



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRIA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS.

DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y MORFOMETRÍA DE TRES POBLACIONES DE TILAPIA NILOTICA (*Oreochromis niloticus*) LÍNEA STIRLING.

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

ÁREA TEMÁTICA: ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

PRESENTA

BIOL. YOCELYN RAMIREZ GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. EN CIENCIAS ANTONIO CAMPOS MENDOZA

FEBRERO DE 2015

U.M.S.N.H



FACULTAD
DE
BIOLOGÍA

Dedicatoria:

***A mi madre, por su amor y apoyo incondicional
durante todas las etapas de mi vida.***

¡Te amo mamá!

Agradecimientos:

A lo largo de esta etapa, tuve la dicha de conocer personas maravillosas que me brindaron su apoyo y amistad durante todo el proceso. A todos ustedes, muchas gracias.

Quiero agradecer a las personas más importantes en mi vida “mi familia”, por estar a mi lado en todo momento y darme la fuerza para cumplir mis objetivos.

A mi director de tesis Antonio Campos, por darme la oportunidad de trabajar en este gran proyecto.

Al maestro Mario Romero, por brindarme un espacio para el cultivo de mis organismos. Fue una experiencia muy grata y enriquecedora compartir experiencias con todo el equipo de “Rincón del Bonete”.

A los miembros de mi comité tutorial Dra. Rebeca Rueda, Dr. Jorge Fonseca, Dr. Alberto Asiain y Dr. Lindsay Ross, por su paciencia, recomendaciones y jalones de orejas cuando me vieron como oveja descarriada.

Al Dr. Edmundo Díaz, quien no pudo concluir conmigo esta etapa, pero me dejó sus palabras de aliento y las bases para seguir por el camino correcto.

Al Dr. Javier Ponce, por su tiempo y apoyo en la parte estadística.

A mis compañeros de laboratorio, Arturo, Karina, Blanca, Luis, Nico e Isaac por su amistad, buenos momentos y su apoyo en trabajo de campo.

Y a todos los que formaron parte de esta maravillosa etapa de mi vida.

Por último quiero agradecer a CONACYT por el apoyo económico recibido a lo largo del programa.

Contenido

I. RESUMEN GENERAL	1
I. ABSTRACT	2
II. INTRODUCCIÓN	3
2.1 Biología de la tilapia	4
2.2 Requerimientos medioambientales	5
2.3 Cultivo	5
2.4 Programas de mejoramiento genético (PMG)	7
2.5 Comparación de líneas	8
III. HIPOTESIS DE TRABAJO	10
IV. OBJETIVOS	10
4.1 Objetivo general	10
4.2 Objetivos particulares.....	10
V. CAPÍTULO I. DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y SUPERVIVENCIA DE TRES POBLACIONES DE TILAPIA O. niloticus LÍNEA STIRLING	12
5.1 Resumen.....	13
5.2 Abstract.....	14
5.3 Introducción	15
5.4 Materiales y métodos	16
5.4.1 Localización e instalaciones	17
5.4.2 Diseño experimental	18
5.4.3 Reproducción, colecta e incubación de huevo.....	19
5.4.4 Inducción sexual masculina	19
5.4.5 Etapa de levante.....	19
5.4.6 Etapa de pre-engorda	20
5.4.7 Etapa de engorda	20
5.4.8 Cosecha.....	20
5.4.9 Biometrías.....	20
5.4.10 Parámetros del agua.....	21

5.4.11 Parámetros de desempeño.....	21
5.5 Análisis estadísticos.....	21
5.5 Resultados.....	22
4.5 Discusiones.....	25
4.7 Conclusión.....	27
V. CAPITULO II. VARIACIONES MORFOMÉTRICAS DE TRES POBLACIONES DE TILAPIA O. niloticus LÍNEA STIRLING.....	28
5.1 Resumen.....	29
5.2 Abstract.....	30
5.3 Introducción.....	31
5.4 Materiales y métodos.....	32
5.4.1 Material Biológico.....	32
5.4.2 Medidas morfométricas.....	33
5.5 Análisis estadísticos.....	34
5.6 Resultados.....	34
5.7 Discusión.....	38
5.8 Conclusión.....	40
VI. DISCUSION GENERAL.....	41
VI. ANEXOS.....	43
VII. BIBLIOGRAFIA.....	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y acuicultura (FAO, 2012).....	3
Figura 2. Caracteres sexuales de Macho (izquierda) y Hembra (derecha) de tilapia <i>O. niloticus</i>	4

CAPITULO I

Figura 1. Localización macroscópica de la granja de producción acuícola “Rincón del Bonete” ubicado en la localidad del Ciruelo, municipio de la Huacana.	18
Figura 2. Diseño experimental para el cultivo de tres poblaciones de tilapia <i>O. niloticus</i> Stirling.	18
Figura 3. Histograma de frecuencias para tres poblaciones de tilapia <i>O. niloticus</i> Stirling cultivados durante 131 días. Azul= población Colima, Rojo= población Veracruz, Verde= población Morelos	23
Figura 4. Curva de crecimiento (peso) durante un periodo de cultivo de 131 días en tres poblaciones de tilapia <i>O. niloticus</i> de la línea Stirling.....	24

CAPITULO II.

Figura 1. Medidas morfométricas (cm) tomadas en tres poblaciones de tilapia <i>O. niloticus</i> Stirling.....	33
Figura 2. Clasificación de tres poblaciones de tilapia <i>O. niloticus</i> Stirling mediante análisis de función discriminante con el uso de tres variables morfométricas (LCB, LTR y ATR).....	37

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1. Valores iniciales y finales de los parámetros productivos evaluados en tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling durante 131 días de cultivo. 22

Tabla 2. Parámetros físicos del agua durante un periodo de 131 días. Temperatura y Oxígeno Disuelto. 24

CAPITULO II

Tabla 1. ANDEVA. Media \pm Error Estándar del peso y medidas corporales en tres poblaciones de tilapia. 34

Tabla 2. Componentes principales; valor propio, % de variación y % de variación acumulada. 35

Tabla 3. Análisis de función discriminante. Coeficientes de función discriminante por etapas "step-wise" para rasgos morfométricos..... 36

Tabla 4. Clasificación de los organismos de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling. 36

Tabla 5. Análisis de regresión múltiple mediante método de "backward". Peso = variable de respuesta. 37

