

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**DISEÑO Y DESARROLLO DE CRITERIOS DE
SELECCIÓN ESTÉTICOS Y DE EFICIENCIA
PRODUCTIVA EN BARBO SUMATRANO (*Puntius
tetrazona*)**

Tesis que para obtener el grado de

DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

Psique Victoria Rivero Martínez

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR: GABRIEL RICARDO CAMPOS MONTES
ASESORA: EUGENIA GUADALUPE CIENFUEGOS RIVAS
ASESOR: JOSÉ MANUEL BERRUecos VILLALOBOS

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue definir los criterios de selección estéticos y de eficiencia productiva en *Puntius tetrazona* y estimar sus componentes genéticos. Por lo que el primer estudio está enfocado en el planteamiento de estrategias para tener un acercamiento a la objetivación de la percepción de la belleza y reconocer las características morfométricas asociadas a la belleza que son de importancia dentro de la cadena de producción, principalmente por parte de los consumidores. Lo cual, se realizó a partir de una encuesta basada en cuestionarios a los acuarófilos (n=200), comercializadores (n=39) y productores (n=27), que fue analizada a partir de un modelo ordinal acumulado, que permitió identificar que los productores tienen preferencias más atípicas, lo que los aleja de los gustos de los acuaristas indicando una desconexión existente de los productores con respecto a la demanda del mercado, la cual está relacionada con las características socioculturales propias de este sector acuícola. El segundo estudio tuvo como objetivo la estimación parámetros genéticos, por lo que parte de la información generada del primer estudio; y las características morfométricas asociadas a la belleza de *Puntius tetrazona*, fueron la longitud del pedúnculo caudal (PC), el largo ventral de la aleta caudal (LVC); el largo distal y proximal de la aleta anal (LDA y LPA), la anchura de las marcas pectoral y supra-anal (MP y MSA) y la marca media de la aleta dorsal (MMD) y como característica de eficiencia productiva se consideró el Largo Patrón (LP). Las heredabilidades para LP y PC fueron 0.22 y 0.13, respectivamente; mientras que para LVC, LDA y LPA fueron 0.17, 0.19 y 0.18; y las de MMD, MP y MSA fueron de 0.24. En cuanto a correlaciones de efectos aditivos predichos familiares oscilaron entre -0.06 y 0.90. Los resultados indican que pudiera existir una respuesta a la selección correlacionada en características morfométricas relacionadas a la estética; sin embargo, es necesario hacer estudios que evalúen diferentes esquemas de selección para *Puntius tetrazona*. Asimismo, este estudio permitió detectar morfotipos relevantes para el acuarófilo, que presentan suficiente varianza genética aditiva, que permite implementar programas de mejoramiento genético que ayuden a incrementar la rentabilidad del sector.

Palabras clave: Criterios de selección, *Puntius tetrazona*, morfometría, mejoramiento genético

ABSTRACT

The objective of this research was to define the esthetic selection criteria and productive efficiency in *Puntius tetrazona* and to estimate its genetic components. Therefore, the first study is focused on the approach of strategies to objectification of perception of beauty and to recognize the morphometric traits associated with beauty that are of importance within the production chain. This was carried out from a survey based on questionnaires to aquarist (n=200), traders (n=39) and producers (n=27), which was analyzed from a cumulative ordinal model. That allowed visualizing the existing disconnection of producers with respect to market demand, which is related to the socio-cultural characteristics of this aquaculture sector. The second study aimed to estimate genetic parameters, so that starts from the generated information of the first study. Therefore, the morphometric traits associated with the beauty of *Puntius tetrazona* in this study were: the length of the caudal peduncle (PC), the ventral length of the caudal fin (LVC); the distal and proximal length of the anal fin (LDA and LPA), the width of the pectoral and supra-anal marks (MP and MSA) and the mean mark of the dorsal fin (MMD) and as a productive efficiency characteristic the Long Pattern (LP). The heritabilities for LP and PC were 0.22 and 0.13, respectively; while for LVC, LDA and LPA they were 0.17, 0.19 and 0.18; and those of MMD, MP and MSA were 0.24. Regarding correlations of familiar predicted additive effects; they ranged between -0.06 and 0.90. The results indicate that it is possible to obtain a positive correlated selection response; however, it is necessary to carry out studies to evaluate different schemes of the selection for *Puntius tetrazona*. In addition, this study made it possible to detect relevant morphotypes for the aquarist, which present sufficient additive genetic variance, which one allows the implementation of breeding programs that help increase the profitability of the sector.

Keywords: Selection criteria, *Puntius tetrazona*, morphometry, genetic improvement

**DISEÑO Y DESARROLLO DE CRITERIOS DE SELECCIÓN ESTÉTICOS Y DE
EFICIENCIA PRODUCTIVA EN BARBO SUMATRANO (*Puntius tetrazona*)**

La presente tesis fue realizada bajo la supervisión del comité tutorial indicado a continuación y aprobada como requisito en el plan de estudios para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ TUTORAL:

Director

Dr. Gabriel Ricardo Campos Montes



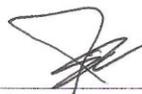
Asesora

Dra. Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas



Asesor

Dr. José Manuel Berruecos Villalobos



Comité tutorial

Director

Dr. Gabriel Ricardo Campos Montes
Profesor del Departamento del Hombre y su Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

Asesora

Dra. Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas
Profesora de la División de Estudios de Postgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Asesor

Dr. José Manuel Berruecos Villalobos
Profesor del departamento de Genética y Bioestadística de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

*** Co-Director**

Dr. Héctor Castillo Juárez
Profesor del departamento del Producción Agrícola y Animal
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Fallecido el 18 de marzo de 2019

Otros participantes

Ing. José Luis Pablos Hash
Profesor del departamento de Genética y Bioestadística de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional Autónoma de México

Biol. Sergio Octavio Chávez Andrade
Laboratorio de Sistemas Acuícolas
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

Ing. David Alberto Martínez Espinosa
Laboratorio de Sistemas Acuícolas
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

Esta tesis fue realizada dentro del programa del Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

Los programas prácticos de mejoramiento genético deben ser óptimos desde el punto de vista comercial, no desde el punto de vista teórico.

Fairfull y Muir, 1996.

*A mi papá, Roberto y Kristiina,
quienes partieron antes de este comienzo,
y al Dr. Héctor, quien partió a la mitad del camino,
pero sus enseñanzas permanecen, los quiero.*

ÍNDICE

PREFACIO	1
CAPÍTULO 1	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
1.1 Acuicultura ornamental en el estado de Morelos.....	4
1.2 Programas de mejoramiento genético en acuicultura ornamental.....	5
1.3 Criterios de selección estéticos en peces de ornato.....	7
1.4 Criterios de selección de eficiencia productiva en peces de ornato.....	8
1.5 Parámetros genéticos en peces de ornato.....	8
1.6 Barbo sumatranos (<i>Puntius tetrazona</i>).....	9
1.7 Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos.....	11
1.7.1 Estimación de los componentes de varianza	13
1.7.2 Heredabilidad	15
1.7.3 Efecto común de familia	15
1.7.4 Correlación genética	17
1.7.5 Métodos de selección	18
1.8 Literatura citada	20
CAPÍTULO 2	32
ANALYSIS OF THE PREFERENCES OF THE ESTHETIC TRAITS AN THEIR MORPHOTYPES CANDIDATES TO SELECTION CRITERIA IN TIGER BARB (<i>Puntius tetrazona</i>) IN THE ACTORS OF THE PRODUCTIVE CHAIN	32
CAPÍTULO 3	46
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS ASOCIADAS A LA BELLEZA EN BARBO SUMATRANO (<i>Puntius tetrazona</i>)	46
3.1 INTRODUCCIÓN	48
3.2 MATERIAL Y MÉTODOS	49
3.2.1 Generación de familias	49
3.2.2 Diseño de apareamientos	49
3.2.3 Manejo de los organismos	50
3.2.4 Obtención de la información	50
3.2.5 Análisis de la información	51
3.3 RESULTADOS.....	53

3.3.1 Heredabilidad	53
3.3.2 Correlaciones de medias fenotípicas familiares (r_F).....	54
3.3.3 Correlaciones de efectos genéticos aditivos predichos familiares (r_{VGA})... 54	
3.4. DISCUSIÓN.....	59
3.4.1 Heredabilidades	59
3.4.2 Correlaciones de medias fenotípicas familiares y de valores genéticos aditivos predichos familiares.....	60
3.4.3 Implicaciones de los parámetros genéticos en la selección de <i>Puntius tetrazona</i>	60
3.5 CONCLUSIONES	61
3.5 RECOMENDACIONES.....	62
3.6 REFERENCIAS.....	62
COROLARIO	68
AGRADECIMIENTOS	69

PREFACIO

La acuicultura es una industria que se ha convertido en una de las alternativas con mayor viabilidad económica. Esta industria se apoya en técnicas y procesos con los cuales se cultivan organismos acuáticos en áreas continentales y costeras bajo condiciones controladas, y se puede clasificar en la que se realiza con fines alimentarios, como es el cultivo de trucha y tilapia; y la que se realiza con organismos para fines ornamentales, como moluscos productores de perlas, plantas y peces. En particular, los peces ornamentales han tenido un incremento aproximado al 14% anual en el mercado internacional desde 1985 (Crespi y Coche, 2008; Godínez-Siordia *et al.*, 2011; Yanar *et al.*, 2019).

En especies de consumo como el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), el desarrollo y la aplicación de programas de selección genética, han sido estrategias acertadas para el aumento de la eficiencia económica y sostenibilidad de la unidad de producción (Olesen *et al.*, 2008; Rye *et al.*, 2010; Neira, 2010; Gjedrem *et al.*, 2012; Janssen *et al.*, 2017; Janssen *et al.*, 2018). La eficiencia de estos programas es esencial para el desarrollo de la acuicultura, ya que permite incrementar la producción, reducir los costos, aumentar la resistencia a enfermedades, mejorar la utilización de recursos y la calidad del producto (Gjedrem, 2005; Martínez, 2005; Olesen *et al.*, 2008; Neira, 2010; Rye *et al.*, 2010; Janssen *et al.*, 2018).

En México el principal productor de peces de ornato es el estado de Morelos, donde las unidades de producción se caracterizan por ser poco capitalizadas, poco tecnificadas y tener poca diversidad de especies en la oferta (Martínez *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2013). Lo anterior hace que se encuentren en desventaja para competir con el mercado de importación; por lo que es necesario desarrollar estrategias que aprovechen los recursos materiales y biológicos para incrementar la calidad del producto.

Para iniciar un programa de mejoramiento genético es imprescindible tener definidos los criterios de selección, es decir, las características de interés que permitan evaluar y clasificar a los reproductores. Las propiedades deseables de los criterios de selección es que sean medibles de una manera fácil y económica, y deben ser heredables y relacionadas con el objetivo de selección (Harris, 1969; Falconer y Mackay, 1996, Bodin, 2008). En la acuicultura de consumo, el enfoque de los criterios de selección está claramente definido; entre los criterios comúnmente utilizados destacan las características relacionadas con el crecimiento y la supervivencia, debido a que el ingreso económico en la industria acuícola cárnica depende de la biomasa, la cual está determinada por la cantidad y el peso corporal de los organismos cosechados (Castillo-Juárez *et al.*, 2007; Martínez y Figueras, 2007; Campos-Montes *et al.*, 2013).

En el caso de la acuicultura ornamental, una parte importante del éxito económico depende de que los organismos producidos posean características estéticas que favorezcan su comercialización; éstas características asociadas a belleza generalmente son relativas (i.e., subjetivas) lo cual ha dificultado establecer metodologías y criterios de selección. Por otro lado, es importante mencionar que debe existir un balance de los criterios estéticos con los de eficiencia productiva, que son las características involucradas en los costos de producción (Harris, 1969).

En México la producción de peces ornamentales se basa principalmente en las familias más comercializadas como son la Poeciliidae (i.e. el guppy, *Poecilia reticulata*; el pez espada, *Xiphophorus hellerii*), la Ciclidae (i.e. el pez ángel, *Pterophyllum scalare*; pez óscar, *Astronotus ocellatus*), la Osphronemidae (i.e. el pez beta, *Betta splendens*; el gourami, *Trichogaster* spp.) y la Ciprinidae (ciprínidos i.e. *Puntius tetrazona*) (CONAPESCA, 2009). Dentro de la familia Ciprinidae se encuentra el barbo sumatran (*Puntius tetrazona*) el cual es un pez popular entre los acuaristas, cultivado por un amplio número de productores nacionales y con una amplia variabilidad fenotípica, lo que lo convierte en un candidato como modelo biológico para proponer metodologías alrededor del desarrollo de líneas genéticas como estrategia viable que permita competir de mejor manera en el mercado (Rivero

et al., 2016). Sin embargo, no hay información en la literatura sobre los criterios de eficiencia productiva, ni de valoración estética, ni de como determinarla. Tampoco existe información disponible en la literatura sobre los parámetros genéticos para iniciar el diseño y desarrollo de un programa de mejoramiento genético en *Puntius tetrazona*. Por lo que el objetivo de esa investigación fue definir criterios de selección estéticos y de eficiencia productiva en *Puntius tetrazona*, y estimar sus componentes genéticos.

El presente trabajo se presenta con una revisión de literatura, dos estudios, y un corolario. El primer estudio se presenta con el artículo “Analysis of the preferences of the esthetic traits an their morphotypes candidates to selection criteria in Tiger barb (*Puntius tetrazona*) in the actors of the productive chain” publicado en la revista *Aquaculture International*. Enfocado a tener una aproximación a la objetivación de la percepción de la belleza y un acercamiento a los intereses de los diferentes actores de la cadena de producción del *Puntius tetrazona*. Y de este modo, poder identificar las características asociadas a la belleza que son de importancia dentro de la cadena de producción, principalmente por parte del mercado. Siendo esto, el primer paso para poder identificar aquellas, que pudieran cumplir con los requerimientos indispensables para ser criterios de selección, es decir que sean heredables y fáciles de medir (Bodin, 2008) y posteriormente definir los criterios de selección de características morfométricas asociadas a la belleza del *Puntius tetrazona*.

El segundo estudio se presenta redactado en forma de artículo, y se enfoca en la estimación de los parámetros y componentes genéticos de las características candidatas a criterios de selección resultantes del primer estudio. Siendo un elemento determinante en la definición de los criterios de selección, ya que da a conocer cuan heredables son dichas características y permite proyectar posibles escenarios de respuesta a la selección.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Acuicultura ornamental en el estado de Morelos

En México el principal productor de peces de ornato es el estado de Morelos; donde la acuicultura ornamental se considera del sector social debido a los sistemas de producción que utiliza y la eficiencia técnica y económica de las granjas (Martínez *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2013). En términos generales, es una actividad que desde sus inicios ha ido en crecimiento en la producción y ha contribuido a la generación de empleos e ingresos económicos. En los últimos 10 años, cada año se comercializan más de 40 millones de peces en el país, de los cuales el 52% corresponde a la producción nacional, Morelos tiene el registro con el mayor número de granjas (219) granjas que generan alrededor de 40 mil empleos directos e indirectos (INAPESCA, 2018). Sin embargo, al mismo tiempo el incremento en el número de granjas ha acarreado un efecto negativo que se ve reflejado en la competitividad del sector; en parte porque la misma competencia entre productores los ha llevado a concentrarse en la producción de volumen, sin considerar la calidad de sus productos, además de que la diversidad de oferta de especies ha sido insuficiente, lo que ha favorecido el incremento de importaciones y ha impedido que la producción alcance las características necesarias para competir en el mercado internacional (Martínez *et al.*, 2013).

Por lo anterior, es importante que los acuicultores de peces de ornato consideren mejorar sus técnicas e implementar estrategias para aumentar la producción y la calidad de sus productos. Una alternativa viable es el desarrollo e implementación de programas de mejoramiento genético, lo cual permitiría que haya una reestructuración en el sector, donde existan granjas especializadas que funcionen como núcleos genéticos, granjas multiplicadoras y granjas comercializadoras, como sucede en la producción avícola, porcina y de bovinos. Lo que, a su vez, permitiría una competencia equitativa entre productores (Campos- Montes y Martínez, 2016).

1.2 Programas de mejoramiento genético en acuicultura ornamental

Un programa de mejoramiento genético es una estructura organizada que consiste en la aplicación de principios biológicos, económicos y matemáticos con el fin de encontrar estrategias para aprovechar de manera óptima la variación genética existente en una especie, realizando apareamientos que impliquen mejorar la calidad de la población con un fin zootécnico, y así cubrir las necesidades de la futura demanda comercial (Montaldo y Barría, 1998). Los pasos básicos en el diseño y desarrollo de un programa de mejoramiento genético son: 1) definir el objetivo de acuerdo al sistema de producción, 2) desarrollar los criterios de selección, 3) determinar un esquema de mejoramiento genético, 4) diseñar un sistema de difusión, 5) diseñar los apareamientos, 6) análisis económicos del beneficio y costo de los programas de mejoramiento genético, entre otros factores y 7) comparar programas de mejoramiento genético alternativos (Harris y Newman 1994; Garrick y Golden, 2009).

