar, M. Kumlu, M. 2018. The effects of stocking density, Tubifex feeding and monosex culture on growth performance of guppy (*Poecilia reticulata*) in a closed indoor recirculation system. *Aquaculture.* 493, 153–157.
- Griffiths, A. Wessler, S. Gelbart, W. Lewontin, RC. 2004. *Introduction to Genetic Analysis*. Macmillan Higher Education. 8°ed. 27-72.
- Hughes, KA. Rood, FH. Reznick, DN. 2005. Genetic and environmental effects on secondary sex traits in guppies (*Poecilia reticulata*). *J. Evol. Biol.* 18, 35-45.
- INAPESCA, Instituto Nacional de Pesca. 2018. *Acuicultura comercial*.
- Ingleby, F.C. Hunt, J. Hosken, D.J. 2010. The role of genotype-by-environment interactions in sexual selection. *J. Evol. Biol.* 23, 2031-2045.

- Karino, K. Haijima, Y. 2001. Heritability of male secondary sexual traits in feral guppies in Japan. *J Ethol.* 19 (1), 33-37.
- Kolluru, G.R. 2014. Genotype-by-Environment Interactions and Sexual Selection in Guppies. *Genotype-by-Environment Interactions and Sexual Selection*, 1° ed. 282-311
- Lin, C.Y. Togashi, K. 2002. Genetic improvement in the presence of genotype by environment interaction. *Animal Science Journal.* 73, 3–11.
- Martínez, D. Malpica, A. Hernández, J. 2010. Estructura de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.* 10(20), 15-36.
- Maya, E., Marañón, S. Sánchez, N. 2006. Análisis de un ciclo de producción en una granja familiar productora de poecílicos en el estado de Morelos. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.* 6(12), 67-82.
- Montaldo, H. 2001. Genotype by environment interactions in livestock breeding programs: a review. *Interciencia.* 26(6), 229-235.
- Montaldo, H. Barría, N. 1998. Mejoramiento Genético de Animales. *Ciencia al Día.* 1(2), 1-19.
- Nakajima, M. Taniguchi, N. 2001. Genetics of the guppy as a model for experiment in aquaculture. *Genetic.* 111, 279–289.
- Nakajima, M. Taniguchi, N. 2002. Genetic control of growth in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture.* 204, 393–405.
- Reznick, D.N. Shaw, F.H. Rodd, F.H. Shaw, R.G. 1997. Evaluation of the rate of evolution in natural populations of guppies (*Poecilia reticulata*). *Science (Washington, DC).* 275, 1934–1937.
- Rodríguez, J.A. Castro, G.V. Rodríguez, K.G. 2005. Selección de pareja y comportamiento sexual de los Guppys (*Poecilia reticulata*). *Orinoquia.* 9(2), 38-44.
- Sae-Lim, P. Gjerde, B. Nielsen, H.M. Mulder, H. Kause, A. 2015. A review of genotype-by-environment interaction and micro-environmental sensitivity in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture.* 7, 1–25.

- SAGARPA, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. Acuicultura ornamental: actividad con gran potencial.
- Salgado, H. Azpeitia, A. Marañón, S. Maya, E. 2008. Efecto anabólico y androgénico del esteroide acetato de trembolona en el guppy (*Poecilia reticulata*). Vet. Méx. 39(3), 269-277.
- Tamarin, R. 2015. Principios de genética. Editorial Reverté. Barcelona, España. 77-85
- Villasmil, Y. Enero 2008. Interacción Genotipo-Ambiente en la evaluación animal. Conferencia: En: Desarrollo Sostenible de la Ganadería de Doble Propósito., Maracaibo-Venezuela. II (1), 141-148.
- Wakchaure, R. Gangluby, S. Kumar, P. 2016. Genotype X Environment Interaction in Animal Breeding: A Review. Biodiversity Conservation in Changing Climate. 60-73.
- Zion, B. Alchanatis, V. Ostrovsky, V. Barki, A. Karplus, I. 2008. Classification of guppies' (*Poecilia reticulata*) gender by computer vision. Aquacultural Engineering. 38, 97-104.