I. RESUMEN GENERAL

La acuicultura es la actividad con mayor potencial de crecimiento dentro del sector alimentario y actualmente contribuye en gran medida a la seguridad alimentaria del planeta. La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es la segunda especie más cultivada en México y su producción actual es de aproximadamente 70,000 toneladas, no obstante, anualmente se están importando más de 40,000 toneladas de producto congelado. Para satisfacer la demanda, es indispensable generar estrategias que contribuyan al incremento de la producción. Los programas de mejoramiento genético (PMG) por selección, son una herramienta que ha sido aplicada con éxito en especies acuáticas como la tilapia, donde se ha logrado un incremento en su tasa de crecimiento de hasta 80%. Para iniciar un PMG, es preciso hacer una elección adecuada de las líneas o poblaciones que integrarán el “pool” genético que de origen a la población base. En la actualidad es difícil encontrar líneas puras de tilapia, sin embargo, la Universidad de Stirling en Escocia ha mantenido aislada por más de 40 años una población de *O. niloticus* procedente del lago de Manzala en Egipto y de la cual se han realizado varias importaciones a México. Para este estudio se realizó un rastreo de dichas importaciones y se adquirió material biológico de tres poblaciones pertenecientes a diferentes estados de la república (Colima, Veracruz y Morelos) de la línea Stirling. El objetivo fue evaluar su desempeño productivo, supervivencia y características morfológicas a fin de determinar qué población responde mejor a las condiciones ambientales y de cultivo en la región de Michoacán. Los resultados indican que la población de Veracruz presenta mejor desempeño productivo y características morfológicas deseables en esta especie. El coeficiente de variación (CV%) en peso fue similar en Veracruz y Morelos (39.6 y 41.4 respectivamente) lo que indica mayor homogeneidad para estas dos poblaciones comparado con Colima quien obtuvo 43.5%. El intervalo de crecimiento en peso también fue mayor para Veracruz y Morelos lo que indica mayor variación genética cuantitativa. Respecto a la supervivencia, Colima presentó el nivel más alto con 96%.

Palabras clave: Desempeño productivo, morfometría, *Oreochromis niloticus*, Stirling.

I. ABSTRACT

Aquaculture is the fastest growing food production sector in the world. In México, the tilapia *Oreochromis niloticus* provides an important source of animal protein income and actually is the second most cultivated species. Its current production is about 70,000 tons; however the last year Mexico imported more than 40,000 tons of frozen product. In order to satisfy the current demand is necessary to implement strategies that contribute to increased production. Selection breeding program are an efficient tool that has been successfully applied in aquatic species such as tilapia, which has achieved an increase in growth rate to 80% after 6 generations of selection. To start a selective breeding program is necessary to make an appropriate choice of lines to integrate the genetic pool that gives rise to the base population. For this study we select tree populations of tilapia *O. niloticus* Stirling strain (Morelos, Veracruz and Colima). The aim was to evaluate the productive performance, survival and morphological characteristics to determine which one have a better response to environmental conditions in Michoacán. The results indicate that, Veracruz population has better production performance and desirable morphological characteristics. The Coeficient of Variation (CV%) indicate more homogeneity for organisms precedents of Veracruz (39.6) and Morelos (41.4) compared with 43.1 obtained for Colima. The growth intervals were bigger for Veracruz and Morelos, This suggest more quantitative genetic variation for these populations. By other way, Colima showed a higher survival percentage (94.4%) compared whit 85.2 and 82% obtained for Morelos and Veracruz respectively.

Keywords: productive performance, Morphology, *Oreochromis niloticus*, Stirling.

II. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se considera hoy día, la actividad con mayor potencial de crecimiento dentro del sector alimentario. En las últimas tres décadas la producción mundial de peces comestibles de cultivo ha aumentado a razón de un 8.8% anual y actualmente contribuye con más del 40% de la producción de productos pesqueros (figura 1). De continuar esta tendencia se espera que para el 2020 la producción por acuicultura supere la de pesca de captura (FAO, 2012).

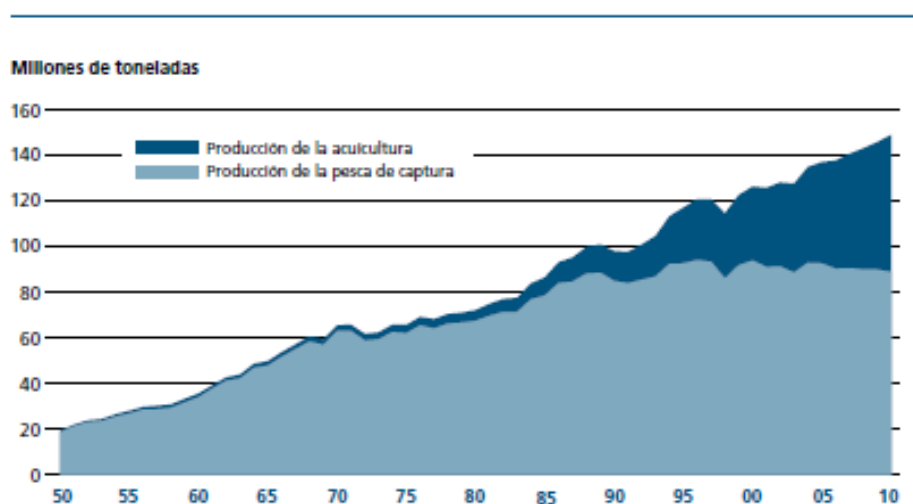


Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y acuicultura (FAO, 2012).

Si bien, la producción acuícola ha mostrado un fuerte crecimiento, existe un desequilibrio en la distribución mundial entre las regiones y países de diferentes niveles de desarrollo económico (FAO, 2012). Actualmente, Asia (principalmente China) aporta casi el 89% del volumen de producción acuícola mundial, mientras que América apenas aporta 4.7% (Wurmann, 2013).

En el caso particular de México, la tasa de crecimiento anual de la acuicultura fue 5.6% durante el último quinquenio, sin embargo, se sabe que el país cuenta con los recursos necesarios (clima y cuerpos de agua) para desarrollar la acuicultura más allá de los límites actuales (Campos *et al.*, 2012). En el 2010, México alcanzó una producción de 126,240 toneladas (t), lo que correspondió a 4.9% de la producción

total en el continente Americano (FAO, 2012). En México, el principal producto de la industria acuícola es el camarón, el cual representó en el 2008 el 45.9% de la producción, seguido por la tilapia con 25.0% y el ostión con 14.86% (Mojica *et al.*, 2010).

2.1 Biología de la tilapia

La tribu Tilapini está representada por más de 70 especies de las cuales solo 10 son utilizadas para consumo humano. Este grupo de peces presenta un cuerpo generalmente comprimido y discoidal, boca protractil y dientes cónicos. Para su locomoción poseen dos aletas pectorales, dos ventrales, una dorsal, una caudal y una anal (Saavedra, 2006).

La diferenciación externa de los sexos en *O. niloticus* se basa en que el macho presenta dos orificios bajo el vientre; el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres; el ano, el poro genital y el orificio urinario. El ano es un orificio redondo que se distingue a simple vista. El orificio urogenital del macho es un pequeño punto mientras que el orificio urinario de la hembra es apenas visible a simple vista. El poro genital se encuentra en una hendidura perpendicular al eje del cuerpo (figura 2).

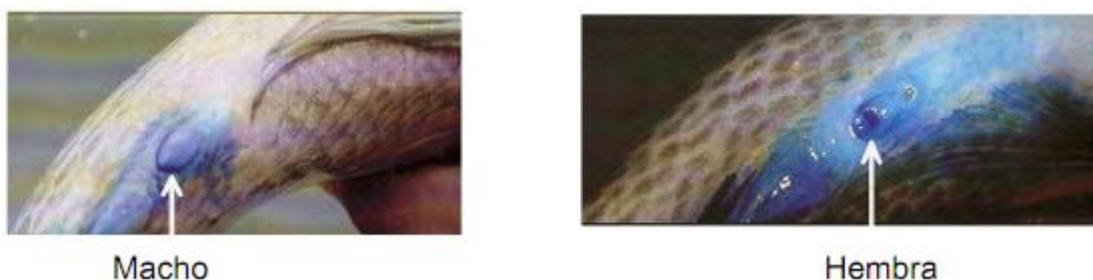


Figura 2. Caracteres sexuales de Macho (izquierda) y Hembra (derecha) de tilapia *O. niloticus*

La tilapia se caracteriza por ser una especie prolifera a temprana edad, alcanza su madurez sexual a los 3 o 4 meses. Se reproduce entre los 20 y 25 °C hasta 12 veces por año (Saavedra, 2006).