El objetivo de los programas de mejoramiento genético en peces de ornato debe considerar los aspectos relacionados con la rentabilidad de la producción y de calidad estética de los peces (Harris, 1969; Campos-Montes, *et al.*, 2012). Por lo que la combinación adecuada de criterios de selección de eficiencia productiva y estéticos, es crucial para el éxito de los programas de mejoramiento genético en este sector.

Los criterios de selección deben ser características que actúen sobre el objetivo de selección, características que, necesariamente se puedan medir (de manera fácil y económica) y a su vez, tengan componentes genéticos (Harris, 1969; Falconer y Mackay, 1996; Harris, 1998; Bodin, 2008; Garrick y Golden, 2009). La inclusión de una característica como un criterio de selección de un programa de mejoramiento genético en acuicultura ornamental debe considerar la combinación de aspectos biológicos, estadísticos y económicos en la valoración sobre el potencial para ser mejorado genéticamente, así como su relación genética con otras características de interés (Harris, 1969; Harris, 1998; Garrick y Golden, 2009). En el caso de la acuicultura ornamental los criterios de selección pueden ser divididos en criterios de

eficiencia productiva, que son los que se enfocan de manera directa a características de producción y criterios estéticos, los cuales están orientados a las características de belleza.

Es importante mencionar que las características de tipo cuantitativo, como las características de producción, están determinadas por el efecto de muchos genes y son afectadas por el medio ambiente (Falconer y Mackay, 1996). Por lo tanto, otro elemento a considerar en el diseño de programas de mejoramiento genético en acuicultura ornamental es el efecto del ambiente; ya que debido a la dificultad para utilizar métodos de identificación individual originada por el pequeño tamaño corporal de los organismos acuícolas en etapas tempranas, es necesario mantener a los grupos de hermanos creciendo en un mismo tanque, es decir, en un ambiente común hasta que puedan ser identificados al menos familiarmente (Ninh *et al.*, 2011; Sang *et al.*, 2012; Sandford *et al.*, 2020). Lo anterior implica una posible confusión entre las diferencias explicadas por los efectos genéticos de la familia (aditivos y no aditivos), los efectos maternos (genéticos y ambientales) y las explicadas por factores ambientales comunes a la familia (por ejemplo, calidad de agua en el tanque y las interacciones sociales), lo cual puede disminuir la precisión de la estimación de los parámetros genéticos y, por lo tanto, la precisión de la predicción de la respuesta a la selección, así como de los valores genéticos predichos (Castillo-Juárez, 2007; Ninh *et al.*, 2011). Los parámetros genéticos, necesarios para instrumentar un programa de mejoramiento genético son la heredabilidad, que es la proporción de la varianza fenotípica que está explicada por los efectos genéticos aditivos, y la correlación genética que mide el grado de asociación genética aditiva entre dos características (Falconer y Mackay, 1996). Los parámetros anteriores son utilizados para predecir la respuesta a la selección de las características de interés (Gall, 1990; Falconer y Mackay, 1996).

En tanto que, las características de tipo cualitativo (color o presencia-ausencia de marcas), normalmente son determinadas por pocos genes y se ven poco afectadas por el medio ambiente. Sin embargo, es importante determinar las acciones génicas (dominancia, aditividad y epistasis) involucradas en este tipo de características en

peces de ornato para considerarlas en la aplicación de cualquier método de mejoramiento genético (Falconer y Mackay, 1996; Echeverri *et al.*, 1999).

1.3 Criterios de selección estéticos en peces de ornato

En general, los estudios de genética cuantitativa en peces se han enfocado principalmente en características como el crecimiento, la talla corporal, la edad de madurez sexual y calidad de la carne; pero muy pocos estudios se han enfocado en características de apariencia en relación a las características de producción (Kause *et al.*, 2003; Colihueque y Aranea, 2014).

En la acuicultura ornamental las características asociadas a la belleza son un factor importante en la economía de las unidades de producción, por lo que su inclusión en los programas de mejoramiento genético es fundamental; sin embargo, la belleza es un elemento subjetivo que ha dificultado establecer los criterios de selección en la acuicultura ornamental (Rivero *et al.*, 2016; Rivero-Martínez *et al.*, 2020). Propiedades como el equilibrio y la simetría están fuertemente relacionadas con la belleza, y pueden ser determinadas por medidas corporales, características que suelen ser poligénicas y afectadas por factores ambientales (Adorno, 1971; Beaumont y Hoare, 2003). Otros caracteres como los colores, los patrones de marcas y la forma de aletas presentan poca variabilidad dentro de especie, suelen ser determinadas por pocos genes y estar poco relacionadas con efectos ambientales (Falconer y Mackay, 1996; Beaumont y Hoare, 2003; Medina, 2013).

En otras especies, como los perros, los equinos y el ganado (bovinos, caprinos, ovinos y porcinos) existen estándares raciales de belleza ya establecidos. Sin embargo, en términos generales en peces ornamentales existe poca información de estándares de belleza, por ejemplo, se sabe que, en el guppy, la proporción aleta caudal: cuerpo es 2:1 y 1:1 para los machos y hembras, respectivamente (MacRae, 1961; Zion *et al.*, 2008). Estos estándares no existen para *P. tetrazona*.

Dado que la belleza de un organismo puede componerse por diversos elementos, una alternativa para determinar los criterios de selección estéticos es proporcionar

una calificación global de la belleza; la cual puede determinarse a través de estudios de opinión que definan los estándares de belleza para poder establecer los objetivos de selección de los programas de mejoramiento genético en peces de ornato (Rivero-Martínez *et al.*, 2020).

1.4 Criterios de selección de eficiencia productiva en peces de ornato

En acuicultura ornamental los criterios de selección relacionados a la eficiencia productiva se pueden agrupar en tres rubros: 1) las características relacionadas al crecimiento, como es la talla corporal, la cual se asocia con el precio a la venta, 2) las características relacionadas con supervivencia, que determinan en parte el número de individuos comercializados y 3) las características reproductivas, que se asocian directamente con el abasto de animales para producción. La adecuada combinación de estos indicadores se asocia directamente al beneficio económico y al retorno de inversión que nos indica la rentabilidad del programa y al costo por unidad de producción (Harris, 1969; Rivero-Martínez *et al.*, 2020).

Se sabe, que para las características relacionadas al crecimiento en otras especies acuícolas como la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), pez pacu (*Piaractus mesopotamicus*), entre otros, el valor de las heredabilidades oscilan entre 0.04 y 0.76; en cuanto a características de supervivencia (porcentaje de supervivencia), las heredabilidades varían entre 0.08 y 0.16; y para características reproductivas se han encontrado heredabilidades entre 0.07 y 0.53 (Gjerderm, 2005; Ponzoni, *et al.*, 2005; Caballero-Zamora, *et al.*, 2013; Lozano, *et al.*, 2013; Sae-Lim *et al.*, 2017; Thorland *et al.*, 2020; Freitas *et al.*, 2020).

1.5 Parámetros genéticos en peces de ornato

Existe poca información sobre parámetros genéticos características relacionadas a la belleza en peces de ornato. En el guppy (*Poecilia reticulata*), que se ha utilizado con frecuencia como modelo biológico en los estudios de evolución. Karino y

Haijima (2001), en su estudio sobre selección sexual documentaron heredabilidades para el largo patrón y el largo relativo de la aleta caudal y la aleta dorsal, así como el área relativa de la mancha naranja, con valores de 0.66, 0.48, 0.78 y 1.02, respectivamente, mientras que Brooks y Endler (2001) para el área de la aleta caudal en machos y hembras estimaron heredabilidades de 0.82 y 0.0, respectivamente. En otro estudio enfocado a estimar los parámetros genéticos del largo patrón y el largo de la aleta caudal en *Poecilia reticulata*, se estimaron heredabilidades para el largo patrón y el largo de la aleta caudal con valores de 0.57 y 0.17, respectivamente, y una correlación genética de 0.36, para ambas características (Cortéz *et al.*, 2017).

En algunos estudios de especies que podrían llamarse de doble propósito, ya que principalmente tienen un fin alimentario en sus áreas endémicas, pero fuera tienen un fin ornamental como que el caso del pacu (*Piaractus mesopotamicus*), pez que en Sudamérica se usa principalmente con fines alimentarios y en otras regiones se utiliza como pez ornamental, se estimaron heredabilidades para características morfométricas como el largo patrón, la altura de la cabeza y la altura de la región posterior, entre otras, con valores de 0.74, 0.34 y 0.42, respectivamente; y la correlación entre las características osciló entre 0.37 y 0.77 (Freitas *et al.*, 2021). El caso de la carpa Oujiang (*Cyprinus carpio* var. color) se estimaron heredabilidades para la altura y el largo el pedúnculo caudal a los 8 y 20 meses de edad, con valores de 0.28 y 0.38; y 0.38 y 0.71, respectivamente (Wang, 2009).

1.6 Barbo sumatranos (*Puntius tetrazona*)

El *Puntius tetrazona* es un pez originario del sureste asiático, también conocido como sumatranos, barbo tigre o barbo de Sumatra, cuya clasificación taxonómica es:

Orden: Cypriniforme
Suborden: Caracoidei
Familia: Cyprinidae
Subfamilia: Cyprininae
Género: *Puntius*, *Puntigrus**
Especie: tetrazona

* término usado por Kottelat, 2013

Es un pez comportamiento bento-pelágico, que se adapta a aguas con dureza de 100 a 2500 ppm de CaCO₃ y pH de 6.5 a 8. El rango de temperatura óptima para el crecimiento es 22°C a 25°C (Tamaru *et al.*, 1997; Auró, 2006; Breitenstein, 2004). En edad adulta llega a medir 6 cm de largo total y posee de cuerpo de forma ovoide, la variedad tigre o silvestre presenta tonos que varían de naranja a plateado, los bordes de las escamas del dorso son oscuros y los bordes exteriores de las aletas dorsal y anal generalmente presentan tonos rojos. Su rasgo característico es la presencia de cuatro rayas transversales de color negro en los costados que pueden variar en el grosor (Auró, 2006; Breitenstein, 2004). Además de la variedad tigre, el *P. tetrazona* presenta otras tres variedades, la primera que corresponde a la denominada albina o amarilla, en la cual las rayas transversales son color blanco; la segunda denominada verde, de la cual tiene el cuerpo de color verde metálico sin rayas y la tercera donde se presentan las rayas en color verde metálico (Ver Figura 2.5.1). El *P. tetrazona* normalmente alcanza la madurez sexual al tener 3 cm de longitud corporal. No tiene un dimorfismo sexual; sin embargo, se ha observado que el macho generalmente posee una coloración roja en la boca, mientras que las hembras tienden a ser más redondas en la región abdominal, durante la época reproductiva y ligeramente menos coloridas. El comportamiento reproductivo del macho es agresivo-territorial mientras que la hembra es sumisa (Tamaru *et al.*, 1997).

El *P. tetrazona* posee características de interés estéticas y de eficiencia productiva como la edad en que alcanza la talla mínima de venta aproximadamente a las 17 semanas (dependiendo de la época del año), ser una especie prolífica, ovípara (desoves de alrededor 300 huevos) y de fecundación externa, lo que hace posible realizar fertilización artificial; además es una especie que crece de manera favorable bajo condiciones de laboratorio como en estanquería (Tamaru *et al.*, 1997; Breitenstein, 2004); que en conjunto, facilita mantener estructuras familiares haciéndolo un adecuado modelo de investigación para el diseño y desarrollo de criterios de selección. Sin embargo, se desconocen características que determinan

su valor estético, así como los parámetros genéticos relacionados a dichas características.

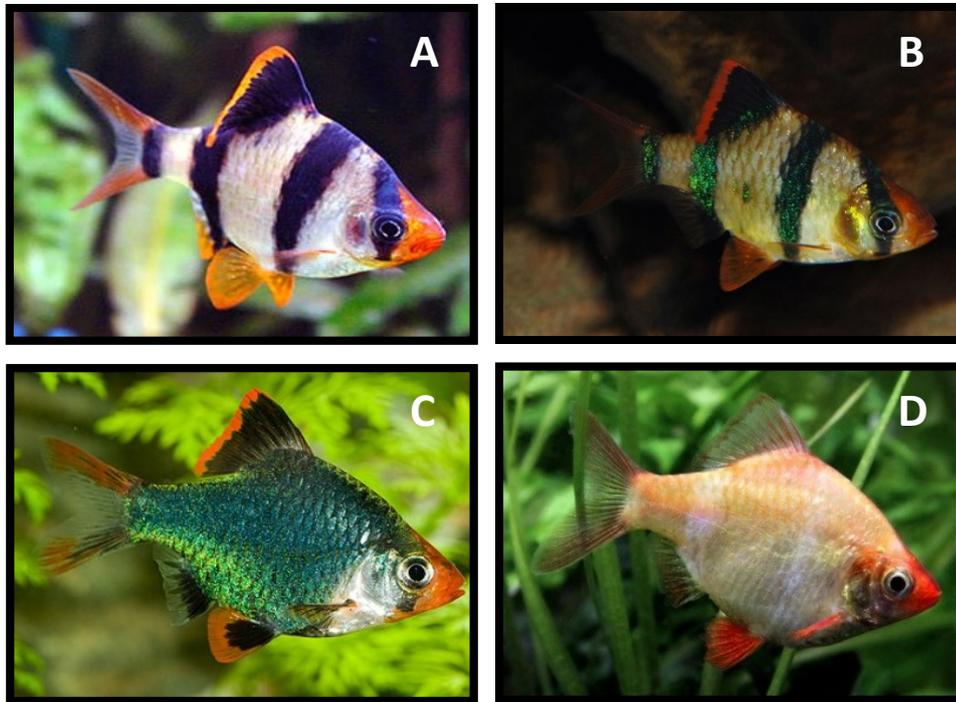


Figura 2.5.1 Puntius tetrazona (A) variedad silvestre, (B) variedad silvestre con marcas verdes, (C) variedad verde y (D) variedad amarilla (Ariffin, 1999). Fotos tomadas de internet

1.7 Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos

Para explicar la variación fenotípica, es necesario analizarla en sus componentes, los cuales se atribuyen a diferentes factores, denominados efectos. En forma general, la varianza fenotípica (σ_P^2) se descompone en las varianzas debidas a los efectos ambientales y la explicada por los efectos genéticos (Falconer y Mackay, 1996). La varianza fenotípica se representa de manera general como:

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

Donde σ_G^2 corresponde a la varianza genética, σ_E^2 es la varianza ambiental; en tanto que la σ_G^2 se compone por la suma de las varianzas aditiva (σ_A^2), varianza de dominancia (σ_D^2) y la varianza epistática (σ_I^2) (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998). En acuicultura es común considerar una varianza explicada por los efectos que son comunes a una familia (f), los cuales están asociados a efectos por compartir un ambiente común, así como a efectos genéticos no-aditivos y maternos que son comunes a los hermanos (Falconer y Mackay, 1996; Walsh y Lynch, 1999; Castillo-Juárez *et al.*, 2007).

Sin embargo, para la estimación de componentes de (co)varianza y en la predicción de valores genéticos en acuicultura es necesario considerar la existencia de efectos confundidos (maternos y de ambiente común). Esto que no puede separarse en el análisis deriva de problemas con las técnicas de identificación ya que, dado el pequeño tamaño corporal de los peces ornato como el *P. tetrazona* en edades tempranas, se debe mantener por algunas semanas a las familias de hermanos creciendo en un mismo tanque, en donde comparten un ambiente común (Montaldo *et al.*, 2012) separadas del resto de las familias. Otros efectos que pueden influir en la estimación de los parámetros genéticos en la acuicultura ornamental pueden ser los relacionados con el proceso de selección asociado indirectamente con la característica de interés o la existencia de interacciones genotipo por ambiente (Falconer y Mackay, 1996; Cameron, 1997; Schaeffer, 2010).

La selección tiene efecto sobre la modificación de la frecuencia de los alelos en la población, originando una reducción en la varianza genética debido al desequilibrio y a la consanguinidad. En caso de no ser considerado este efecto en la estimación de componentes de (co)varianza puede conducir a una sobreestimación de los mismos (Falconer y Mackay, 1996; Cameron, 1997; Muir, 2005; Bijma *et al.*, 2007; Schaeffer, 2010) y por lo tanto a una proyección inadecuada de la respuesta a la selección.

1.7.1 Estimación de los componentes de varianza

Para la estimación de los componentes de la varianza fenotípica existen varios métodos, entre los que destaca el denominado Modelo Animal - REML (Henderson, 1984; Mrode, 2005; Thompson *et al.*, 2005). La máxima verosimilitud restringida (REML por sus siglas en inglés: Restricted Maximum Likelihood), es un método que permite maximizar la verosimilitud, la cual es una función de los parámetros de un modelo estadístico que permite realizar inferencias acerca sus valores, a partir de un conjunto de observaciones, permitiendo conocer la mayor probabilidad de estimar el valor verdadero dentro de un espacio parametral establecido. Asimismo, considera la pérdida de grados de libertad para ajustar los efectos fijos, y por sus propiedades asintóticas es de los métodos más utilizados para estimar componentes de varianza y covarianza. Entre sus principales ventajas, los datos pueden ser desbalanceados y es una metodología robusta que permite utilizarlo con datos que no cumplen con el supuesto de normalidad (Van der Werf, 2003; Thompson *et al.*, 2005). El modelo animal permite considerar de forma simultánea la información genealógica y de producción de los individuos de una población, corrigiendo para los efectos ambientales, así como los cambios de la varianza genética como consecuencia del proceso de selección (Van Vleck, 1993; Lynch y Walsh, 1998; Mrode, 2005; Thompson *et al.*, 2005).

Para realizar una evaluación genética, se utilizan metodologías que permiten modelar factores de confusión y reducir el error aleatorio, lo que permite aumentar la precisión en la selección de los candidatos a reproductores y separar los efectos genéticos aditivos de los demás efectos. Por lo general, la varianza siempre se relaciona a efectos particulares que tienen un impacto en las observaciones, esto quiere decir que, entre más efectos aleatorios habrá más componentes de los cuales se tenga que cuantificar la contribución de cada uno de ellos (Falconer y Mackay, 1996; Van der Werf y Goddard, 2003). Los factores ambientales que tienen un impacto en las observaciones se pueden clasificar en dos: los efectos fijos y los efectos aleatorios (Lynch y Walsh, 1998; Van der Werf y Goddard, 2003; Mrode, 2005; Gjerdem y Baranski, 2009). Los efectos fijos son aquellos en que las clases

o grupos definidos comprenden todos los niveles posibles de interés (generalmente un número pequeño de clases), que pueden ser repetidos y que influyen de manera importante la expresión del fenotipo (Van der Werf y Goddard, 2003; Mrode, 2005). En acuicultura algunos ejemplos de estos efectos son el sexo, la edad, y la densidad de siembra. Los efectos aleatorios son aquellos que consideran un número infinito de niveles y son irrepetibles, entre los cuales están los efectos genéticos no aditivos (explicados por los efectos de epistasis y dominancia), y los efectos genéticos aditivos (los que pueden transmitirse a la progenie). Algunos ejemplos de efectos aleatorios en acuicultura son el efecto de ambiente común de hermanos y el de tanque de crecimiento (Van der Werf y Goddard, 2003; Mrode, 2005; Montaldo *et al.*, 2012).

Una alternativa para estimar los componentes de varianza, cuando las estructuras familiares son poco sólidas, dada por la dificultad de generar familias de medios hermanos en acuicultura, es el uso del modelo Sire-Dam, como un equivalente al modelo animal (Ødegård *et al.*, 2006; Ødegård *et al.*, 2007; Yañez *et al.*, 2013). Originalmente el uso de esta metodología era común en la producción avícola, ya que, aunque se conocía la metodología sobre REML no existía capacidad de cómputo para invertir la matriz de parentesco y se asumía que las características no se veían influenciadas por los efectos maternos (Mielenz *et al.*, 1994; Wężyk and Szwaczkowski, 1997). Los supuestos del modelo Sire-Dam son: 1) No existen efectos maternos que influyan en la característica, 2) solo un hay una observación por animal, 3) ningún animal con observación se convierte en padre o madre, 4) los animales que tienen progenie no tienen observación propia, y 5) los padres tienen identificación. Por lo que, el efecto de animal de un individuo puede ser reemplazado por la suma del promedio de los valores genéticos de los padres y el efecto de recombinación mendeliana (VanRaden y Hoeschele, 1990; Mielenz *et al.*, 1994; Saito y Iwaisaki, 1995; Elzo *et al.*, 1997). Sin embargo, asume que los componentes genéticos de la suma del promedio de los valores genéticos de los padres y la recombinación mendeliana es igual a los efectos de dominancia; y que la población a evaluar no está emparentada construyendo una matriz de parentesco

considerando únicamente la relación entre los padres, lo cual al ir incrementando el número de generaciones subestimará constantemente la matriz de covarianzas entre los animales y, por lo tanto, los parámetros genéticos también estarán subestimados (VanRaden y Hoeschele, 1990; Mielenz *et al.*, 1994; Saito y Iwaisaki, 1995; Elzo *et al.*, 1997).

1.7.2 Heredabilidad

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, la cual se determina por: $R = h^2 S$; donde S es el diferencial de selección. De manera general, las características de baja heredabilidad presentan menor respuesta a la selección que aquellas con alta heredabilidad (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998). La heredabilidad se representa como:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$$

En peces de consumo, diversos autores (Gjerderm, 2005; Ponzoni, *et al.*, 2005; Lozano, *et al.*, 2013; Sae-Lim *et al.*, 2017; Thorland *et al.*, 2020) han estimado heredabilidades para características relacionadas al crecimiento, como son la talla o largo patrón y el peso corporal, que oscilan entre 0.11, como la presentada por Wang *et al.*, (2006) para el largo patrón a los 110 días en *Cyprinus carpio* hasta 0.56 como la que estimada para el peso en *Piaractus mesopotamicus* (Freitas *et al.*, 2021). En peces de ornato se han estimado heredabilidades para características relacionadas a la reproducción, por ejemplo, en el cíclido *Astatotilapia burtoni* la h^2 para el número de huevos es de 0.50 ± 0.20 (Lehtonen y Meyer, 2011).

1.7.3 Efecto común de familia

Debido a la dificultad para utilizar métodos de identificación individual originada por el pequeño tamaño corporal de los organismos acuícolas en etapas tempranas, es

necesario mantener a los grupos de hermanos creciendo en un mismo tanque, es decir, en un ambiente común hasta que puedan ser identificados al menos familiarmente (Ninh *et al.*, 2011; Sang *et al.*, 2012; Sandford *et al.*, 2020). Lo anterior implica una posible confusión entre las diferencias explicadas por los efectos genéticos de la familia (aditivos y no aditivos), los efectos maternos (genéticos y ambientales) y las explicadas por factores ambientales comunes a la familia (por ejemplo, calidad de agua en el tanque y las interacciones sociales), lo cual puede disminuir la precisión de la estimación de los parámetros genéticos y, por lo tanto, la precisión de la predicción de la respuesta a la selección, así como de los valores genéticos predichos (Castillo-Juárez, 2007; Ninh *et al.*, 2011).

En acuicultura f^2 se emplea para referirse a la proporción de la varianza fenotípica explicada por los efectos comunes de la familia de hermanos, los cuales se componen por la suma de las varianzas de los efectos genéticos no-aditivos (σ_{NA}^2) y de ambiente maternos (σ_m^2) y al efecto del ambiente del tanque de crecimiento (σ_t^2) (Sang *et al.*, 2012; Campos-Montes *et al.*, 2013). En términos generales f^2 se representa con la siguiente expresión:

$$f^2 = \frac{\sigma_{NA}^2 + \sigma_m^2 + \sigma_t^2}{\sigma_p^2}$$

Para poder separar los efectos de familia de los efectos aditivos y de los efectos ambientales es necesario contar con réplicas de las familias creciendo en diferentes ambientes, usualmente en tanques o pequeños estanques (Ninh *et al.*, 2011; Montaldo *et al.*, 2012), o bien utilizando sistemas de marcaje que permitan mezclar las diferentes familias en los tanques o estanques disminuyendo de ese modo la confusión los efectos genéticos y ambientales (Herbinger *et al.*, 1999; Martínez, 2005; Borrell *et al.*, 2006; Martínez y Figueras, 2007).

El efecto de ambiente común de estanque de crecimiento es una combinación de factores ambientales inherentes al mismo, como la densidad poblacional, calidad de

agua, disponibilidad de alimento, e interacciones sociales, entre otros (Kjøglum *et al.*, 2005; Cobcroft y Bettaglene, 2009). Estos efectos de ambiente común pueden en algunos casos (por estructura de población, o por uso de modelos inapropiados) generar sobreestimación de los parámetros genéticos de las poblaciones de camarón (Montaldo *et al.*, 2012). Por ejemplo, en el caso de la calidad de agua, cuando una familia se encuentra en un espacio físico restringido una mayor cantidad de individuos implica mayor cantidad de desechos lo que puede llevar a una menor calidad de agua, influyendo en el desarrollo de los organismos (Avnimelech, 2006).

1.7.4 Correlación genética

La correlación genética (r_G) mide el grado de asociación genética entre dos características, inducida por la pleiotropía y el ligamiento, que expresa en qué grado las dos características están influenciadas por los mismos genes (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998). La correlación genética puede tomar valores entre -1.0 y 1.0 y puede ser calculada de la siguiente manera:

$$r_G = \frac{\sigma_{GA,GB}}{\sigma_{GA}\sigma_{GB}}$$

Donde $\sigma_{GA,GB}$ es la covarianza genética aditiva de las características A y B, mientras que σ_{GA} y σ_{GB} corresponden a las desviaciones estándar genéticas aditivas de las características A y B, respectivamente. La manera en que están asociadas genéticamente las características involucradas dependerá del signo y de la magnitud de la r_G (Falconer y Mackay, 1996; Lynch y Walsh, 1998).

En los programas de mejoramiento genético es importante conocer la magnitud de las correlaciones genéticas existentes entre las características de interés, para optimizar el trabajo de selección y controlar, en lo posible, las respuestas correlacionadas a la selección (Gjedrem, 2005). En otras especies acuícolas, algunos autores han estimado correlaciones genéticas para características relacionada al crecimiento, por ejemplo, la existente entre peso corporal con la

longitud entre 0.53 y 0.97 en *Litopenaeus vannamei* y *Clarias gariepinus*; así como la correlación genética para peso corporal en diferentes edades para diferentes especies como *Oncorhynchus mykiss*, *Labeo rohita* y *Litopenaeus vannamei* entre 0.35 y 0.56 (Pérez-Rostro e Ibarra, 2003; Campos-Montes *et al.*, 2013; Sae-Lim *et al.*, 2013; Gjerde *et al.*, 2019, Srimai *et al.*, 2019).

En algunas ocasiones debido a la dificultad para lograr la convergencia en modelos animales multivariados no es posible estimar correlaciones genéticas; por lo que, para poder tener una aproximación de las posibles respuestas correlacionadas o saber si el ordenamiento de las características en los candidatos a reproducción es consistente, se puede recurrir a la estimación de correlaciones de Pearson y Spearman de valores genéticos predichos, considerando la siguiente ecuación.

$$r_{VGA} = \frac{\sigma_{VGA,VGB}}{\sigma_{VGA}\sigma_{VGB}}$$

Donde $\sigma_{VGA,VGB}$ es la covarianza de los valores genéticos aditivos predichos de las características A y B, mientras que σ_{VGA} y σ_{VGB} corresponden a las desviaciones estándar de los valores genéticos aditivos predichos de las características A y B, respectivamente.

1.7.5 Métodos de selección

La eficiencia de un programa de selección reside de manera importante en los parámetros genéticos de las características de interés, tales como la heredabilidad y la correlación genética, ya que permiten predecir la respuesta a la selección para las características de interés (Gall, 1990; Falconer y Mackay, 1996; Gjerde *et al.*, 1996; Gjerde y Rye, 1997; Gjedrem, 2005; Martínez y Figueras, 2007; Bodin, 2008). Por ello, independientemente del método de selección, se requiere de la estimación precisa de los parámetros genéticos. En el caso de la selección individual o masal, la h^2 juega un papel importante para predecir la respuesta a la selección (R_m) y para hacerlo se utiliza la siguiente fórmula (Falconer y Mackay, 1996):

$$R_m = i\sigma_p h^2$$

Donde i corresponde a la intensidad de selección, σ_p es la desviación estándar fenotípica y h^2 es la heredabilidad de los fenotipos individuales.

Para predecir la respuesta a la selección cuando se utilizan métodos de selección familiares (familiar e intrafamiliar), se tiene que realizar modificaciones para la estimación de los parámetros genéticos, misma que consideran el tipo y tamaño de familia. En el Cuadro 1 se muestra un resumen de las fórmulas de las heredabilidades modificadas para cada método familiar.

Cuadro 1. Fórmulas de las heredabilidades para los métodos de selección familiar e intrafamiliar

Método de selección	Familiar	Intrafamiliar
Heredabilidad	$h_b^2 = h^2 \frac{1 + (n - 1)r}{1 + (n - 1)t}$	$h_w^2 = h^2 \frac{(1 - r)}{(1 - t)}$

Donde n es el número de individuos de las familias, r es el parentesco genético aditivo existente entre los miembros de la familia y t es la correlación fenotípica entre los miembros de la familia. (Falconer y Mackay, 1996)

En el caso de la selección familiar, que consiste en elegir reproductores en función de los promedios familiares para los criterios de selección según el objetivo de selección del programa (Falconer y Mackay, 1996; Walsh y Lynch, 2018), y para la predicción de la respuesta a la selección familiar (R_b) se hace con base en la siguiente ecuación (Falconer y Mackay, 1996):

$$R_b = i\sigma_p h^2 \frac{1 + (n - 1)r}{\sqrt{n[1 + (n - 1)t]}}$$

Mientras que, la selección intrafamiliar se basa en la superioridad de los individuos dentro de su familia (Falconer y Mackay, 1996; Walsh y Lynch, 2018). Para predecir

la respuesta a la selección intrafamiliar (R_w) se emplea la siguiente ecuación (Falconer y Mackay, 1996):

$$R_w = i\sigma_P h^2 (1 - r) \sqrt{\frac{n - 1}{n(1 - t)}}$$

Cuando se quiere incrementar el mérito genético empleando características correlacionadas, se utiliza la selección indirecta (correlacionada). Para estimar la respuesta a la selección se utiliza el producto de la raíz cuadrada de la heredabilidad las características involucradas (A y B) y de la correlación genética entre ellas ($h_A h_B r_G$) que se denomina co-heredabilidad y que es el equivalente de la h^2 en la predicción de la respuesta a la selección masal (Falconer y Mackay, 1996). La siguiente expresión corresponde a la ecuación para la estimación de la respuesta a la selección correlacionada:

$$RC_B = i h_A h_B r_G \sigma_{P_B}$$

Donde i es la intensidad de selección, h_A es la raíz cuadrada de la heredabilidad de la característica A, h_B es la raíz cuadrada de la heredabilidad de la característica B, r_G corresponde a la correlación genética entre A y B; y σ_{P_B} es la desviación estándar de la característica B. La eficiencia de la respuesta a la selección indirecta depende de los valores de heredabilidad de los criterios de selección y de la correlación genética entre ellos (Falconer y Mackay, 1996).

1.8 Literatura citada

Adorno, T.W., 1971. Teoría estética. Primera edición. España: Taurus ediciones.

Ariffin, Nur Asma (1999) Genetic variation between and within three varieties of domesticated tiger barb (*Puntius tetrazona*) using RAPD markers. Masters thesis, Universiti Putra Malaysia.

- Auró, A., Gallo, G.C., 2006. Acuariología básica de agua dulce. (CD-ROM). México: FMVZ-UNAM.
- Avnimelech, Y., 2006. Biofilters. The need for a new comprehensive approach. *Aquaculture engineering* 34: 172-178.
- Beaumont, A.R., Hoare, K., 2003. *Biotechnology and Genetics in Fisheries and Aquaculture*. Great Britain: Blackwell Publishing Company.
- Bijma, P., Muir, W.M., Van Arendonk, J.A.M., 2007. Multilevel selection 1: Quantitative genetics of inheritance and response to selection. *Genetics* 175: 277-288.
- Bodin, L., 2008. Criterios de selección. Lecciones que se han de sacar del pasado para nuevas perspectivas. *Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario*. Vol. 2, pp. 116-126.
- Borrell, Y.J., Espinosa, G., Vázquez, E., Sánchez, J.A., Blanco, G., 2006. Variabilidad genética de loci microsatélites en los primeros lotes de *Litopenaeus vannamei* introducidos en Cuba para la acuicultura. *Rev. Invest. Mar.* 27(3): 237-244.
- Breitenstein, A., 2004. *Atlas ilustrado del acuario*. Madrid, España: Susaeta.
- Cameron, N.D., 1997. *Selection indices and prediction of genetic merit in animal breeding*. UK: CAB International.
- Brooks, R., Endler, J.A. 2001. Direct and indirect sexual selection and quantitative genetics of male traits in guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution* 55(5): 1002-1015. [https://doi.org/10.1554/0014-3820\(2001\)055\[1002:DAISSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1554/0014-3820(2001)055[1002:DAISSA]2.0.CO;2)
- Campos-Montes, G.R., Martínez, E.D.A. Estrategias para la implementación de programas de mejoramiento genético para peces de ornato en el Estado de

Morelos, México. 3ras Jornadas de Organismos Acuáticos. Ciudad de México, México. 7-9 de marzo. 2016.