2.2 Requerimientos medioambientales

La tilapia se caracteriza por ser tolerante a diversas condiciones de cultivo, no obstante, para obtener altos rendimientos productivos es indispensable mantener los requerimientos y parámetros dentro de sus límites óptimos. Los rangos de temperatura oscilan entre 25-30°C y a pesar de que pueden soportar temperaturas menores, detienen su crecimiento en aguas inferiores a 15°C. Soporta bajas concentraciones de oxígeno (0.5 mg/L) en periodos cortos de tiempo. Lo ideal es mantener valores mayores de 2 o 3 mg/L. Respecto al pH, los valores óptimos son entre 7 y 8. No toleran valores menores de 5 pero pueden resistir valores alcalinos de hasta 11. El amonio no debe superar 0.1 ppm/L y su turbidez se recomienda mantener los 30 centímetros de visibilidad. Condiciones subóptimas de estos parámetros provocan estrés lo que podría reducir la resistencia inmunológica y facilitar la incidencia de enfermedades además de retrasar el crecimiento (Saavedra, 2006).

2.3 Cultivo

Después de las carpas, los peces denominados genéricamente “tilapias” son el segundo grupo de peces más cultivados en el mundo. Su alta tasa de crecimiento, adaptabilidad ambiental, resistencia al manejo y aceptación en el mercado hacen del cultivo de tilapia un proyecto rentable y con buenas perspectivas (Fitzimmons, 2013).

La tilapia es una especie originaria de África, su cultivo comenzó en 1820 y desde entonces ha sido introducida a más de 87 países (Froese y Pauly, 2004). En la década de los 70's se introdujo a los países asiáticos para su cultivo a pequeña escala, sin embargo, el manejo que se le dio a los reproductores fue inadecuado y esto originó un deterioro en el material genético provocando un bajo rendimiento en muchos de los sistemas de producción (Acosta y Williams, 2001). Los estudios realizados a principios de 1980 por el Centro Mundial de Pesca confirmaron el bajo rendimiento como una de las principales limitaciones en la acuicultura de tilapia en Asia (Pullin, 1980; Kuo y Neal 1982; Smith *et al.*, 1985; Pullin, 1985). A partir de

entonces (1988) se comenzaron a realizar investigaciones para aumentar el desempeño y la calidad del producto.

El incremento permanente de la producción mundial de tilapia a partir de los 80's ha evidenciado la importancia que ha tomado este grupo de peces dentro del sector acuícola, no obstante, son pocos los países que han presentado un desempeño óptimo en el cultivo de la especie, por lo que actualmente 72% de la producción total es cultivado en Asia (principalmente en China y el Sudeste Asiático), 19% en África y 9% en América (FAO, 2012).

Las primeras importaciones de tilapia a México se realizaron en el año de 1964 con crías procedente de Auburn, Alabama, Estados Unidos de Norte América y fueron depositadas en la estación piscícola "El Temascal" en Oaxaca. Las especies introducidas fueron identificadas como T. Nilotica (*O. niloticus*), T. Mossámbica (*O. mossambicus*) y T. Melanopleura (*Tilapia zilli*) (Asiain, 1975). Desde entonces, la distribución de este grupo de peces se ha extendido a la mayor parte de la República Mexicana. Entre las principales especies de tilapia cultivadas en México, *O. niloticus* es una de las más adecuadas para cultivo en aguas continentales y en la actualidad esta especie abarca más de 90% de la producción (Castillo, 2008).

En 1996, México se posicionó como el primer productor de tilapia en América con una producción de 94,276 t (Fitzsimmons, 2000). No obstante, en la actualidad dicha producción ha disminuido y en 2012 apenas alcanzó las 74,000 t, a pesar de que el consumo en este mismo año fue de más de 113,000 t. Para satisfacer la demanda, el país ha tenido que recurrir a la importación de más de 40,000 t de tilapia congelada principalmente proveniente de China (Martínez, 2013).

Para lograr un aumento en la producción, los principales países productores han implementado tecnologías que contribuyen a mejorar el desempeño productivo de las especies cultivadas. Tal es el caso de los programas de selección y/o programas de mejoramiento genético, que otorgan ventajas productivas y comerciales con grandes beneficios a corto plazo. Los peces mejorados

genéticamente crecen más rápido, utilizan los alimentos en forma más eficiente y son más resistentes a enfermedades (Gjedrem, 2012).

Los programas de mejoramiento genético han sido aplicados con éxito en varias especies de interés comercial, incluyendo la tilapia y en la actualidad se han generado diversas líneas mejoradas, para lo cual se tomaron en cuenta características que favorecieran la rentabilidad del cultivo como es la coloración, el crecimiento, la tasa de conversión alimenticia, resistencia a bajas temperaturas y enfermedades así como una mayor supervivencia. Las líneas GIFT (Malasia), Genomar (Brasil y Noruega), Chitralada (Tailandia) y Gift Excel (Filipinas) entre otras son el resultado de este tipo de programas (Fitzsimmons, 2010).

La línea Stirling es considerada la línea silvestre de *O. niloticus*; su población original se ha mantenido aislada por más de 40 años en la Universidad de Stirling en Escocia. Su introducción a México se realizó en 1978, con crías procedentes de Panamá, las cuales fueron depositadas en la estación Piscícola Temascal en Oaxaca (Arredondo y Lozano 2003). Desde entonces se han realizado varias importaciones de esta línea, la cual ya se encuentra adaptada a las condiciones ambientales del país. En la actualidad la línea Stirling es una de las más cultivadas en México y no ha sido utilizada en programas de selección, por lo que podría presentar un alto nivel de variabilidad genética, lo cual es indispensable para formar un “pool” genético amplio que sirva como base para iniciar un Programa de mejoramiento genético.

2.4 Programas de mejoramiento genético (PMG)

La era del mejoramiento genético en la acuicultura se puso en marcha desde mediados de la década de los 70's con el inicio de los programas de cría selectiva de salmón en Noruega. Sin embargo, no fue hasta las últimas dos décadas que hubo una aceptación sobre los beneficios que se pueden obtener por medio de la aplicación apropiada de programas bien planificados de selección en organismos acuáticos (Hall, 2004). De las más de 500 especies de plantas y animales acuáticos cultivados que se tienen registradas por la FAO, solo unos cuantos han sido empleados en programas de gestión de recursos genéticos. El bagre del canal, la

tilapia del Nilo, el salmón del Atlántico y varias carpas cultivadas son ejemplos que ya han mostrado dichos beneficios en las ganancias en producción (FAO, 2012).