Campos-Montes, G.R., Montaldo, H.H., Martínez-Ortega, A., Martínez, J.A., Castillo-Juárez, H., 2013. Genetic parameters for growth and survival traits in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* from nucleus population undergoing a two-stage selection program. *Aquacult Int* 21, 299-310.

Campos-Montes, G.R., Rivero-Martínez, P., Guzmán, C.M., Lugo, G.T., García, G.F., Martínez, E.D. Evaluación de caracteres candidatos a criterios de selección en un programa de mejoramiento genético en barbo tigre (*Puntius tetrazona*). III Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera. Querétaro 2012.

Castillo-Juárez, H., Quintana, C.J.C., Campos-Montes, G., Cabrera, V.C., Martínez, O.A., Montaldo, H.H., 2007. Heredability for body weight at harvest size in the Pacific White shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*, from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models. *Aquaculture* 273, 42-49.

Colihueque, N., Aranea, C., 2014. Appearance traits in fish farming: progress from classical genetics to genomics, providing insight into current and potential genetic improvement. *FRONT GENET* 251 (5): 1-8.

Cobcroft, J.M., Bettaglione, S.C., 2009. Jaw malformation in striped trumpeter *Latris lineata* larvae linked to walling behaviour and tank colour. *Aquaculture* 289: 274-282.

CONAPESCA. Comisión Nacional De Acuicultura Y Pesca. Secretaría De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación., 2009. Informe final del plan maestro estatal de peces de ornato del Estado de Morelos. México.

- Cortez, P.Y.A., Castillo, J.H., García, C.L.E, Martínez, E.D.A., Campos, M.G.R. 2017. Parámetros genéticos de largo patrón y de aleta caudal de guppies (*Poecilia reticulata*) en condiciones de laboratorio. LIII Reunión Nacional De Investigación Pecuaria, Acapulco 2017, del 15 al 17 de noviembre de 2017.
- Crespi, V., Coche, A., 2008. Glossary of aquaculture. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Fisheries and Aquaculture Department. Roma, Italia.
- Echeverri, A.A., Ceballos, H.L., Vallejo, F.A., 1999. Análisis dialéctico de algunos caracteres cuantitativos en pimentón (*Capsicum annum L.*). Rev Fac Nat Agr Mendellin 52(2): 611-642.
- Elzo, M. A., Manrique, C.P., Ossa G. S. 1997. Genetic evaluation of criollo cattle and their crossbreds in Colombia. Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria 1(2):34-44.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C., 1996. Introducción a la Genética Cuantitativa. 4ª ed. España: Acribia.
- Freitas, M.V., Lira, L.V.G., Aleride, R.B., Agudelo, J.F.G, de Oliveira, N.R.R., Borges, C.H.S., et al., 2021. Genotype by environment interaction and genetic parameters for growth traits in the Neotropical fish pacu (*Piaractus mesopotimicus*). *Acuaculture* 530, 735933. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735933>
- Gall, G.A.E., 1990. Basis for evaluating breeding plans. *Aquaculture* 85: 125-142.
- Garrick, D.J., Golden, B.L., 2009. Producing and using genetic evaluations in the United States beef industry of today. *J Anim Sci* 89 (E. Suppl.): E11-E18.
- Gjerde, B., GjØen, H.M., Villanueva, B., 1996. Optimum designs for fish breeding programmes with constrained inbreeding mass selection for a normally distributed trait. *Aquaculture* 47: 59-72.

- Gjerde, B., Rye, M., 1997. Design of breeding programmes in aquaculture species: Possibilities and constraints. Proc. Of the Genetics and Breeding of Mediterranean Aquaculture Species, Seminar of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean (TECAM). Zaragoza, Spain. Options Mediterr 34, 181-192.
- Gjerde, B., Mahapatra, K.D., Reddy, P.V.G. K., Saha, J.N., Jana, Meher P.K., et al., 2019. Genetic parameters for growth and survival in rohu carp (*Labero rohita*). Aquaculture 503, 381-388. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.029>
- Gjedrem, T., 2005. Selection and breeding programs in aquaculture. The Netherlands: Springer.
- Gjedrem, T., Baranski, M., 2009. Selective breeding in aquaculture: an introduction. Series: Review: Methods and technologies in fish biology and fisheries. The Netherlands: Springer.
- Gjedrem, T., Robinson, N., Rye, M., 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. Aquaculture 350-353, 117-129.
- Godínez-Siordia, D.E., Chávez-Sánchez, M.C., Gómez-Jiménez, S., 2011. Review: Epicontinental aquaculture of the Pacific White shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Tropical and Subtropical Agroecosystems 14, 55-62.
- Harris, D.L. Breeding for efficiency in livestock production: Defining the economic objectives. 61st Annual Meeting of American Society of Animal Science at Purdue University. August 1969.
- Harris, D.L., 1998. Livestock improvement: Art, Science, or industry? J Anim Sci 76: 2294-2302.

- Harris, D.L., Newman, S., 1994. Breeding for profit: Synergism between genetic improvement and livestock production (a review). *J Anim Sc* 72: 2178-2200.
- Henderson, C.R., 1984. Applications of linear models in animal breeding. 3rd ed. Guelph, ON: CGL Publications.
- Herbinger, C.M., O'reilly, P.T., Doyle, R.W., Wright, J.M., O'flynn, F., 1999. Early growth performance of Atlantic salmon full-sib families reared in single family tanks versus in mixed family tanks. *Aquaculture* 173 (1-4): 105-116.
- INAPESCA. Instituto Nacional de Pesca. 2018. Acciones y Programas: Acuacultura comercial. Peces de ornato. Consultado el 19 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-peces-de-ornato>
- Janssen, K., Chavanne, H., Berestsens, P., Komen, H., 2017. Impact of selective breeding on European aquaculture. *Aquaculture* 472, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.012>
- Janssen, K., Saatkamp, H. & Komen, H., 2018. Cost-benefit analysis of aquaculture breeding programs. *Genet Sel Evol* 50, 2. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0372-3>
- Karino, K., Haijima, Y. 2001 Heritability of male secondary sexual traits in feral guuppies in Japan. *J Ethol* 19:33-37. <https://doi.org/10.1007/s101640170015>
- Kause, A., Ritola, O., Paananen, T., Eskelinen, U., Mäntysaari, E., 2003. Big and beautiful? Quantitative genetic parameters for appearance of large rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 62: 610-622.
- Kjøglum, S., Grimholt, U., Larsen, S., 2005. Non-MHC genetic and tank effects influence disease challenge tests in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 250: 102-109.

- Kottelat, M. 2013. The raffles bulletin of zoology, Suppl. 27: 483.
- Lehtonen, T. K., Meyer, A., 2011. Heritability and adaptive significance of the number of egg-dummies in the cichlid fish *Astatotilapia burtoni*. Pro. R. Soc. B 278, 2318-2324. doi:10.1098/rspb.2010.2483
- Lozano, C.A., Gjerde, B., Ødegård, J., Bentsen, H.B., 2013. Heritability estimates for male proportion in the GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture 372-375: 137-148
- Lynch, M., Walsh, B., 1998. Genetics and analysis of quantitative traits. USA: Sunderland, MA. Sinauer Associates, Inc.
- MacRae, C.W., 1961. The F.G.A. Standards handbook and breeders guide. Fancy Guppy Association. London: B.S.P. Industries Limited.
- Martínez, E.D., Malpica, S.A., Hernández, A.J., 2010. Estructura de la producción de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 10 (20): 15-36.
- Martínez, E.D, Sánchez, R.J, Matus, P.J, Binnqüist, C.G., 2013. Análisis de los factores que condicionan la idoneidad de la estructura productiva de las granjas acuícolas de peces de ornato del estado de Morelos. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 13 (25): 93-114.
- Martínez, P., 2005. Aplicaciones de la genética para la mejora de la acuicultura. Bol. Inst. Esp. Oceanogr 21(1-4), 225-238.
- Martínez, P.P., Figueras, H.A., 2007. Genética y genómica en acuicultura. Madrid, España: Publicaciones científicas y tecnológicas del Observatorio Español en Acuicultura.

- Medina, M.J., 2013. Mecanismos de herencia del color del cuerpo en *Gymnocorymbus ternetzi* (tesis de licenciatura). México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Mielenz, N., Groeneveld, E., Müller, J., Spilke, J. 1994. Simultaneous estimation of variances and covariances using REML and Herderson 3 in a selected population of white Leghorns. *British Poultry Science* 35: 669-676. <https://doi.org/10.1080/00071669408417733>
- Montaldo, H.H., Barría, N.P., 1998. Mejoramiento genético de animales. *Ciencia al día* 2(1): 1-19.
- Montaldo, H.H., Catillo-Juárez, H., Campos-Montes, G., Pérez-Enciso, M., 2012. Effect of the data family structure, tank replication and the statistical model, on the estimation of genetic parameters for body weight at 28 days of age in the Pacific White shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei* Boone, 1931). *Aquaculture research* 1-9.
- Mrode, R.A., 2005. Linear models for the prediction of animal breeding values. 2nd ed. UK: CABI Publishing. Cromwell Press,.
- Neira, R. Breeding in aquaculture species: Genetic improvement programs in developing countries. 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Leipzig Alemania, August 1-10. 2010.
- Ninh, H.N., Ponzoni, R.W., Nguyen, H.N., Woolliams, J.A., Taggart, J.B., Mcandrew, B.J., et al., 2011. A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Estimation of genetic parameters. *Aquaculture* 322-323: 39-46.
- Ødegård, J., Olesen, I., Gjerde, B., Klemetsdal, G. 2006. Evaluation of statistical models for genetic analysis of challenge test data on furunculosis resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Prediction of field survival. *Aquaculture* 259: 116-123. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.05.034

- Ødegård, J., Olesen, I., Gjerde, B., Klemetsdal, G. 2007. Evaluation of statistical models for genetic analysis of challenge test data on ISA resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Prediction of progeny survival. *Aquaculture* 266: 70-76. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.02.012
- Olesen, I., Gjedrem, T., Bentsen, H.B., Gjerde, B., Rye, M., 2008. Breeding programs for sustainable aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture* 13(3-4): 179-204.
- Ponzoni, R.W., Hamzah, A., Tan, S., Kamaruzzaman, N., 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 247: 203-210.
- Rivero-Martínez, P.V., Castillo-Juárez, H., Cienfuegos, R.E.G., Pablos-Hash, J.L., Martínez-Espinosa, D.A., Campos-Montes, G.R., 2020. Analysis of the preferences of the esthetic traits and their morphotypes candidates to selection criteria in Tiger barb (*Puntius tetrazona*) in the actors of the productive chain. *Acuacult Int* 28: 1043-1055. DOI 10.1007/s10499-020-00510-7
- Rivero MPV, Campos MGR, Lugo GAT, *et al.*, 2016 Discriminación de caracteres morfométricos de interés ornamental candidatos a criterios de selección en Barbo Sumatran (*Puntius tetrazona*). *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 32 (17): 123-142
- Rye, M., Gjerde, B., Gjedrem, T. Genetic improvement programs for aquaculture species in developed countries. 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Leipzig Alemania, August 1-10. 2010.
- Saito, S., Iwaisaki, H. 1995. The EM-REML iteration equations for estimation of variance components in a sire and dam model. *Japanese Journal of Biometrics* 16:1-8. <https://doi.org/10.5691/jjb.16.1>

- Sandford, M., Castillo, G. and Hung, T.C., 2020. A review of fish identification methods applied on small fish. *Rev Aquacult*, 12: 542-554. doi:10.1111/raq.12339
- Sae-Lim, P., Kause, A., Lillehammer, M. et al., 2017. Estimation of breeding values for uniformity of growth in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using pedigree relationships or single-step genomic evaluation. *Genet Sel Evol* 49, 33. <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0308-3>
- Sae-Lim, P., Komen, H., Kause, A., Martin, K.E., Crooijmans, R., et al., 2013. Enhancing selective breeding for growth, slaughter traits and overall survival in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 372-375, 89-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.031>
- Sang, N.V., Klemetsdal, G., Ødegård, J., Gjøen, H.M., 2012. Genetic parameters of economically important traits recorded at a given age in striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture* 344-349: 82-89.
- Schaeffer, L., 2010. Animal models. Notes of teaching course. Guelph, Canada.
- Srimai, W., Koonawootrittriron, S., Manee-Aphai, W., Chatchaiphan, S., Koolboon, U., Na-Nakorn, U. 2019. Genetic parameters and genotype-environment interaction for growth traits of North African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture* 501, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.064>
- Tamaru, C.S., Cole, B., Bailey, R., Brown, C., 1997. Manual for commercial production of the Tiger Barb, *Capoeta tetrazona*, a temporary paired tank spawner. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture. Publication 129. USA.
- Thompson, R., Brotherstone, S., White, M.S., 2005. Estimation of quantitative genetic parameters. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 360: 1469-1477.

- Thorland, I., Thodesen, J., Refstie, T., Folkedal, O., Stein, L.H., Nilsson, J. et al., 2020. Genetic variation in growth pattern within a population of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during a standard production cycle. *Aquaculture* 518, 734735. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734735>
- Van der Werf, J., Goddard, M. Models and methods for genetic analysis. Armidale Animal Breeding Summer Course 2003. Part 2. The University of New England. New South Wales, Australia.
- Van Vleck, D., 1993. Selection index and introduction to mixed model methods for genetic improvement of animal: the green book. CRC Press, Inc. Florida, United States of America.
- VanRaden, P. M., Hoeschele, I. 1991. Rapid inversion of additive by additive relationship matrices by including Sire-Dam combination effects. *J Dairy Sci* 74: 570-579. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78204-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78204-0)
- Walsh, B., Lynch, M., 2018. Evolution and selection of quantitative traits. Great Britain: Oxford University Press Sinauer Associates. DOI: 10.1093/oso/9780198830870.001.0001
- Wang, C.H., Li, S.F., Xiang, S.P., Wang, J., Liu, Z.H., Pang, ZY., Duan, J.P., Xu, Z.B. 2006. Genetic parameters estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio var. color*). *Aquaculture* 259 (1-4): 103-107.
- Wężyk, S., Szwaczkowski, T. 1997. Application of mixed model methodology in breeding strategies for laying fowl. *World's Poultry Science Association* 53 (4): 325-336. DOI: <https://doi.org/10.1079/WPS19970026>
- Yanar, M., Erdoğan, E., Kumlu, M., 2019. Thermal tolerance of thirteen popular ornamental fish species. *Aquaculture* 501, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.041>

- Yáñez, J.M., Banger, R., Lhorente, J.P., Oyarzún, M., Neira, R. 2013. Quantitative genetic variation of resistance against *Piscirickettsia salmonis* in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 414-415: 155-159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.009>.
- 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.

CAPÍTULO 2

ANALYSIS OF THE PREFERENCES OF THE ESTHETIC TRAITS AN THEIR MORPHOTYPES CANDIDATES TO SELECTION CRITERIA IN TIGER BARB (*Puntius tetrazona*) IN THE ACTORS OF THE PRODUCTIVE CHAIN

Rivero-Martínez Psique Victoria ^a, Castillo-Juárez Héctor ^a, Cienfuegos-Rivas Eugenia Guadalupe ^b, Pablos-Hash José Luis ^c, Martínez-Espinosa David Alberto ^a, Campos-Montes Gabriel Ricardo ^a

^a Universidad Autónoma Metropolitana

^b Universidad Autónoma de Tamaulipas

^c Universidad Nacional Autónoma de México

Publicado en la revista *Aquaculture International*, 2020 28 (3):1043-1055.
(ISSN 0967-6120)



Analysis of the preferences of the esthetic traits and their morphotypes candidates to selection criteria in Tiger barb (*Puntius tetrazona*) in the actors of the productive chain

Psique Victoria Rivero-Martínez^{1,2} · Héctor Castillo-Juárez³ ·
Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas⁴ · José Luis Pablos-Hash⁵ ·
David Alberto Martínez-Espinosa² · Gabriel Ricardo Campos-Montes² 

Received: 27 September 2019 / Accepted: 15 January 2020 / Published online: 25 January 2020
© Springer Nature Switzerland AG 2020

Abstract

In ornamental aquaculture, the traits related with beauty are an important factor in the economy and their inclusion in the genetic improvement program is essential. However, in some species, it is difficult to define which traits are important in this sense. The objective of this study was to know the producers', traders', and aquarists' interests of morphometric characteristics associated with the esthetic of *Puntius tetrazona* for a genetic improvement program. The information was generated from surveys considering aquarists, traders, and producers. The design of the questionnaires consisted of sets of questions according to the type of information that we wanted to obtain: demographic, specific to each actor, and esthetic preferences; the last was a common section for the three actors. The last one is supported by five sets of morphotypes based on the morphometric characteristics with a major contribution to variability in *Puntius tetrazona*. For the analysis of the preferences of each population for every group of morphotypes, an accumulated ordinal model was utilized. The perception of beauty is not affected by demographic traits. And the morphotypes with a higher preference for inclusion in a selection program to esthetic traits in *P. tetrazona* would be a short caudal peduncle, medium-length caudal fin, anal fin that is short proximal long and long distal long, wide body marks, and dorsal fin that is 25% gray. For the implementation of genetic improvement programs, it will be important to take into account the differences in interests at two points within the production chain, the needs of the producer and those of the aquarists.

Keywords Esthetic · Ordinal regression · Ornamental · *Puntius tetrazona* · Selection criteria

✉ Gabriel Ricardo Campos-Montes
gcampos@correo.xoc.uam.mx

Extended author information available on the last page of the article

Introduction

An ornamental fish is one that is kept in an aquarium with a decorative purpose, and their quality is related with the beauty and the preferences of trade (Monticini 2010; Kumari et al. 2017). In the production and commercialization of ornamental fishes, it can be differentiated that those fishes are individually appreciated as the betta fish (*Betta splendens*) and the guppy (*Poecilia reticulata*); for these kinds of fishes, exists beauty standards. In another way, the organisms that are appreciated for being in shoals, in general, have no beauty standards established as in the case of the Tiger barb (*Puntius tetrazona*).

The *P. tetrazona* has, besides several colors and patterns, a broad phenotypic variability in morphometric characteristics. This species has been characterized by four body marks on the sides that may vary in width and color (Tamaru et al. 1997; Breintenstein 2004; Auró and Gallo 2006), and its reproductive traits make it easier to maintain family structures, making it an appropriate biologic model for the design and developing of selection criteria in ornamental fishes.

In ornamental aquaculture, the selection criteria are directed in the generation of biomass with high esthetic quality. This last one is determined by the quantity, size of harvested organisms, and the beauty of these. Therefore, the characteristics of interest will be related with both, the growing up and survival (Castillo-Juárez et al. 2007; Martínez and Figueras 2007; Campos-Montes et al. 2013), and those ones associated with beauty such as the color and shape. These last ones are an essential factor in the sale price and generally, are not considered by the producers, but their inclusion in the genetic improvement programs is essential. Beauty characteristics are a subjective element, so establishing selection criteria in ornamental aquaculture has been difficult. Nevertheless, the beauty can be composed by elements such as proportion and symmetry, which are determined by body measurements (Adorno 1971; Beaumont and Hoare 2003; Blanco 2004; Naini et al. 2006).

In a previous study, it was detected that specific characteristics provide the most significant contribution to the general phenotypic variability of *P. tetrazona* in a reference population (Rivero et al. 2016). However, it does not define the selection direction. Therefore, it is necessary to define the selection direction through of morphotypes, which are defined as the morphological types that characterize and/or differentiate a specific group of organisms (Panchen 1992). To determine the sense of the selection in these traits, the use of surveys is a viable alternative to enable the granting of a score to the beauty of morphotypes of esthetic traits defined by morphometric measurements in *P. tetrazona*. This study aims to know the producers', traders', and aquarists' interests of morphometric characteristics associated with the esthetic of *Puntius tetrazona* for a genetic improvement program.

Material and methods

For this study, a convenience sampling was used, and 239 surveys were applied to aquarists and traders in two of the main markets of ornamental fishes at Mexico City and the Metropolitan area (Levine et al. 2006). As well as 27 producers and operators from 17 production units that represent 78% of the units of ornamental aquaculture production with a background of Tiger barb production in the last 5 years of regular form in the Mexican States of Morelos and Jalisco.

Survey design

Semi-structured questionnaires (Malhotra 2016) composed of two parts were used:

- a. Basics and classification information. This section was designed for each population whose purpose was to know the sex, the age, the education, the experience of the respondents, and the particular information of each population. In the case of aquarists, the significant characteristics when purchasing ornamental fish; from the merchants is the leading cause of rejection of lots of fish; and of the producers, the traits of interest when selecting broodstock of *P. tetrazona*.
- b. Visual evaluation of esthetic preferences. In order to evaluate esthetic preferences, this section was based on the presentation of five sets of morphotypes, delimited to ± 1.5 standard deviations of the following variables: (1) caudal peduncle (CP), (2) caudal fin (CF), (3) dorsal fin (DF), (4) anal fin (AF), and (5) body marks (BM), which were taken as a reference to the image of a fish (Fig. 1) with average values of seven characteristics defined in a previous study (Rivero et al. 2016) and were modified in each characteristic according to those described in Tables 1 and 2 using the Photoshop® program. The respondent observed the set of images for each variable (Fig. 2) and ordered these according to their preferences considering a Likert scale, where 1 was prettiest and 3 or 5, according to the case, was considered the least pretty.

Description of the groups of the productive chain

Information was generated considering three groups from the productive chain: aquarists, traders, and producers. The number of respondents is indicated in parentheses:

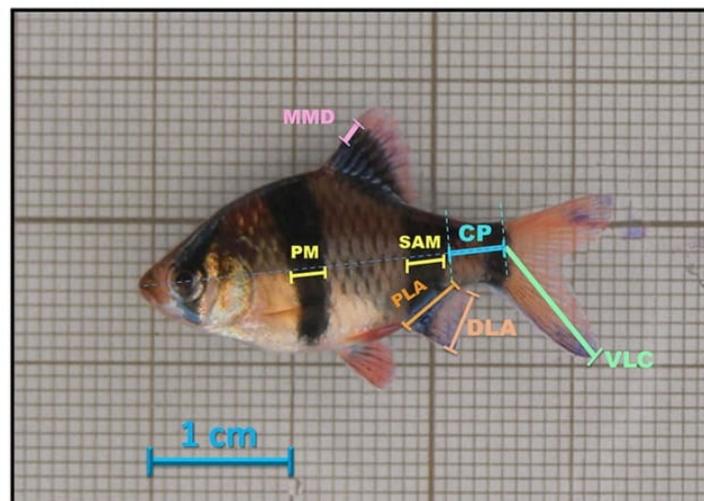
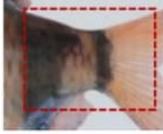
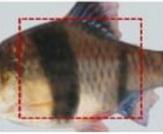


Fig. 1 CP, length of caudal peduncle caudal; VLC, ventral length of caudal fin; DLA, distal length of anal fin; PLA, proximal length of anal fin; PM, pectoral mark; SAM, supra-anal mark; MMD, medium mark of the dorsal fin. Source: Rivero et al. (2016)

Table 1 Characteristics associated with body and definition of the morphotypes for visual evaluation of the esthetic preferences of body

<i>Characteristic</i>	<i>Morphotype</i>	<i>Definition</i>	<i>Image</i>
Caudal Peduncle (CP)	Long	CP +1.5 standard deviations	
	Average	Average measures	
	Short	PC -1.5 standard deviations	
Body Marks (BM)	PM Width y SAM Width	PM +1.5 standard deviations y SAM +1.5 standard deviations	
	PM Narrow y SAM Width	PM -1.5 standard deviations y SAM +1.5 standard deviations	
	Average	Average measures	
	PM Narrow y SAM Narrow	PM -1.5 standard deviations y SAM -1.5 standard deviations	
	PM Width y SAM Narrow	PM +1.5 standard deviations y SAM -1.5 standard deviations	

PM= Pectoral Mark y SAM= Supra-anal Mark.
PM pectoral mark, *SAM* supra-anal mark

- 1) *Aquarists* ($n = 200$). Defined as a person who has an aquarium for ornament (Maceda-Velga et al. 2014). Aquarists were surveyed in the two main markets in Mexico City and the Metropolitan area for 15 weeks. They were classified according to the type aquarium that they own: (1) basics, who have different species of fishes, regardless of origin, habitats, and artificial decoration; (2) community, who have fishes and plants from compatibles habitats, indistinctly of the place of origin; 3) specialized,

Table 2 Characteristics related to fins and definition of the morphotypes for visual evaluation of the esthetic preferences of fins

<i>Characteristic</i>	<i>Morphotype</i>	<i>Definition</i>	<i>Image</i>
Caudal Fin (CF)	Long	CP +1.5 standard deviations	
	Average	Average measures	
	Short	PC -1.5 standard deviations	
Dorsal Fin (DF)	Gray predominant	Approximately 3/4 of the total proportion	
	Average	Approximately 2/4 of the total proportion	
	Gray minority	Approximately 1/4 of the total proportion	
	PLA Long and DLA Long	PLA +1.5 standard deviations and DLA +1.5 standard deviations	
Anal Fin (AF)	PLA Long and DLA Short	LPA +1.5 standard deviations and LDA -1.5 standard deviations	
	Average	Average measures	
	PLA Short and DLA Short	LPA -1.5 standard deviations and LDA -1.5 standard deviations	
	PLA Short and DLA Short	LPA -1.5 standard deviations and LDA -1.5 standard deviations	
	PLA Short and DLA Short	LPA -1.5 standard deviations and LDA -1.5 standard deviations	

PLA proximal length of the anal fin, *DLA* distal length of the anal fin

Caudal Peduncle

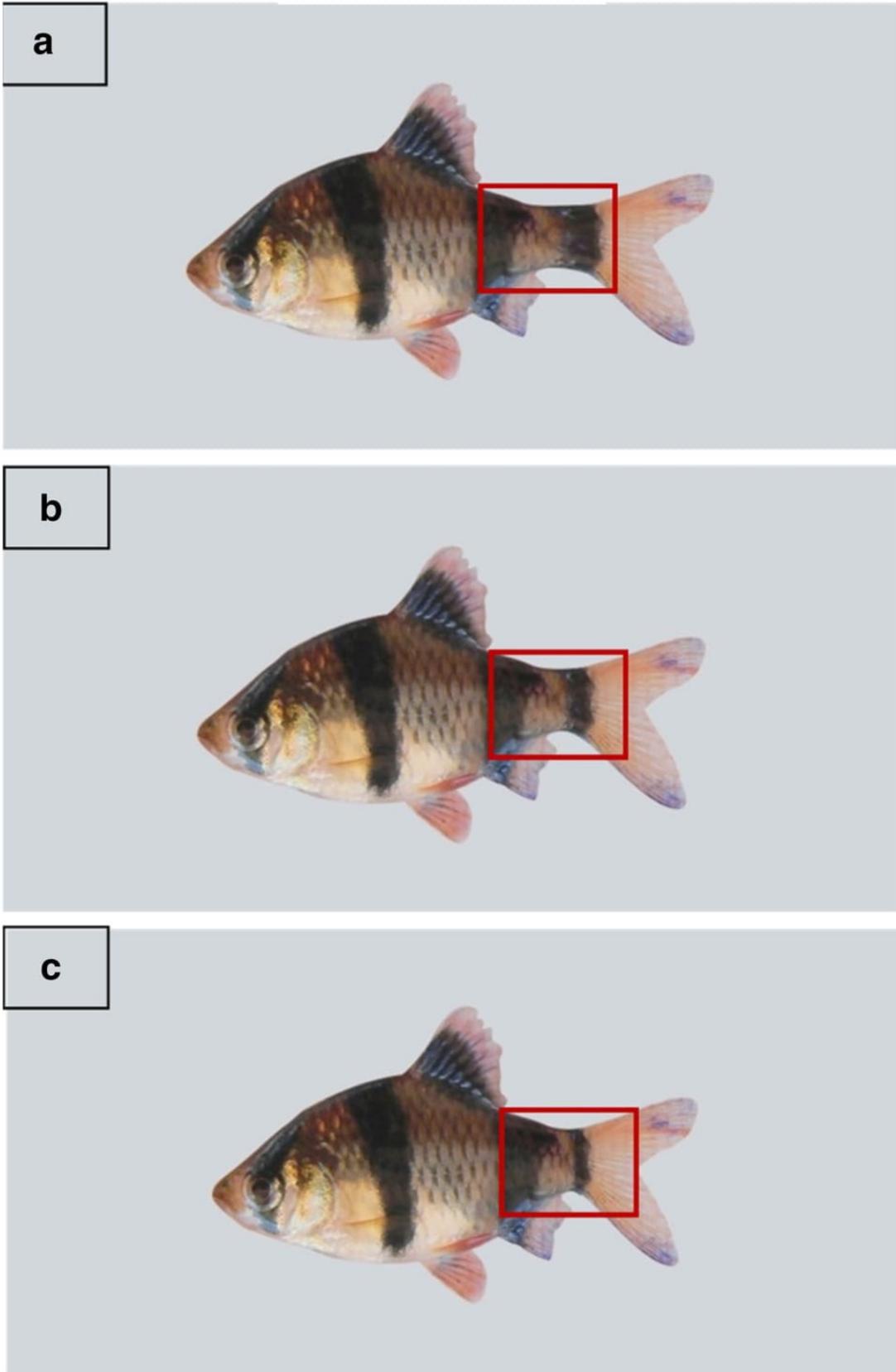


Fig. 2 Set of morphotypes for the caudal peduncle, presented to the respondents

Table 3 Percentage of aquarists, traders, and producers by sex, schooling grade, and age

Group	Gender		Schooling grade		Age, mean (SD) (years)
	Male (%)	Female (%)	High school or less (%)	Bachelor's degree or more (%)	
Aquarist	73	27	35	65	35 (12.6)
Trader	79	21	77	23	38 (10.8)
Producer	91	9	52	48	43 (16.9)

SD standard deviation

who own an aquarium with fishes and plants from the same habitat, recreating biotopes or specific geographical zones.

- 2) *Traders* ($n = 39$). Defined as people who have access to transport and distribution networks of aquatic organisms. The traders of the two main markets of Mexico City were surveyed for a period of 3 weeks and were classified, according to the acquisition technique of the organisms, to the following merchants: (1) indirect, who use intermediaries to stocking up; (2) direct, those who have a direct relationship with the production units and minority get to import batches for their stocking up; and (3) importers, who mostly sell imported fishes.
- 3) *Producers* ($n = 27$). Given that specific characteristics are required for the reproduction and production of *P. tetrazona*, two types of producers classified according to production system were considered: (1) technified, who grow up to four species of four different families; promote primary productivity of the ponds and, in addition, the use of a balanced meal; and have equipment and a breeding room, and (2) intensive, who grow more than five species of four families, use cultivated live food and a balanced meal, also have equipment and a breeding room (Martínez et al. 2010).

Analysis of the information

For the analysis of the preferences of each population for every group of morphotypes, an accumulated ordinal model was utilized (Agresti 2010) by using the JMP ®program version 9, where the logit of cumulative probabilities are as follows:

$$\text{logit}[P(Y \leq j)] = \ln \left[\frac{P(Y \leq j)}{1 - P(Y \leq j)} \right] = \ln \left[\frac{\pi_1 + \dots + \pi_j}{\pi_{j+1} + \dots + \pi_J} \right], \quad j = 1, \dots, J-1$$

while the accumulated logit model is as follows:

$$P(Y \leq j) = \frac{\exp(\alpha_j + \beta' x_i)}{1 + \exp(\alpha_j + \beta' x_i)}, \quad j = 1, \dots, J-1$$

where, Y_i is the j th score for each evaluated characteristic by the i th respondent of each population, x_i denotes a column of vectors for explanatory variables. α_j is the intercept of the logit for the cumulative probability j , and β is the location value, whose effects are the same for each cumulative logit.