El mejoramiento genético en tilapia comenzó en 1988. Debido a la excelente respuesta que habían tenido especies como la trucha y el salmón, se decidió comenzar con experimentos con la tilapia del Nilo. El Centro Internacional para la Ordenación de los Recursos Acuáticos (ICLARM, ahora WorldFish Center) en colaboración con otras instituciones decidieron comenzar un programa de selección para aumentar el crecimiento en tilapia *O. niloticus*. Para asegurar una variabilidad genética la población base se conformó por cuatro líneas de tilapia, una cultivada de Filipinas y otras cuatro silvestres provenientes de África. Después de cinco generaciones seleccionadas, la respuesta acumulada en la tasa de crecimiento fue del 86 %, correspondiente a 17% por generación (Bentsen *et al.*, 1998; Ponzoni *et al.*, 2005; Eknath *et al.*, 2007; Rezim *et al.*, 2009; Gjedrem, 2012). Este gran proyecto que marcó el inicio del mejoramiento genético en tilapia recibió el nombre de Genetically Improvement of Farmed Tilapia (GIFT) (WorldFish Center 2004).

En la actualidad se tienen registrados 27 programas de mejoramiento genético en Tilapia, 13 en salmón del Atlántico y 13 para trucha arcoíris, mientras que el grupo de las carpas reporta 8 programas (Gjedrem, 2012).

El primer paso para iniciar un PMG es la identificación y desarrollo de una población fundadora o generación base apropiada. Para maximizar el potencial genético a largo plazo y mejorar el rendimiento del cultivo, esta población fundadora debe ser altamente variable genéticamente y basarse en las poblaciones de mejor rendimiento que se tengan disponibles (Eknath *et al.*, 2007).

2.5 Comparación de líneas

Para la selección de las poblaciones, es necesario evaluar el desempeño de las líneas disponibles de manera que podamos identificar las de mejor rendimiento. Este tipo de análisis pueden proveer información de importancia antes de avanzar e invertir en un proyecto de mayor escala, ya que de esta manera se puede tener un

panorama de predicción acerca del comportamiento o desempeño de los organismos a futuro (Gjedrem, 2005).

Para estimar con mayor seguridad las diferencias entre las líneas es preferible hacer primeramente una comparación entre poblaciones puras y no realizar cruces dialélicos ya que en este caso se podría sobreestimar el error debido a la heterosis y/o vigor híbrido (Ponzoni *et al.*, 2013). Lo importante en este tipo de análisis es estimar las diferencias con la precisión adecuada de manera que se identifique si los resultados obtenidos son de importancia económica. Estos análisis se han realizado para cada una de las especies en las que se han aplicado programas de selección, como por ejemplo en salmónidos, truchas, carpas y tilapia principalmente (Ponzoni *et al.*, 2013).

Para que México pueda generar un aumento en la producción de tilapia y pueda así satisfacer la demanda del producto es necesaria la implementación de programas que permitan obtener organismos con mejores características y que presenten un mejor rendimiento, optimizando los recursos disponibles y utilizando el material biológico que ya se encuentra adaptado a las condiciones ambientales del país, para lo cual, es necesario realizar pruebas de desempeño que nos permitan tener un panorama sobre el comportamiento de los candidatos (Ponzoni, 2013). Por tal motivo, el objetivo de este proyecto fue evaluar el desempeño productivo, la supervivencia y la variabilidad morfológica de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* de la línea Stirling adaptadas al territorio mexicano. Esta información es relevante ya que por medio de la evaluación de caracteres cuantitativos se pueden elegir las poblaciones más adecuadas para ser incluidas en un programa de mejoramiento genético.

III. HIPOTESIS DE TRABAJO

Existen diferencias significativas en el desempeño productivo y la expresión fenotípica de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* de la línea Stirling como resultado de la interacción genotipo-ambiente, cuando estas se cultivan bajo las mismas condiciones.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo, supervivencia y la variación morfológica de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* de la línea Stirling cultivadas bajo las mismas condiciones.

4.2 Objetivos particulares

Determinar el desempeño productivo de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* de la línea Stirling (Morelos, Veracruz y Colima) durante un periodo de 131 días evaluando las siguientes variables

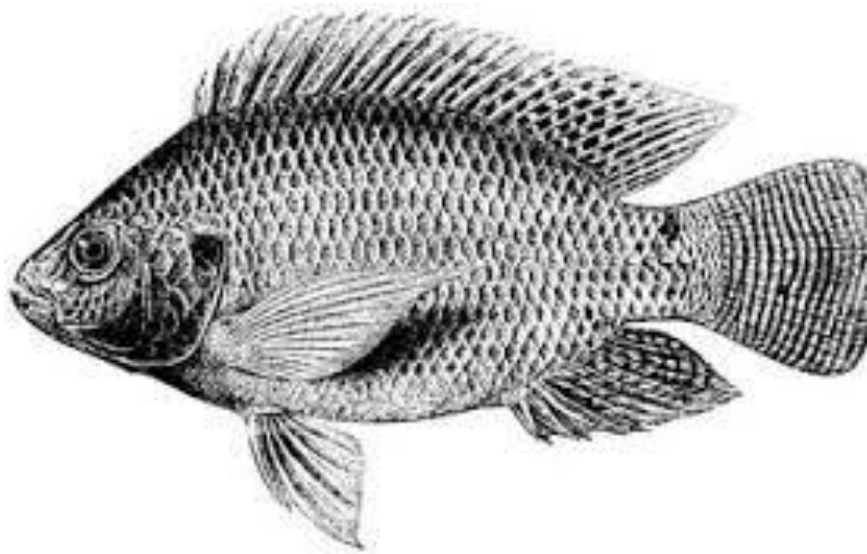
- ganancia de peso
- ganancia en peso promedio diario
- factor de condición corporal
- tasa de crecimiento específica
- factor de conversión alimenticia y

-
- tasa de supervivencia.

Estimar la variación fenotípica de las tres poblaciones considerando el peso y ocho variables morfométricas

- Longitud total (LTL)
- Longitud estándar (LET)
- Longitud de cabeza (LCB)
- Longitud de cola (LCL)
- Longitud de tronco (LTR)
- Altura (ALT)
- Ancho de tronco (ATR)
- Ancho de cabeza (ACB)

V. CAPÍTULO I



**DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y SUPERVIVENCIA DE TRES POBLACIONES DE
TILAPIA *O. niloticus* LÍNEA STIRLING**

5.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño productivo (crecimiento en peso y talla, factor de condición corporal, conversión alimenticia y tasa específica de crecimiento) y supervivencia de tres poblaciones de tilapia (Colima, Veracruz y Morelos) *Oreochromis niloticus* línea Stirling durante un periodo de 131 días de cultivo. Para ello se trabajó con 1548 organismos revertidos, descendencia de la cruce entre 45 hembras y 15 machos (3:1) de cada población. Los resultados indican un mejor desempeño en todas las variables evaluadas para la población Veracruz, sin embargo, la tasa de supervivencia favoreció a la población de Colima con 94.9% seguido de Morelos (85.2%) y Veracruz (82%). Las poblaciones se diferenciaron significativamente ($p < 0.05$) en todas las variables con excepción del factor de conversión alimenticia (FCA) que presentó valores de 2.16, 2.13 y 1.98 para Colima, Morelos y Veracruz respectivamente. El coeficiente de variación (CV%) mostró mayor homogeneidad en la distribución de pesos de las poblaciones Veracruz y Morelos (39.61 y 41.41) mientras que Colima alcanzó un valor de 43.53. Los resultados de este estudio indican diferencias en el crecimiento y desempeño productivo entre las tres poblaciones, lo cual pudiera ser atribuido al manejo previo que se le dio a cada grupo desde su llegada a México. La población de Veracruz y Morelos resultan las más adecuadas para el cultivo en la región de Michoacán, sin embargo Colima obtuvo el mayor porcentaje de supervivencia y el color que presentan los organismos es atractivo para los consumidores y favorece su aceptación en el mercado. Se recomienda realizar cruces dialélicos entre las tres poblaciones para determinar los efectos genéticos aditivos y no aditivos, así mismo, se sugiere realizar pruebas en diversos ambientes para determinar en qué medida el ambiente o sistema de cultivo tiene influencia sobre el desarrollo de cada población.