Table 4 Probabilities of preference of the morphotypes of the characteristics associated with the fins of *P. tetrazona* for aquarists, traders and producers

Characteristic	Caudal fin				Dorsal Fin				Anal Fin			
	Long, % (β)	Medium, % (β)	Short, % (β)	3/4 gray, % (β)	2/4 gray, % (β)	1/4 gray, % (β)	DLA L, % (β)	PLA L, % (β)	PLA L-DLA S, % (β)	Average, % (β)	PLA S-DLA S, % (β)	PLA S-DLA L, % (β)
Aquarist	32, (-0.067)	41, (0.343*)	27, (0.276)	27, (-0.304*)	32, (-0.057)	42, (-0.361)	20, (0.046)	11, (-0.629*)	20, (0.018)	12, (-0.583*)	43, (1.147)	
Trader	33, (0.022)	40, (0.335)	25, (0.313)	23, (-0.459*)	36, (-0.161)	40, (-0.620)	36, (1.036*)	8, (-0.884*)	16, (-0.022)	0, (-1.286*)	39, (1.156)	
Producer	11, (-1.224*)	43, (0.561**)	45, (-0.662)	8, (-1.523*)	36, (0.319)	58, (-1.204)	23, (0.224)	13, (-0.475)	17, (-0.154)	14, (-0.396)	35, (-0.800)	

% probability expressed in percentage, β location value, *anal fin* proximal (PLA) and distal (DLA) length of the anal fin, L long, S short, * $p < 0.05$, ** $p < 0.1$

Table 5 Probabilities of preference of the morphotypes of the characteristics associated with the body the *P. tetrazona* for aquarists, merchants and producers

Characteristic	Caudal Peduncle			Body Marks					
	Long, % (β)	Medium, % (β)	Short, % (β)	PM W-SAM N % (β)	PM N-SAM N % (β)	PM N-SAM W % (β)	Average, % (β)	PM N-SAM N % (β)	PM W-SAM N % (β)
Aquarist	21, (-0.603*)	35, (0.077)	45, (-0.716)	35, (0.940*)	11, (-0.612*)	28, (0.612*)	7, (-1.079*)	18, (-0.139*)	
Trader	15, (-0.901*)	33, (0.099)	50, (-0.892)	64, (2.592*)	0, (-1.177*)	18, (0.053*)	0, (-2.206*)	15, (-0.738)	
Producer	18, (-0.707*)	25, (-0.295)	55, (-1.001)	28, (0.620*)	8, (-0.768*)	19, (0.143)	0, (-1.044*)	37, (-1.055)	

% probability expressed in percentage, β location value, *Body Marks* pectoral (PM) and supra-anal (SAM) marks, *W* width, *N* narrow, * $p < 0.05$

To detect the preferences among the morphotypes of the same characteristic, a likelihood ratio test was used comparing a model that does not consider variants against one that considers them, with an $\alpha = 0.05$.

Results and discussion

From the demographic information of evaluation of the surveys by a group of the productive chain (Table 3), it was observed that most of the aquarists were mostly of men with Bachelor's degree studies, with an average age (standard deviation) of 35 (12.6) years and they have community aquariums (52%). These characteristics are like those mentioned by Gulimar et al. (2018) and Tolon (2017) in their research made in Indonesia and Turkey, respectively. In the case of traders, the average age was 38 (10.8) years, and they were also mostly men, but with a maximum level of high school studies, where 58% had more than 10 years of experience in the trade. Regarding to the producers, the gender distribution was disproportionate with an average age of 43 (16.9) years, with a level of schooling which was heterogeneous concerning aquarists and traders, and the most common production system was the intensive type (56%).

On the other hand, the results obtained from the necessary information reactive were; according to the aquarist, the relevant trait in the acquisition of *P. tetrazona* was the body marks (44%), so they can be the characteristic feature of the beauty of *P. tetrazona*. Likewise, the main traits considered by the traders to not buy a batch of *P. tetrazona* were the health status (illness) with 79%, followed by the disparity of sizes 13% and by the esthetic quality 8%. These previous traits could be associated with commercial interests that in turn place it in a space between the aquarist and the producer where the priority is securing their stocks. According to the producers, the selection of broodstock is based on the size and health condition (69.2%). The characteristics that are prioritized in the reproduction moment are related with fertility and survival (80%), different to what is expected given the zootechnical purpose of the species.

The demographic variables do not affect the preference of the esthetic characteristics of the three evaluated actors ($p > 0.05$), that is, the preferences are not affected by the sex, age, schooling, or the experience. However, in each group, there are different objectives, the aquarist wants beauty, the trader looks for healthy fishes, and the producer wants quantity of fishes for sale. It may represent a disconnection an inadequate awareness of the main actors in the production chain (Kumari 2017; Casey 2016; Nightingale 2017), causing a disadvantage in the trade of produced fishes by local producers to imported fishes.

Regarding the morphometric measurements, it was observed that the preference for a short CP and a DF with a tendency for dark is constant within the productive chain; in Tables 4 and 5, the location values and the preference probabilities are shown. However, a noticeable difference in the preferences of BM, CF, and AF among the actors in the productive chain exists. In the case of BM and CF, the aquarist and the trader tend to choose wider body marks PM and SAM and CF with medium to long length; instead, the producer prefers that PM are wider than SAM and the length of CF to be medium to short. For AF, the aquarist and the trader prefer atypical fins, those that with a sword shape (short PLA and long DLA) and the veil (PLA and DLA longs), respectively. While for the producer, the AF is indifferent to him. The preceding is possibly associated with the ideology of producers for wanting to produce unique fishes with the purpose to competently cover a sector of the market (Casey 2016). Then, the producer breaks the

agreement concerning the preferences of esthetic traits within the production chain, ignoring the final consumer.

Considering that the key to success is to know the market in order to establish genetic improvement programs that optimize production (Dasgupta and Durborow 2009). It can be deduced that morphotypes with a higher preference for inclusion in a selection program to esthetic traits in *P. tetrazona* would have a short CP, medium-length CF, AF with short PLA and long DLA, wide BM, and DF that is 25% gray. Moreover, traits related to reproduction as productive efficiency criteria.

Therefore, for the implementation of genetic improvement programs in this sector, it is essential to take into account the existence of differences in the interests at two points into the productive chain: in one side, there are particular requirements of aquarists and on the other, the needs of the producer; trader aspects were not relevant because they are only related to management aspects. Likewise, we contemplate the differences in the preferences of esthetic traits to be mainly between the producer with the aquarist and the trader. Also, the producer and the trader must take into consideration the preferences of their market (aquarists).

Another important aspect to consider in the definition of selection criteria is to know if the morphometric characteristics are heritable. Therefore, although by knowing what traits of this type generally are little affected by the environment; it will be essential to know their genetic parameters.

Conclusions

According to this study the candidate morphotypes are short caudal peduncle, medium-length caudal fin, anal fin with short proximal length anal and long distal length anal, wide body marks, and dorsal fin that is 25% gray. Therefore, for the implementation of genetic improvement programs in *P. tetrazona*, the producers would consider that the preferences of the aquarists and traders on the morphometric characteristics.

Acknowledgements The authors are thankful to CONACyT, Mexico, for funding the first author's PhD scholarship (reg. no. 492258) and for providing funds for this research through the project "Estrategias para la capitalización de pequeñas unidades acuícolas en el estado de Morelos" of the Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflicts of interest.

Ethical approval This article does not contain any studies with animals performed by any of the authors.

References

- Adomo TW (1971) Teoría estética. Taurus ediciones, España
- Agresti A (2010) Analysis of ordinal categorical data. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc. Publication, United States of America
- Auró A, Gallo GC (2006) Acuariología básica de agua dulce. (CD-ROM). FMVZ-UNAM, México
- Beaumont AR, Hoare K (2003) Biotechnology and genetics in fisheries and aquaculture. Blackwell, Great Britain

- Blanco DF (2004) El arte en la medicina: Las proporciones divinas. *Ciencia UANL VII* (2) abril-junio: 150-156
- Breintenstein A (2004) Atlas ilustrado del acuario. Susaeta, España
- Campos-Montes GR, Montaldo HH, Martínez-Ortega A et al (2013) Genetic parameters for growth and survival traits in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* from nucleus population undergoing a two-stage selection program. *Aquacult Int* 21:299–310. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9553-1>
- Casey NG (2016) The ornamental freshwater fish trade in Malaysia the collection, breeding and marketing of ornamental fishes is a sizable industry. *UTAR Aquaculture Science Journal* 2(4):7–18
- Castillo-Juárez H, Quintana CJC, Campos-Montes G et al (2007) Heredability for body weight at harvest size in the Pacific white shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*, from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models. *Aquaculture* 273:42–49. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.023>
- Dasgupta S, Durborow R (2009) Small-scale marketing of aquaculture products. SRAC Publication 350
- Gulimar I, Rizal A, Sriati R, Setiwan P (2018) Analysis of consumer behavior in decision making of purchasing ornamental freshwater fish (case of study at ornamental freshwater fish market at Peta Street, Bandung). *IOP Conf. Ser: earth environ. Sci.* 137 012081. DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/137/1/012081>
- Kumari A, Kumar S, Kumar A (2017) Study of life compatibility and growth of selected ornamental fishes under aquarium in Sanjay Gandhi Biological Park. *Int J Curr Microbiol app Sci* 6(12):3166–3172. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.370>
- Levine DM, Krehbiel TC, Berenson ML (2006) Estadística para administración, 4ta edn. Pearson Educación, México
- Maceda-Velga A, Domínguez-Domínguez O, Escribano-Alacid J et al (2014) The aquarium hobby: can sinners become saints in freshwater fish conservation? *Fish fish* 17:860–874. <https://doi.org/10.1111/faf.12097>
- Malhotra NK (2016) Investigación de mercados, conceptos esenciales. Pearson Educación, México
- Martínez PP, Figueras HA (2007) Genética y genómica en acuicultura. Publicaciones científicas y tecnológicas del Observatorio Español en Acuicultura, Spain
- Martínez ED, Malpica SA, Hernández AJ (2010) Estructura de la producción de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10(20):15–36
- Monticini P (2010) The ornamental fish trade. Production and commerce of ornamental fish: technical-managerial and legislative aspects. GLOBEFISH Research Programme, Vol. 102. FAO, Rome, p 134
- Naini FB, Moss JP, Gill DS (2006) The enigma of facial beauty: esthetics, proportions, deformity, and controversy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 130(3):277–282. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.027>
- Nightingale D, Krishnan M, Ananthan PS, Pawar N (2017) A producer company- An ideal value chain model for ornamental fish trade. *IJFAS* 5(6):115–120
- Panchen AL (1992) Classification, evolution, and the nature of biology. Cambridge University Press, USA
- Rivero MPV, Campos MGR, Lugo GAT et al (2016) Discriminación de caracteres morfológicos de interés ornamental candidatos a criterios de selección en Barbo Sumatran (*Puntius tetrazona*). *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 32(17):123–142
- Tamaru CS, Cole B, Bailey R, et al (1997) Manual for commercial production of the Tiger Barb, *Capoeta tetrazona*, a temporary paired tank spawner. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture (129), USA
- Tolon MT (2017) Determination of hobbyist preferences for livebearer ornamental fish attributes by conjoint analysis. *Turk J Fish Aquat Sci* 18:119–126. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_1_13

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Affiliations

Psique Victoria Rivero-Martínez^{1,2} · **Héctor Castillo-Juárez**³ · **Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivas**⁴ · **José Luis Pablos-Hash**⁵ · **David Alberto Martínez-Espinosa**² · **Gabriel Ricardo Campos-Montes**²

¹ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Coyoacán, CDMX, Mexico

² Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, C.P. 04960 Coyoacán, Cd Mx., Mexico

³ Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, C.P. 04960 Coyoacán, Cd Mx., Mexico

- ⁴ División de Estudios de Postgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Victoria, C.P. 87149 Ciudad Victoria, Tam, Mexico
- ⁵ Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, Mexico

CAPÍTULO 3

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS ASOCIADAS A LA BELLEZA EN BARBO SUMATRANO (*Puntius tetrazona*)

Rivero-Martínez Psique Victoria ^a, Cienfuegos-Rivas Eugenia Guadalupe ^b,
Berruecos Villalobos José Manuel ^c, Chávez- Andrade Sergio Octavio ^a, Martínez-
Espinosa David Alberto ^a, Campos-Montes Gabriel Ricardo ^a

^a Universidad Autónoma Metropolitana

^b Universidad Autónoma de Tamaulipas

^c Universidad Nacional Autónoma de México

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS ASOCIADAS A LA BELLEZA EN BARBO SUMATRANO (*Puntius tetrazona*)

Rivero-Martínez Psique Victoria ^{ab}, Cienfuegos-Rivas Eugenia Guadalupe ^c, Berruecos Villalobos José Manuel ^d, Chávez- Andrade Sergio Octavio ^b, Martínez-Espinosa David Alberto ^b, Campos-Montes Gabriel Ricardo ^b

^a Doctorado en Ciencias Agropecuarias, División de Ciencias Agropecuarias y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Coyoacán. Cd Mx. C.P. 04960. México.

^b Departamento El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad

Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Coyoacán. Cd Mx. C.P. 04960. México.

^c División de Estudios de Postgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tam, C.P. 87149. México

^d Departamento de Genética y Bioestadística. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México. México

* autor de correspondencia: gcampos@correo.xoc.uam.mx

3.1 INTRODUCCIÓN

En la acuicultura ornamental el objetivo de los programas de mejoramiento genético es generar biomasa, como en todos los sistemas de producción acuícola (Wayban, 2019; Cleveland *et al.*, 2020; Houston *et al.*, 2020; Naval-Sanchez *et al.*, 2020; Thorland *et al.*, 2020; You *et al.*, 2020), con la particularidad de incluir criterios relacionados a la estética (Rivero-Martínez *et al.*, 2020). La biomasa está determinada por la cantidad y el desarrollo de los organismos cosechados; en tanto que, la belleza o calidad estética por las características de color y forma (Beaumont y Hoare, 2003; Petrescu-Mag y Bud, 2017). Sin embargo, la belleza es un elemento subjetivo que ha dificultado establecer los criterios de selección en la mayoría de las especies utilizadas en la acuicultura ornamental; pero, puede estar compuesta por elementos como la proporción y la simetría, los cuales son determinados por medidas corporales (Adorno, 1971; Blanco, 2004; Naini *et al.*, 2006; Zion *et al.*, 2008; Rivero *et al.*, 2016).

Uno de los peces más populares y con alta demanda en el acuarismo es el *Puntius tetrazona*, el cual llega a medir hasta 7 cm en su edad adulta y que se caracteriza por cuatro rayas transversales en los costados que pueden variar en el grosor y color (Tamaru *et al.*, 1997; Breitenstein, 2004; Auró y Gallo, 2006). Cuenta con diversos colores y patrones y una amplia variabilidad fenotípica de morfotipos, donde algunos son considerados importantes por los acuaristas al momento de la compra; lo cual permitiría definir la dirección de la selección en características estéticas en *P. tetrazona* (Rivero *et al.*, 2016; Rivero-Martínez *et al.*, 2020).

Por otro lado, existe poca información sobre parámetros genéticos de características morfométricas asociados a la belleza en peces ornamentales. Lo cual, en parte puede estar relacionado con las particularidades de los sistemas de producción y que se ha priorizado el color de los peces sobre su morfología (Monticini, 2010; Casey, 2018; Satam *et al.*, 2018); además el tamaño de los mismos ha dificultado la identificación y el establecimiento de genealogías (Sandford *et al.*, 2020). Una forma de solventar esto último es mantener familias en un mismo ambiente, preferiblemente con réplicas; no obstante, se pueden generar dificultades

en la modelación de los componentes de varianza (Campos-Montes *et al.*, 2013; Montaldo *et al.*, 2013).

Por lo tanto, el poder contar con parámetros genéticos de este tipo de características permitirá definir con mayor precisión los criterios de selección asociados a la calidad estética para el diseño de programas de mejoramiento genético en *Puntius tetrazona* y así poder hacer una evaluación de la respuesta a la selección. El objetivo del presente estudio fue estimar parámetros genéticos de características morfométricas asociadas a la belleza en *Puntius tetrazona* en condiciones de laboratorio.

3.2 MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del núcleo genético de peces de ornato del Laboratorio de Sistemas Acuícolas de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco en la Ciudad de México.

3.2.1 Generación de familias

Los reproductores se obtuvieron en 6 lotes de diferentes orígenes de *P. tetrazona* variedad silvestre y amarilla, cuatro de ellos de granjas del estado de Morelos, México; y dos importados de Singapur. Mientras que los organismos medidos en este estudio ($n=293$), fueron obtenidos a partir del apareamiento natural de 68 parejas de *P. tetrazona*, con una eficiencia reproductiva aproximada del 50%.

3.2.2 Diseño de apareamientos

Se formaron 68 familias de hermanos y medios hermanos de *Puntius tetrazona*, por medio de apareamientos naturales con una relación 1:1.07 macho: hembra. Se conservaron familias con al menos 5 alevines, manteniendo identificación tanto de los padres como de las familias.

3.2.3 Manejo de los organismos

Cada pareja se montó en un acuario de 30.5 x 20.5 x 15.5 cm con una capacidad de 8 L, donde las familias se mantuvieron hasta alcanzar las 8 semanas de edad. Posteriormente se desdoblaron y las familias fueron trasladadas a acuarios de 41 x 25.3 x 20.2 cm con capacidad de 17 L, de tal forma que se contara con una réplica de cada familia. Los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron dentro del rango óptimo de la especie.

A partir de los tres días post eclosión los alevines fueron alimentados con alimento vivo *Turbatrix acetí* y *Panagrellus redivivus* hasta alcanzar 6 semanas de edad. A los treinta días post eclosión, proporcionó alimento balanceado “El Pedregal Silver Cup®” (50% de proteína, 16% de grasa). A partir de los 67 días de edad se mantuvieron con alimento peletizado “El Pedregal Silver Cup®” (45% de proteína, 16% de grasa).

3.2.4 Obtención de la información

Se tomaron fotografías digitales de cada organismo, para lo cual cada ejemplar fue anestesiado utilizando esencia clavo (*Syzygium aromaticum*) (Espírito *et al.*, 2016), posteriormente se colocó en posición latero lateral con las aletas extendidas y teñidas con azul de metileno sobre una base graduada en milímetros. No se registró mortalidad asociada al proceso de anestesia. La morfometría se realizó utilizando el programa Photoshop® a partir de líneas de referencia trazadas sobre la imagen del individuo (Figura 3.2.4.1).

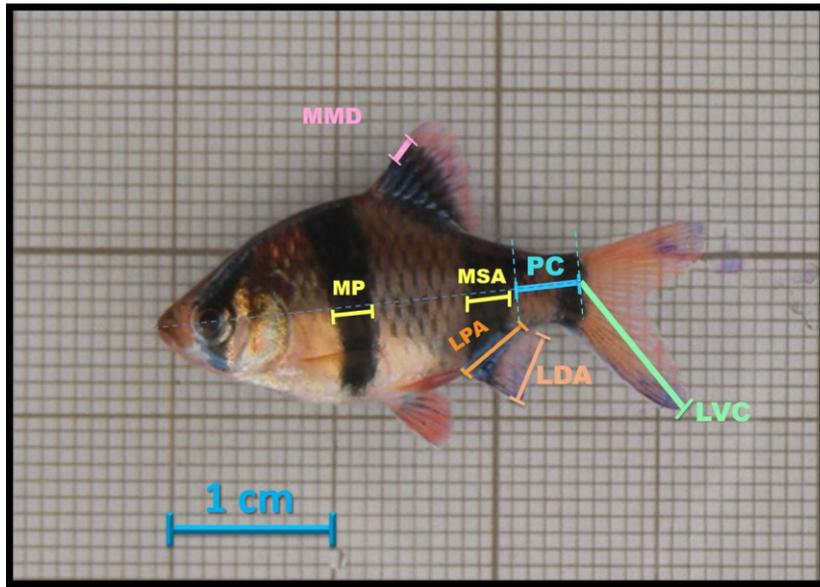


Figura 3.2.4.1 PC= Longitud del pedúnculo caudal; LVC= Largo ventral de la aleta caudal; LDA= Largo distal de la aleta anal; LPA= Largo proximal de la aleta anal; MP= Marca Pectoral; MSA= Marca Supra-anal; MMD= Marca media de la aleta dorsal. Fuente: Rivero, 2016.

De acuerdo con Rivero *et al.* (2020) las mediciones fueron la longitud del pedúnculo caudal (PC), el largo ventral de la aleta caudal (LVC); el largo distal y proximal de la aleta anal (LDA y LPA), la anchura de las marcas pectoral y supra-anal (MP y MSA) y la marca media de la aleta dorsal (MMD).

3.2.5 Análisis de la información

3.2.5.1 Estimación de componentes de varianza

La estimación de los componentes de varianza para la longitud del pedúnculo caudal (PC), el largo ventral de la aleta caudal (LVC); el largo distal y proximal de la aleta anal (LDA y LPA), la anchura de las marcas pectoral y supra-anal (MP y MSA) y la marca media de la aleta dorsal (MMD) se realizó utilizando modelos lineales mixtos univariados (considerando la matriz de relación genética aditiva **A**) usando el programa ASReml (Gilmour *et al.*, 2009). Se consideraron dos grupos contemporáneos, el primero con edades de 345 a 443 días y el segundo con un rango de edad de 72 a 156 días. Se incluyeron como efectos fijos el grupo contemporáneo y la edad anidada en el grupo contemporáneo para todas las

características; y como efectos aleatorios en todas las características los efectos genéticos aditivos del macho y la hembra; y el efecto de tanque (1.2 acuarios en promedio por familia).

El modelo mixto en términos matriciales es:

$$y = X\beta + Z_s u_s + Z_d u_d + Wt + e$$

Donde y representa el vector de observaciones para PC, LVC, LDA, LPA, MP, MSA y MMD. β es el vector de efectos fijos descritos anteriormente, u_s es el vector de efectos genéticos aditivos del macho y u_d es el vector de efectos genéticos aditivos de la hembra, $u_{sd} \sim N(0, A \sigma_{sd}^2)$, t es el vector de efectos aleatorios de tanque para cada característica, $t \sim N(0, I \sigma_t^2)$; donde I es una matriz de identidad de orden apropiado, y e es un vector de efectos aleatorios ambientales, $e \sim N(0, I \sigma_e^2)$ donde I es una matriz de identidad de orden apropiado. En tanto X , Z_s , Z_d y W son matrices de incidencia relacionadas a las observaciones de los efectos fijos, los efectos genéticos aditivos del macho y la hembra, y efectos de tanque, respectivamente.

3.2.5.2 Estimación de parámetros genéticos

La heredabilidad (h^2) se estimó como:

$$h^2 = \frac{4\sigma_{sd}^2}{2\sigma_{sd}^2 + \sigma_t^2 + \sigma_e^2}$$

Donde

σ_{sd}^2 = Varianza genética aditiva sire-dam, σ_t^2 = Varianza del tanque o acuario de crecimiento y σ_e^2 = Varianza residual.

La proporción del efecto de tanque (t^2) se estimó como la parte del efecto de tanque aleatorio con respecto a la varianza fenotípica. Debido a la estructura genealógica y de información de producción con la que se cuenta, no pudieron estimarse las correlaciones genéticas. Sin embargo, la selección familiar es un esquema de selección frecuentemente utilizado para los programas genéticos en la acuicultura

(Gjedrem, 2005; Castillo-Juárez *et al.*, 2007; Ødegård *et al.*, 2007; Yañez *et al.*, 2013). Por lo que, las familias se clasificaron utilizando las medias fenotípicas de cada una de las características y medias del valor genético aditivo predicho basadas en las soluciones BLUP de cada característica evaluada. Se calcularon las correlaciones de Pearson y las correlaciones de rango Spearman entre las medias fenotípicas familiares y las medias de los valores genéticos aditivos familiares (Castillo-Juárez *et al.*, 2007).

Una vez estimados h^2 y t^2 se construyeron intervalos de confianza a partir de sus respectivos errores estándar (suponiendo normalidad) para determinar si los estimados obtenidos son diferentes de cero ($p < 0.05$).

3.3 RESULTADOS

La edad promedio en que fueron medidos los individuos fue de 173.14 días, la edad mínima de 72 días y 443 la edad máxima. La estadística descriptiva para las características asociadas a la estética en *P. tetrazona* y el largo patrón (LP), que es la característica directamente relacionada al crecimiento, individuales y promedio familiares se muestra en los cuadros 3.3.1 y 3.3.2, respectivamente. En el cuadro 3.3.3 se muestran los componentes de varianza para efecto de tanque para el LDA no fue estimado, y en el caso de la varianza del macho para MP y MSA deben considerarse con cautela ya que los valores están cercanos al perímetro del espacio parametral. En el cuadro 4.3.4 se presentan las heredabilidades y las correlaciones fenotípicas familiares y de valores genéticos aditivos predichos familiares.

3.3.1 Heredabilidad

En las características que se relacionan al LP, y las marcas MMD, MP y MSA, son en las que se observaron las heredabilidades más altas, 0.22 y 0.24. Mientras que el valor de las heredabilidades para las características relacionadas a las aletas fluctuó entre 0.13 y 0.19.

3.3.2 Correlaciones de medias fenotípicas familiares (r_F)

Para el caso de la r_F , entre LP y PC el valor es de $r_F=0.93 \pm 0.01$, y para la correlación de éstas con las características relacionadas a aletas y marcas el valor de las r_F , osciló entre 0.72 y 0.97. En cuanto a las r_F , entre las características de aletas los valores fluctuaron entre 0.85 y 0.94, y la relación de estas características con las de medidas corporales y marcas osciló entre 0.66 y 0.97. Mientras que las r_F , entre las marcas fluctuaron entre 0.79 y 0.92.

3.3.3 Correlaciones de efectos genéticos aditivos predichos familiares (r_{VGA})

Para el caso de la r_{VGA} , entre LP y PC el valor es de $r_{VGA\ PC-MP}=0.09$, para la correlación de éstas con las características relacionadas a aletas y marcas corporales el valor de las r_{VGA} , osciló entre -0.06 y 0.90. En cuanto a las r_{VGA} , entre las características de aletas los valores fluctuaron entre 0.65 y 0.78, y la relación de estas características con las de medidas corporales y marcas osciló entre 0.44 y 0.90. Mientras que las r_{VGA} , entre las marcas fluctuaron entre 0.63 y 0.82.

Cuadro 3.3.1. Estadística descriptiva para características morfométricas asociadas a la estética de *Puntius tetrazona*

Característica	N	Media (D.E)	C.V	Min	Max
<i>Características corporales</i>					
Largo patrón	293	21.19 (8.3)	39.19	8.76	45.58
Pedúnculo caudal	293	3.32 (1.3)	38.74	0.89	8.19
<i>Características de aletas</i>					
Largo ventral de la aleta caudal	291	7.66. (2.7)	35.43	2.84	15.20
Largo proximal de la aleta anal	289	3.20 (1.8)	54.87	0.80	9.26
Largo distal de la aleta anal	287	3.65 (2.0)	55.04	0.71	11.86
<i>Características asociadas a marcas</i>					
Marca media de la aleta dorsal	277	2.07 (1.4)	66.29	0.16	7.40
Marca pectoral	230	1.66 (1.1)	63.53	0.41	7.12
Marca supra-anal	220	1.62 (1.0)	56.29	0.57	5.55

*Todas las características medidas en mm, **D. E**= desviación estándar, **C.V**= coeficiente de variación, **Min**= mínimo, **Max**= máximo, **Edad**= edad promedio en días.

Cuadro 3.3.2. Estadística descriptiva familiar para características morfométricas asociadas a la estética de *Puntius tetrazona*

Característica	N	Media (D.E)	C.V	Min	Max
Características corporales					
Largo patrón	68	22.69 (7.9)	34.78	13.13	45.58
Pedúnculo caudal	68	3.58 (1.2)	33.23	2.16	8.19
Características de aletas					
Largo ventral de la aleta caudal	68	8.22 (2.4)	29.67	4.83	14.08
Largo proximal de la aleta anal	67	3.43 (1.7)	50.18	0.82	9.26
Largo distal de la aleta anal	66	4.03 (1.9)	47.23	1.57	11.86
Características asociadas a marcas					
Marca media de la aleta dorsal	65	2.30 (1.4)	59.08	0.64	6.48
Marca pectoral	64	1.83 (1.1)	59.25	0.70	6.16
Marca supra-anal	63	1.77 (0.9)	50.35	0.85	4.51

*Todas las características medidas en mm, **D.E**= desviación estándar, **C.V**= coeficiente de variación, **Min**= mínimo, **Max**= máximo, **Edad**= edad promedio en días

Cuadro 3.3.3 Componentes de varianza estimados con modelo sire-dam univariado para características a la estética en *Puntius tetrazona*

Característica	VS ± e.e	VD ± e.e	VA ± e.e	VT ± e.e
Largo patrón	2.16 ± 2.15	4.11 ± 2.28	3.14 ± 1.06	1.40 ± 1.03
Pedúnculo caudal	0.08 ± 0.03	0.80x10 ⁻³ ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.54x10 ⁻² ± 0.01
Largo ventral de la aleta caudal	0.37 ± 0.35	0.51 ± 0.33	0.44 ± 0.16	0.07 ± 0.15
Largo proximal de la aleta anal	0.10 ± 0.09	0.14 ± 0.09	0.12 ± 0.04	0.02 ± 0.04
Largo distal de la aleta anal	0.19 ± 0.10	0.30 ± 0.21	0.25 ± 0.08	NE
Marca media de la aleta dorsal	0.51 ± 0.18	0.05 ± 0.09	0.28 ± 0.09	0.02 ± 0.03
Marca pectoral	0.32x10 ⁻⁶ ± 0.37x10 ^{-7*}	0.21 ± 0.07	0.11 ± 0.04	0.05 ± 0.04
Marca supra-anal	0.73x10 ⁻⁷ ± 0.84x10 ^{-8*}	0.12 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.01 ± 0.01

VA= varianza aditiva, VT= varianza de tanque, VE= varianza ambiental, VF= varianza fenotípica, e.e= error estándar
 *=bounded ☹

Cuadro 3.3.4. Heredabilidades (h^2), proporciones de efecto de tanque (t^2), correlaciones de Sp aditivos predichos familiares y fenotípicas familiares para características morfométricas asociadas a la *tetrazona*

Característica	LP	PC	LVC	LPA	LDA	MMD	MP	MSA
LP	0.22 ± 0.05	0.09 *	0.90	0.78	0.56	0.56	0.56	0.56
PC	0.93 ± 0.01	0.13 ± 0.05	-0.10*	-0.06 *	-0.17	0.35	0.35	0.35
LVC	0.96 ± 0.01	0.86 ± 0.03	0.17 ± 0.05	0.78	0.65	0.54	0.54	0.54
LPA	0.97 ± 0.01	0.88 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.19 ± 0.05	0.77	0.42	0.42	0.42
LDA	0.90 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.85 ± 0.03	0.94 ± 0.01	0.18 ± 0.04	0.19	0.19	0.19
MMD	0.80 ± 0.04	0.72 ± 0.05	0.83 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.66 ± 0.06	0.24 ± 0.04	0.24	0.24
MP	0.87 ± 0.02	0.73 ± 0.05	0.87 ± 0.02	0.86 ± 0.03	0.76 ± 0.04	0.79 ± 0.04	0.24[§] ± 0.04	0.24
MSA	0.92 ± 0.02	0.85 ± 0.03	0.88 ± 0.02	0.93 ± 0.01	0.87 ± 0.03	0.80 ± 0.04	0.80 ± 0.04	0.92 ± 0.02

Las heredabilidades se presentan en la diagonal, las correlaciones de valores genéticos aditivos predichos son de valores genéticos aditivos predichos fenotípicas debajo de la diagonal. * correlaciones no significativas, e.e= error estándar, NE = no estimado, § Estimación de varianza aditiva cercanos al perímetro del espacio parametral.

LP= largo patrón, PC= pedúnculo caudal, LVC= largo ventral de la aleta caudal, LPA y LDA= largo proximal y distal de la aleta dorsal, MP= marca pectoral, MSA= marca supra-anal

3.4. DISCUSIÓN

En los estudios preliminares se realizó el análisis genético de la información utilizando modelo animal univariado para cada característica, obteniendo la h^2 estimadas que fluctuaron entre 0.08 ± 0.13 y 0.90 ± 0.20 . Dada la sobreestimación de los componentes de varianza y problemas en la convergencia de los modelos para algunas características, probablemente relacionados a la estructura familiar, por la falta de grupos de medios hermanos; y al tamaño de la población ($n=293$) que en conjunto dificultó la separación de los probables efectos comunes de familia que se presentan frecuentemente en acuicultura; los cuales, derivan de la necesidad de conservar la identificación familiar debido al tamaño de los organismos (Lohr, 2005; Castillo-Juárez *et al.*, 2007; Varian y Nichols, 2010). Se decidió utilizar modelo Sire-Dam, como una alternativa para estimar componentes de varianza con una menor sobreestimación.

3.4.1 Heredabilidades

Las heredabilidades estimadas son diferentes de cero, a reserva de las estimadas en las características que tuvieron problemas en la estimación de sus componentes de varianza ($h^2_{MP} = 0.24 \pm 0.05$ y $h^2_{MSA} = 0.24 \pm 0.04$).

En términos generales para el caso de las medidas corporales se observó que los valores de las h^2 son de rango medio a como sucede en especies de peces de consumo (Vandeputte *et al.*, 2008; Wang, 2009; Servezov *et al.*, 2010; Varian y Nichols, 2010; Ninh *et al.*, 2011).

La h^2 de LP tiene un valor que cae dentro del rango, de 0.20 y 0.65 que es él que se conoce para otras especies de peces como la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), trucha café y de arroyo (*Salmo trutta* y *Salvelinus fontinalis*) y la carpa común (*Cyprinus carpio* L.) (Vandeputte *et al.*, 2008; Wang, 2009; Servezov *et al.*, 2010; Varian y Nichols, 2010; Ninh *et al.*, 2011). En cambio, PC con $h^2 = 0.13 \pm 0.05$, es inferior a la de *Cyprinus carpio* L. de la cual, algunas variedades de esta especie llegan a utilizarse en ornato (Wang, 2009).