Palabras clave: Tilapia, *Oreochromis niloticus*, desempeño productivo, supervivencia, Stirling.

5.2 Abstract

The aim of this study was to evaluate the productive performance (growth in weight and height, body condition factor, feed conversion, specific growth rate) and survival of three populations of tilapia (Colima, Veracruz and Morelos) *Oreochromis niloticus* Stirling cultivated in same conditions for a period of 131 days. Database was formed using information of 1548 reverted organisms, offspring of crosses between 45 females and 15 males (3: 1) for each population. The results indicate a better performance in all variables for the Veracruz population; however, the survival rate favored Colima population (94.9%) followed by Morelos (85.2%) and Veracruz (82%). The populations differed significantly ($p < 0.05$) in all variables except for feed conversion (FCA) which present values of 2.16, 2.13 and 1.98 for Colima, Morelos and Veracruz, respectively. The coefficient of variation (CV%) showed greater homogeneity in the distribution of weights of Veracruz and Morelos (39.61 and 41.41) while Colima populations reached a value of 43.53. The results of this study indicate differences in growth and production among the three populations, which could be attributed to the previous management given to each group since their arrival to Mexico. The population of Veracruz and Morelos are the most suitable for cultivation in the region of Michoacán, Colima however had the highest survival rate and the color of the organisms is attractive to consumers and promotes their market acceptance. It is recommended realize diallel crosses among the three populations to determine additive genetic effects and non-additive, also, it is suggested that tests in different environments to determine to what extent the environment or culture system influences the development of each population.

Keywords: Tilapia, *Oreochromis niloticus*, production performance, survival, Stirling.

5.3 Introducción

Para una población humana en crecimiento, es indispensable generar herramientas que permitan satisfacer la demanda alimentaria. La acuicultura es una actividad con mucho potencial y es capaz de cumplir con los requerimientos nutricionales y de fácil acceso a la mayor parte de la población (FAO, 2012).

En México, el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), se ha desarrollado con éxito en varios estados. Michoacán es uno de los principales productores de esta especie y actualmente se está trabajando en colaboración con otras entidades para aumentar la producción de esta especie (Campos-Mendoza, comunicación personal, 2013).

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de tilapia en el estado, es el bajo desempeño que presentan los organismos, lo cual se debe principalmente a la calidad genética deficiente de las poblaciones, provocada por un manejo inadecuado de los reproductores en los centros de producción de semilla (Barriga-Sosa *et al.*, 2002). En este contexto se hace indispensable dar inicio a un programa de mejoramiento genético (PMG) que impulse el desarrollo productivo de la tilapia, esto mediante el uso de material biológico que responda favorablemente a las condiciones ambientales de la región.

De las principales líneas de tilapia que actualmente se cultivan en México, la Stirling se encuentra entre las más conocidas y aceptadas tanto por el productor como por el mercado. Su primera importación al país se realizó en 1986 y desde entonces se han realizado varias importaciones a diferentes estados de la república.

El origen de esta línea se remonta a un grupo de organismos capturados en el lago de Manzala, Egipto y que por más de 40 años se ha mantenido bajo el manejo y cuidado del Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, Escocia.

Actualmente es complicado encontrar líneas puras, esto es resultado de que las líneas comerciales contienen genes de por lo menos cuatro especies (Mc Andrew y Majumdar, 1983). Debido al tiempo de aislamiento que ha tenido la línea Stirling, esta se considera lo más parecido a un grupo silvestre de *O. niloticus*.

Por lo antes citado se considera que esta línea podría ser un excelente candidato para formar parte de un programa de mejoramiento genético (PMG) por selección que ayude a mejorar el desempeño de los organismos y por ende la rentabilidad de su cultivo.

Para iniciar un PMG es indispensable seguir cuatro principios básicos;

1. Selección entre líneas: implica una selección adecuada de las poblaciones o líneas ya adaptadas a determinado ambiente o mercado.
2. Cruzamiento entre líneas: su objetivo es combinar en forma favorable los genes que afectan las características de desempeño o de importancia comercial.
3. Selección: es la identificación de los organismos con la mejor respuesta para emplearlos en la siguiente generación.
4. Diseminación genética: lograr una amplia distribución de las mejoras alcanzadas entre los productores.

El presente trabajo planteo como primer objetivo el evaluar el desempeño productivo y la tasa de supervivencia de tres poblaciones de tilapia importadas a diferentes estados de la República Mexicana (Colima, Veracruz y Morelos). Para ello se evaluó a 1548 organismos revertidos y cultivados por un periodo de 131 días en jaulas colocadas dentro de estanques rústicos (con tres replicas por población). Los parámetros productivos evaluados fueron: peso, longitud total, factor de condición, ganancia de peso diaria, tasa específica de crecimiento, factor de conversión alimenticia y tasa de supervivencia. Los resultados de estos análisis permitieron la identificación de la población más adecuada para que forme parte de la población base que dé inicio a un programa de mejoramiento genético en el estado de Michoacán.

5.4 Materiales y métodos

Para obtener las crías que fueron utilizadas en este experimento se adquirieron tres lotes de organismos de *O. niloticus* línea Stirling de diferentes estados de la república (Colima, Veracruz y Morelos).

Las tres poblaciones fueron trasladadas al Laboratorio de Biología Acuática de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), donde se mantuvieron por separado en estanques de concreto en un sistema de recirculación con aireación y recambio de agua constante. Al alcanzar la etapa reproductiva cada individuo fue marcado con un chip electrónico (PIT: Passive Integrated Transponder) (Anexo 1) para su posterior identificación individual. Los organismos se alimentaron a saciedad dos veces al día hasta septiembre del 2013. Posteriormente, los organismos se trasladaron a la Unidad de Producción “Rincón del Bonete” en el municipio de La Huacana, Michoacán, lugar donde se realizó la etapa experimental.

5.4.1 Localización e instalaciones

El trabajo experimental se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad de Producción Acuícola “Sociedad de Producción Rural Rincón del Bonete”, la cual se encuentra ubicada en la localidad El Ciruelo, municipio de la Huacana, Michoacán. Esta localidad se encuentra a 260 msnm, su clima es tropical con lluvias en verano y presenta una precipitación media anual de 800 mm. La hidrología de la región está representada por el río Grande que desemboca en la presa de Zicuirán y de Infiernillo con temperatura media anual del agua de 28°C.