Para las características relacionadas a las marcas, las h^2 , principalmente MMD, se encuentra en un valor considerado medio (Falconer y Mackay, 1996). Generalmente, los patrones de color en peces están asociados a múltiples factores genéticos y ambientales que no han sido definidos con precisión (Iwashita *et al.*, 2006; Leclercq *et al.*, 2010; Albertson *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2015). Por ejemplo, se menciona que la presencia y distribución de los cromatóforos, principalmente la de los melanóforos puede verse afectada por la luz sea por el tiempo de exposición o los lúmenes de intensidad.

En el caso de las aletas es el grupo cuyas h^2 tuvieron valores menores a 0.20. Lo cual puede indicar que los factores ambientales, principalmente la heterogeneidad en el ambiente de crecimiento, aportan parte de la variación de la morfología de las aletas como sucede con la trucha de arroyo (Varian y Nichols, 2010), sin descartar el aporte genético.

3.4.2 Correlaciones de medias fenotípicas familiares y de valores genéticos aditivos predichos familiares

Dado que la selección familiar es de los esquemas más utilizados en acuicultura, es importante conocer la asociación familiar que existe entre las características (Gjerde, 2005; Castillo-Juárez, 2007). En general las correlaciones fenotípicas familiares son altas y positivas entre las características. En cuanto a las correlaciones de los valores genéticos aditivos predichos familiares se puede visualizar que, de las características de crecimiento, el LP es la característica que muestra una asociación positiva con la mayoría de las variables. Y las características relacionadas a las aletas, son las que se muestran afectadas de manera importante por el ambiente.

3.4.3 Implicaciones de los parámetros genéticos en la selección de *Puntius tetrazona*

Si bien, para establecer criterios de selección hay que considerar las preferencias de los acuaristas obtenidas del estudio anterior y que son PC no largo, LVC de media a larga, LPA corto y LDA largo; MP y MSA anchas y una aleta dorsal no clara.

Además de lo anterior es importante considerar que el LP es una variable de interés para el productor ya que su incremento implicaría una reducción de tiempos para alcanzar la talla mínima de venta en poco tiempo, o bien precios preferenciales por tallas grandes (Rivero *et al.*, 2020).

Se puede observar que, con los resultados obtenidos y dichas preferencias, pudiera existir la posibilidad de tener respuesta correlacionada para algunas de las características acorde a los intereses de los consumidores. Sin embargo, será necesario mejorar la estructura familiar de la población para poder hacer proyecciones adecuadas sobre la respuesta a la selección correlacionada.

Por otro lado, dado la estructura de las unidades de producción acuícola ornamental, a diferencia de otras especies, el núcleo genético (cuando existe), los reproductores comerciales (multiplicadora) y la cría de peces para venta, se llevan a cabo dentro de una misma unidad de producción; y, sumado a la inestabilidad de la demanda del mercado se ven obligados a producir varias especies lo que obliga a tener espacios reducidos. Por lo que, una propuesta de esquema de selección para los productores sería realizar selección por niveles independientes, donde el primer nivel estaría seleccionando el LP y un segundo nivel se seleccionaría la MMD. Lo anterior, asociado a complicaciones operativas, capacidad y capacitación requerida limita la aplicación de esquemas de selección más elaborada como sería el uso de índices de selección.

3.5 CONCLUSIONES

Existe variación genética aditiva en el largo patrón, largo del pedúnculo caudal, largo ventral de la aleta caudal, largo del borde proximal y distal de la aleta anal; y la proporción de la marca media de la aleta dorsal. Además, se obtuvieron correlaciones de valores genéticos aditivos predichos familiares en su mayoría positivas, las cuales abren la posibilidad a poder predecir respuestas correlacionadas positivas. Sin embargo, es importante considerar las preferencias del mercado al momento de establecer los programas de selección para características morfométricas asociadas a la estética de *Puntius tetrazona*.

3.5 RECOMENDACIONES

Dado que los requerimientos fisiológicos y de manejo propios de la especie, implican contar con personal capacitado. La principal recomendación en la implementación de un programa de mejoramiento genético para *P. tetrazona* sería considerar en primera instancia aquellas unidades de producción que manejen menor cantidad de especies, ya que esto permitiría mantener la identificación familiar y reducir el número de características para incluirlas como criterios de selección. Permitiendo realizar selección familiar en el primer nivel, para la cual requerirá de la capacitación de personal, con la finalidad de que puedan hacer una valoración previa de las familias, buscando mantener el 90% de las familias con la marca media de la aleta dorsal más predominante para mantener la mayor variabilidad genética en la población. En un segundo nivel, donde se realizaría selección intrafamiliar para el largo patrón ya que es la característica más fácil de medir y es la que probablemente esté correlacionada de forma positiva con las características relacionadas a marcas y aletas, al mismo tiempo se recomendaría eliminar aquellos organismos cuyo pedúnculo caudal sea evidentemente largo.

3.6 REFERENCIAS

Adorno, T.W., 1971. Teoría estética. Taurus ediciones, España

Albertson, R.C, Powder, K.E., Hu, Y., Coyle, K.P., Roberts, R.B., Parsons, K.J. 2014. Genetic basis of continuous variation in the levels and modular inheritance of pigmentation in cichlid fishes. *Molecular ecology* 23: 5135-5150.

Auró, A., Gallo, G.C., 2006. Acuariología básica de agua dulce. (CD-ROM). FMVZ-UNAM, México

Beaumont, A.R., Hoare, K., 2003. *Biotechnology and Genetics in Fisheries and Aquaculture*. Blackwell, Great Britain

Blanco, D.F., 2004. El arte en la medicina: Las proporciones divinas. *Ciencia UANL* VII (2) abril-junio: 150-156

- Breintenstein, A., 2004. Atlas ilustrado del acuario. Susaeta, España
- Campos-Montes, G.R., Montaldo, H.H., Martínez-Ortega, A., Martínez, J.A., Castillo-Juárez, H., 2013. Genetic parameters for growth and survival traits in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* from a nucleus population undergoing a two-stage selection program. *Aquacul Int* 21: 299-310. DOI 10.1007/s10499-012-9553-1
- Casey, N.G., 2016. The ornamental freshwater fish trade in Malaysia the collection, breeding and marketing of ornamental fishes is a sizable industry. *UTAR Aquaculture Science Journal* 2(4): 7-18
- Castillo-Juárez, H., Quintana, C.J.C., Campos-Montes, G., Cabrera, V.C., Martínez, O.A., Montaldo, H.H., 2007. Heredability for body weight at harvest size in the Pacific White shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*, from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models. *Aquaculture* 273, 42-49.
- Cleveland, B.M., Gao, G., Leeds, T.D., 2020. Transcriptomic Response to Selective Breeding for Fast Growth in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Mar Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s10126-020-09974-3>
- Espírito, S.R.J.I., Gaspar, N.L.V.A.C., Castillo, M. de O. M.M., 2016. Practical Notions on Fish Health and production. Bentham Science Publishers, Sharjah, UAE.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C., 1996. Introducción a la Genética Cuantitativa. 4ª ed. España: Acribia.
- Gilmour, A.R., Gogel, B.J., Cullis, B.R., Thompson, R., 2009. ASReml User Guide Release 3.0. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK.
- Houston, R.D., Bean, T.P., Macqueen, D.J., Gundappa, M.K., Jin, Y.H., et al., 2020. Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nat Rev Genet.* <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0227-y>

- Iwashita, M., Watanabe, M., Ishii, M., Chen, T., Johnson, S.L., Kurachi, Y., Okada, N., Kondo, S. 2006. Pigment pattern in jaguar/obelix Zebrafish is caused by a Kir7.1 Mutation: Implications for the regulation of melanosome movement. *PLoS Genet* 2(11): e197. doi:10.1371/journal.pgen.0020197
- Leclercq, E., Taylor, J.F., Migaud, H., 2010. Morphological skin color changes in teleosts. *Fish Fish* 11: 159-193.
- Lohr, S.I. 2005. Muestreo: Diseño y análisis. Thomson Editores. México.
- Martínez, P.P., Figueras, H.A., 2007. Genética y genómica en acuicultura. Publicaciones científicas y tecnológicas del Observatorio Español en Acuicultura, Spain
- Monticini, P., 2010. The ornamental fish trade. Production and commerce of ornamental fish: technical-managerial and legislative aspects. GLOBEFISH Research Programme, Vol. 102. FAO, Rome, p 134
- Montaldo, H.H., Castillo-Juárez, H., Campos-Montes, G., Pérez-Enciso, M., 2013. Effect of the data family structure, tank replication and the statistical model, on the estimation of genetic parameters for body weight at 28 days of age in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei* Boone, 1931) *Aquac Res* 44: 1715-1723. doi:10.1111/j.1365-2109.2012.03176.x
- Naini, F.B., Moss, J.P., Gill, D.S., 2006. The enigma of facial beauty: Esthetics, proportions, deformity, and controversy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130 (3): 277-282
- Naval- Sánchez, M., McWilliam, S., Evans, B., Yáñez, J.M., Houston, R.D., Kijas, J.W., 2020. Changed patterns of genomics variation following recent domestication: Selection sweeps in farmed Atlantic salmon. *Front. Genet.* 11: 264 doi: 10.3389/fgene.2020.00264
- Ninh, N.H., Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H., Woolliams, J.A., Taggart, J.B., McAndrew, B.J., Penman, D.L. 2011. A comparison of communal and separate rearing

of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Estimation of genetic parameters. *Aquaculture* 322-323: 39-46.

Ortiz, R., Golmirzaie, A.M., 2004. Combining ability analysis and correlation between breeding values in true potato seed. *Plant breeding* 123: 564-567. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.00941.x>

Petrescu-Mag, I.V., Bud, I., 2017. *Aquariology: The mysteries of the submersed universe*. *ABAH Bioflux* 9 (2): 65-76.

Rivero, M.P.V., Campos, M.G.R., Lugo, G.A.T., et al., 2016. Discriminación de caracteres morfométricos de interés ornamental candidatos a criterios de selección en Barbo Sumatranos (*Puntius tetrazona*). *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 32 (17): 123-142

Rivero-Martínez, P.V., Castillo-Juárez, H., Cienfuegos, R.E.G., Pablos-Hash, J.L., Martínez-Espinosa, D.A., Campos-Montes, G.R., 2020. Analysis of the preferences of the esthetic traits and their morphotypes candidates to selection criteria in Tiger barb (*Puntius tetrazona*) in the actors of the productive chain. *Acuacult Int* 28: 1043-1055. DOI 10.1007/s10499-020-00510-7

Sandford, M., Castillo, G. and Hung, T.C., 2020. A review of fish identification methods applied on small fish. *Rev Aquacult*, 12: 542-554. doi:10.1111/raq.12339

Satam, S.B., Sawant, N.H., Ghughuskar, M.M., Sahastrabudde, V.D., Naik, V.V., et al., 2018. Ornamental fisheries: A new avenue to supplement farm income. *Int. j. agric. res. innov. technol.* 2(2): 193-197.

Serbezov, D., Bernatchez, L., Olsen, E.M., Völlestad, L.A. 2010. Quantitative genetic parameters for wild stream-living brown trout: heritability and parental effects. *J. Evol. Biol.* 23: 1631-1641.

- Singht, A.P., Frohnhöfer H.G., Irion, U., Nüsslein-Volhard, C. 2015. Response to comment on “Local reorganization of xanthophores fine-tunes and colors the striped pattern of zebrafish”. *Science* 348 (6232): 297. DOI: 10.1126/science.aaa2804.
- Su, G.S., Liljedahl, L.E., Gall, G., 2002. Genetic correlations between body weight at different ages and with reproductive traits in rainbow trout. *Aquaculture* 213: 85-94
- Tamaru, C.S., Cole, B., Bailey, R., et al., 1997. Manual for commercial production of the Tiger Barb, *Capoeta tetrazona*, a temporary paired tank spawner. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture (129), USA
- Thorland, I., Thodesen, J., Refstie, T., Folkedal, O., Stien, L.H., et al., 2020. Genetic variation in growth pattern within a population of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during a standard production cycle. *Aquaculture* 518: 734735
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734735>
- Vandeputte, M., Kocour, M., Mauger, S., Rodina, M., Launay, A., Gela, D., Dupont-Nivet, M., Hulak, M., Linhar, O. 2008. Genetic variation for growth a one and two summers of age in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): Heritability estimates and response to selection. *Aquaculture* 277(1-2): 7-13.
- Varian, A., Nichols, K.M. 2010. Heritability of morphology in Brook trout with variable life histories. *PLoS ONE* 5(9): e12950. doi:10.1371/journal.pone.0012950
- Wang, CH., Li, SF., Xiang, SP., Wang, J., Liu, ZH., Pang, ZY., Duan, JP., Xu, ZB. 2006. Genetic parameters estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*). *Aquaculture* 259 (1-4): 103-107.
- Wang, C. 2009. Quantitative genetic estimates of growth-related traits in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): A review. *Front. Biol. China* 4(3): 298-304.

- Wyban, J., 2019. Selective breeding of *Penaeus vannamei*: Impact on world aquaculture and lessons for future. En: Jithendran, K.P.; Saraswathy, R.; Balasubramanian, C.P.; Kumaraguru Vasagam, K.P.; Jayasankar, V.; Raghavan, R.; Alavandi, S.V., and Vijayan, K.K. (eds.), BRAQCON 2019: World Brackishwater Aquaculture Conference. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 86, pp. 1–5. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- You, X., Shan, X., Shi, Q., 2020. Research advances in the genomics and applications for molecular breeding of aquaculture animals. *Aquaculture* 526: 735357 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735357>
- Zion, B., Alchanatis, V., Ostrovsky, V., Barki, A., Karplus, I., 2008. Clasification of guppies' (*Poecilia reticulata*) gender by computer vision. *Aquacult Eng* 38: 97-104.

COROLARIO

El artículo presentado en el Capítulo 2 de esta tesis es una de las primeras contribuciones científicas para poder establecer programas de mejoramiento genético en peces de ornato, particularmente de *Puntius tetrazona*. Debido a que plantea estrategias para tener un acercamiento a la objetivación de la percepción de la belleza y reconocer las características morfométricas asociadas a esta que son de importancia dentro de la cadena de producción, principalmente por parte del mercado. Lo que, da apertura en la identificación de aquellas características, que pudieran cumplir con los requerimientos indispensables (heredables y fáciles de medir) para ser criterios de selección. Asimismo, el artículo presentado permitió visualizar la desconexión existente de los productores con respecto a la demanda del mercado, la cual está relacionada con las características socioculturales propias de este sector acuícola. Lo anterior, es importante conocerlo y considerarlo para la aplicación de los programas de mejoramiento genético, dado que generan un impacto en el costo-beneficio de los programas.

Los resultados presentados en el Capítulo 3 muestran, por primera vez los parámetros genéticos de características morfométricas asociadas a la belleza de *Puntius tetrazona*. Las heredabilidades y las correlaciones de valores genéticos predichos familiares permiten conocer que características ameritan su permanencia como criterios de selección dentro de un programa de mejoramiento genético. Por lo que, considerando lo anterior y la facilidad de que puedan ser medidas; de las características corporales LP será considerado como criterio de selección; de las características relacionadas a las aletas podrían ser incluidas LPA y LDA; en tanto que de las correspondientes a las marcas el criterio de selección sería MMD.

Además, en un futuro cercano se tiene que mejorar la estructura familiar para hacer una mejor estimación de los componentes de varianza y por lo tanto de los parámetros genéticos. Asimismo, se requiere de hacer estudios que permitan evaluar diferentes esquemas de selección y el costo beneficio del programa de selección para *Puntius tetrazona*.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por su apoyo y amor incondicionales.

A mis hermanos y mi sobrino, por su compañía y las risas del día a día.

A mi director de tesis, Dr. Gabriel Ricardo Campos Montes, por ser la mente de la que he aprendido, los oídos que me han escuchado y por los pequeños empujones a la dirección correcta.

A mis asesores, la Dra. Eugenia Cienfuegos Rivas y el Dr. José Manuel Berruecos Villalobos, por su tiempo, las ideas y la guía, durante el proceso.

A la Universidad Autónoma Metropolitana y al Laboratorio de Sistemas Acuícolas por el espacio y un nuevo enfoque.

Al Ing. José Luis Pablos Hash, por destrabar los enredos en mi cabeza, sin su apoyo el comienzo hubiera sido diferente.

Al Biol. Sergio Chávez Andrade por ser mi apoyo en la formación de familias y cuidado de los peces, sin su ayuda el final sería otro.

A Than y Ale, por su amistad y su cariño.