La granja de producción acuícola (Fig. 1), cuenta con 20 estanques (rústicos y de concreto) donde se produce principalmente tilapia *O. niloticus*. En el lugar se encuentra instalado un módulo de incubación que funciona mediante un sistema de recirculación, el cual abastece cinco jarras de incubación tipo McDonald con capacidad de dos litros cada una.



Figura 1. Localización macroscópica de la granja de producción acuícola “Rincón del Bonete” ubicado en la localidad del Ciruelo, municipio de la Huacana.

5.4.2 Diseño experimental

El estudio comprendió el cultivo de tres poblaciones de tilapia (Colima, Veracruz y Morelos) *O. niloticus* de la línea Stirling, este se llevó a cabo en seis etapas; 1) reproducción, 2) colecta de huevo e incubación, 3) inducción sexual (masculinización), 4) levante, 5) pre-engorda y 6) engorda. Para este estudio, se consideró como fase de cultivo solamente a las últimas 3 etapas (131 días) y se inició cuando las crías contaban con 28-30 días de edad. Durante las primeras cuatro etapas los organismos estuvieron separados por poblaciones, mientras que en la etapa de pre-engorda y engorda cada población fue separada en tres réplicas distribuidas por módulos al azar (fig. 2).

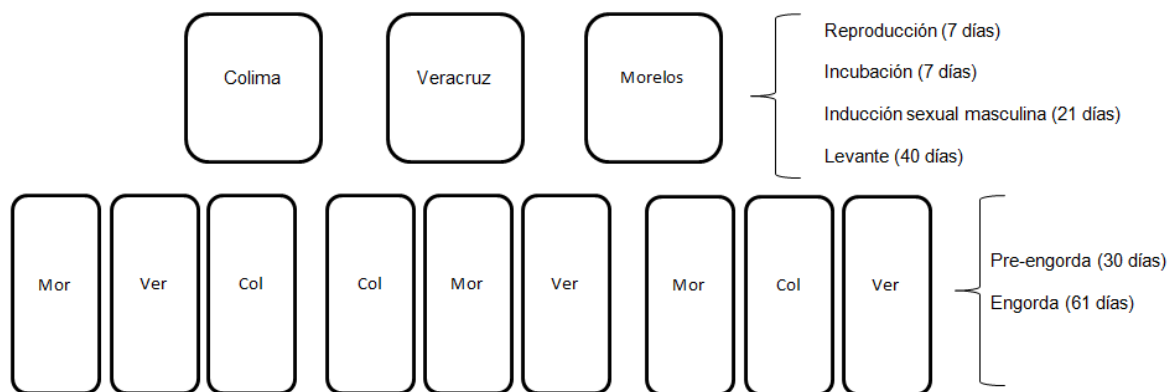


Figura 2. Diseño experimental para el cultivo de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling.

5.4.3 Reproducción, colecta e incubación de huevo

Para la obtención de la cría que se utilizó en el experimento se colocaron dentro de un estanque rústico, tres jaulas de reproducción de malla mosquitera de 90 m³ cada una (Anexo 2). En cada jaula se colocaron 45 hembras y 15 machos en edad reproductiva de cada una de las poblaciones. Esta etapa tuvo una duración de siete días al término de los cuales se realizó la colecta de huevo directamente de la boca de las hembras. El huevo colectado fue lavado y desinfectado en una solución de acriflavina al 0.1 % y posteriormente se colocó en tres incubadoras tipo McDonald (separados por población) con capacidad de 2 litros cada una.

5.4.4 Inducción sexual masculina

Una vez que las crías eclosionaron y reabsorbieron el saco vitelino, se trasladaron al módulo de reversión sexual, el cual consta de tres jaulas de 1 m³ suspendidas dentro de un estanque de concreto (Anexo 3), con un recambio de agua de 20 L/min. Posteriormente se les suministro alimento elaborado con harina de pescado y adicionado con la hormona 17-alfa-metil testosterona, en una concentración de 60 mg/kg de alimento. La alimentación se realizó a razón del 20% de la biomasa de cada población, la cual se repartió en 6 raciones diarias durante 21 días posteriores a su eclosión.

5.4.5 Etapa de levante

Una vez finalizada la etapa de reversión se dio inicio a la fase de cultivo. Para este fin se seleccionaron y separaron al azar 1200 organismos de cada población y fueron colocados en tres jaulas de 1 m³ dentro de un estanque rustico. Se inició su alimentación con alimento comercial (Nutripec de Purina) compuesto por un 53 % de proteína y 15 % de grasa. Los organismos fueron alimentados 5 veces al día a razón de un 10 % de su biomasa durante 40 días.

5.4.6 Etapa de pre-engorda

Para esta etapa se colocaron dentro de un estanque rústico nueve jaulas de 2 m³ (Anexo 4). En cada jaula se colocaron 300 organismos con tres replicas por población. En esta etapa, el alimento se suministró a razón de un 5 % de la biomasa de cada población, repartida en 5 raciones diarias. Los peces se mantuvieron en estas jaulas durante un periodo de 30 días, que fue cuando se realizó el ultimo desdoble. Cabe mencionar que durante 15 días de esta etapa los organismos fueron alimentados solamente una vez al día por problemas de acceso a la granja.

5.4.7 Etapa de engorda

Para la última etapa se colocaron 9 jaulas de 60 m³ (Anexo 5) con 250 organismos por jaula a una densidad de 4.16 peces por m³ y tres réplicas por población. Los peces se alimentaron con un nivel de proteína de 35 %, en proporción al 3% de su biomasa distribuida en tres raciones diarias. Esta etapa tuvo una duración de 61 días.

5.4.8 Cosecha

Después de 131 días de cultivo se cosechó el total de los organismos por jaula. Debido al tamaño de los peces y para evitar generar estrés, estos fueron anestesiados en una solución de benzocaína al 0.01%. Finalmente se obtuvo peso y talla (longitud total) individual del total de organismos de cada población. Cabe mencionar que accidentalmente poco antes de la cosecha, dos jaulas (una de Morelos y otra de Veracruz) se perdieron por cuestiones técnicas y fue imposible recuperarlas.

5.4.9 Biometrías

Con la finalidad de observar la curva de crecimiento de las poblaciones así como modificar la tasa de alimentación se realizaron cinco biometrías durante el experimento. Para cada una se obtuvieron datos de peso (balanza Scout-pro de la marca Ohaus 0.1 gr de precisión) y talla (vernier de precisión, marca Storm) de 5 % de los organismos que se sembraron en cada jaula (Anexo 6). Posteriormente,

cuando los peces alcanzaron tallas mayores se utilizó un ictiómetro graduado en mm. Las biometrías se realizaron los días 1, 30, 60, 90 y 110 del cultivo.

5.4.10 Parámetros del agua

Durante toda la etapa experimental los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto (OD) fueron tomados diariamente dos veces al día (9:00 y 17:00 hrs) (oxímetro marca Yellow Spring Instruments modelo 85).

5.4.11 Parámetros de desempeño

Para determinar el desempeño productivo de las tres poblaciones se evaluaron 7 variables continuas:

1. Peso en gramos (gr),
2. Longitud total en centímetros (cm),
3. Factor de condición corporal de "Fulton" ($K = 100 * \text{Peso (gr)} / L.\text{total (cm)}^3$),
4. Ganancia de Peso Diaria = $[(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{días de cultivo}]$,
5. Ganancia de peso en engorda = $(\text{Peso final} - \text{Peso inicial de etapa engorda})$,
6. Factor de conversión alimenticia = $(\text{Alimento suministrado} / \text{peso ganado})$,
7. Tasa específica de crecimiento = $[(\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})) / \text{días}] * 100$
8. Tasa de supervivencia = $(\text{Animales cosechados} * 100 / \text{animales sembrados})$.

5.5 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se desarrollaron con el paquete estadístico JMP (Versión 6.0). Con los datos obtenidos se realizó la estadística descriptiva a cada una de las variables, se aplicó un análisis de varianza con los datos de cada población y las comparaciones de las medias mediante el método de Tukey-Kramer.

5.5 Resultados

En términos generales, los resultados de los análisis indican un mejor crecimiento y desempeño productivo en los organismos de la población Veracruz, seguido de Morelos y Colima (tabla 1). Por otra parte, el porcentaje de supervivencia fue de 82, 85.2 y 94.4 % respectivamente. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los organismos de las tres poblaciones en todas las variables, excepto en el factor de conversión alimenticia, el cual presentó valores muy ajustados para los tres grupos.

Tabla 1. Valores iniciales y finales de los parámetros productivos evaluados en tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling durante 131 días de cultivo.

Parámetros productivos	Población		
	Veracruz	Morelos	Colima
Valores iniciales	PR ± EE	PR ± EE	PR ± EE
Peso corporal (gr)	0.72 ± 0.05 ^{ab}	0.84 ± 0.12 ^a	0.53 ± 0.04 ^b
Longitud Total (cm)	3.32 ± 0.04 ^a	3.41 ± 0.14 ^a	2.86 ± 0.07 ^b
Factor de condición inicial	1.96 ± 0.16 ^b	1.85 ± 0.04 ^c	2.22 ± 0.06 ^a
Valores finales	PR ± EE	PR ± EE	PR ± EE
Peso corporal final (gr)	97.87 ± 1.64 ^a	83.41 ± 1.61 ^b	66.39 ± 1.24 ^c
Peso ganado engorda (gr)	76.13 ± 1.64 ^a	64.92 ± 1.61 ^b	66.39 ± 1.24 ^c
Longitud total (cm)	16.54 ± 0.10 ^a	15.75 ± 0.10 ^b	14.64 ± 0.07 ^c
Tasa específica de crecimiento (%)	3.42 ± 0.01 ^a	3.30 ± 0.01 ^b	3.12 ± 0.01 ^c
Factor de conversión alimenticia	1.98 ± 0.06 ^a	2.13 ± 0.06 ^a	2.16 ± 0.04 ^a
Factor de condición final	2.04 ± 0.01 ^a	2.01 ± 1.01 ^{ab}	1.97 ± 0.01 ^b
Ganancia de peso diaria (gr)	0.74 ± 0.01 ^a	0.63 ± 0.01 ^b	0.50 ± 0.09 ^c
Tasa de supervivencia	82.0	85.2	94.9

PR= promedio y EE= error estándar.

*Valores que no están conectados por la misma letra presentan diferencias significativas ($p > 0.05$).

El histograma de frecuencias (fig. 3) indica una distribución de peso más homogénea en las poblaciones de Veracruz y Morelos, estas poblaciones obtuvieron un Coeficiente de Variación (CV) de 39.6 y 41.4 % respectivamente; por su parte Colima alcanzó un valor de 43.5 %. Los pesos mínimos obtenidos en los organismos de cada población fueron de 9.5, 18.1 y 13.0 gr, mientras que los máximos alcanzados fueron de 157.6, 197.0 y 182.2 para Colima, Veracruz y Morelos respectivamente.

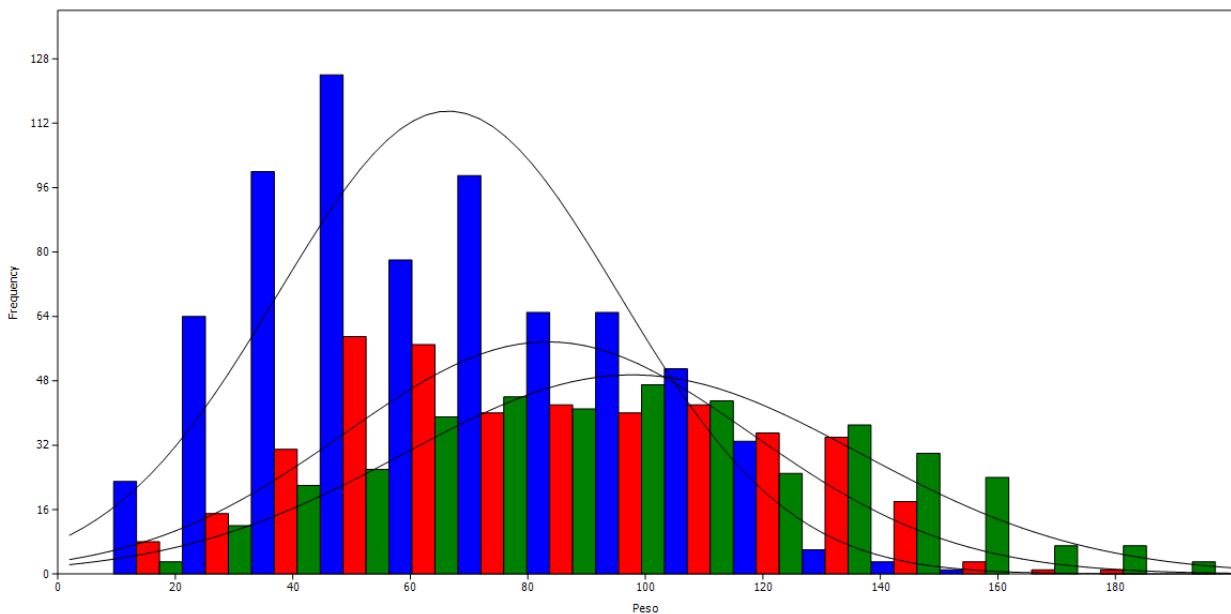


Figura 3. Histograma de frecuencias de peso para tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling cultivados durante 131 días. Azul= población Colima, Rojo= población Veracruz, Verde= población Morelos

Los datos de las biometrías expresan una ganancia en peso mayor para Morelos durante los primeros 3 meses, sin embargo, a partir de la cuarta biometría Veracruz se colocó por delante para continuar así hasta el final del experimento (figura 4).

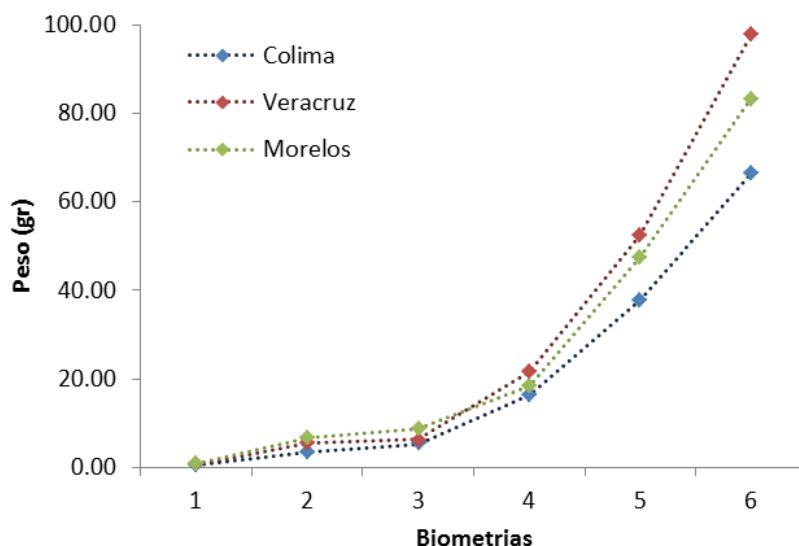


Figura 4. Curva de crecimiento (peso) durante un periodo de cultivo de 131 días en tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* de la línea Stirling.

Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto se mantuvieron dentro del intervalo óptimo durante todo el experimento (tabla 2) con máximas de 28 °C y 8 mg/L y mínimas de 24 °C y 4 mg/L respectivamente, lo cual se considera ideal para el cultivo de esta especie.

Tabla 2. Parámetros físicos del agua durante un periodo de 131 días. Temperatura y Oxígeno Disuelto.

Población	Temperatura	Oxígeno disuelto
	PR ± DE	PR ± DE
Colima	26.6 ± 2.6	7.9 ± 4.1
Veracruz	26.2 ± 2.6	8.1 ± 4.0
Morelos	26.6 ± 2.3	7.9 ± 3.6

PR=promedio, DE= desviación estándar

4.5 Discusiones

En este estudio no es prioridad comparar el desempeño de esta línea con otras de interés comercial, debido a que en trabajos anteriores (Garduño *et al.*, 2003 y Chacón, 2012) se ha demostrado que otras líneas que se cultivan actualmente en el país han mostrado un mejor desempeño con respecto a la Stirling, debido principalmente a que estas han sido sometidas a procesos de selección en su lugar de origen.

Conocer la calidad del material genético que integra una población es un paso fundamental antes de incluirla en un PMG. Se sabe que en la tilapia, como en muchas especies, el fenotipo está determinado por la interacción de dos factores principales, el genético y el ambiental (Eknath *et al.*, 1993; Macaranas *et al.*, 1997). Las tres poblaciones empleadas en este experimento comparten información genética, debido a que tienen un origen común, sin embargo, llegaron a México en diferentes tiempos y el acervo génico se modificó por el manejo que recibió cada población.

La población de Colima es la más antigua, el lote original llegó en 1996 y desde entonces pasó por un proceso de selección hacia el color “rosa”, esto pudo alterar su frecuencia alélica y por consiguiente su respuesta productiva. Mather *et al.*, (2001) indican que el color no afecta el crecimiento de los peces, no obstante, los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Muñoz y Garduño (1996) quienes describieron un bajo desempeño para esta variedad comparativamente con la variedad silvestre o gris de la misma línea. Tomando en cuenta lo anterior y el bajo desempeño que mostró esta población podríamos suponer que cuando se realizó la selección hacia el color en esta población, no se tomaron en cuenta características de crecimiento y/o desempeño, o bien, que las condiciones climáticas donde se llevó a cabo el experimento no son óptimas para el desarrollo integral de esta población.

La población Veracruz (importada en 2004) fue la que en términos de productividad obtuvo los mejores resultados; sus intervalos de crecimiento también fueron mayores alcanzando tallas desde 8.8 cm y 17 gr hasta 39.7 cm y 196 gr. Esto

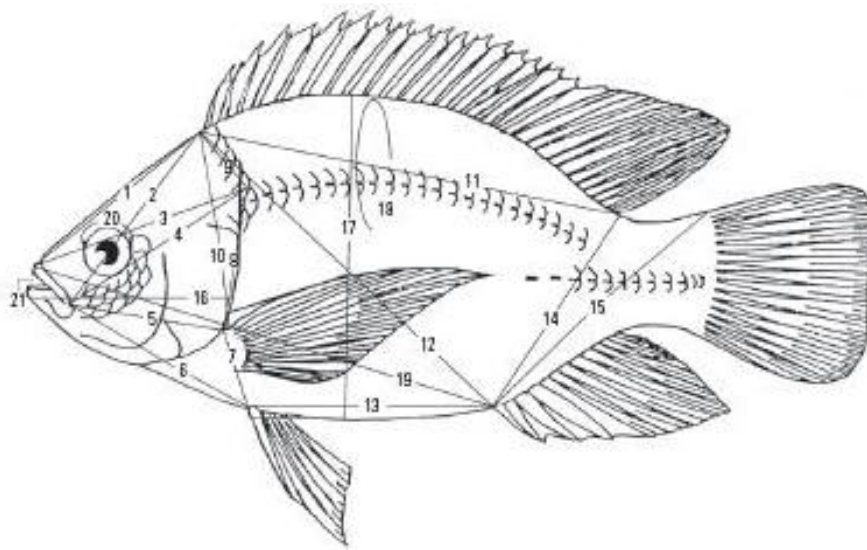
indica una mayor variación genética cuantitativa respecto a las variables de peso y talla, por otro lado, fue la población con menor supervivencia. El CV es utilizado para determinar la magnitud de la varianza en una población (Gjedrem, 1983), en este caso, Veracruz obtuvo un valor de 39.6 lo que indica una distribución más homogénea en sus organismos con respecto al peso. Un buen desempeño aunado a una mayor varianza, sugiere un buen manejo en el acervo génico de esta población

La población de Morelos fue la última importación que se hizo de la universidad de Stirling en el 2011 y los reproductores que se utilizaron en el experimento corresponden a una F1. El manejo que ha tenido esta población ha sido mínimo y se ve reflejado en la variación que presentó el grupo respecto al peso y talla de los organismos al momento de la cosecha. La respuesta en el desempeño fue intermedia entre Colima y Veracruz, lo que puede ser atribuido al poco tiempo que ha tenido esta población para adaptarse al territorio Mexicano o bien, a que el ambiente donde se desarrolló el experimento no favoreció la expresión fenotípica en este grupo de organismos. Lo anterior se puede constatar realizando el experimento en diferentes ambientes.

4.7 Conclusión

Con base en estos resultados, se concluye que las poblaciones de Veracruz y Morelos presentan un mejor rendimiento y desempeño productivo, por lo tanto se consideran adecuadas para formar parte de un PMG, no obstante, la población de Colima tiene características deseables en la especie como es, la coloración y la supervivencia. Se recomienda realizar cruces dialélicos entre las poblaciones así como pruebas en diferentes ambientes para determinar el efecto genético aditivo y no aditivo, la heredabilidad y la plasticidad fenotípica de cada población.

V. CAPITULO II



VARIACIONES MORFOMETRICAS DE TRES POBLACIONES DE TILAPIA *O. niloticus* LÍNEA STIRLING

5.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar variaciones en la morfología de tres poblaciones de tilapia (Colima, Veracruz y Morelos) *Oreochromis niloticus* de la línea Stirling cultivadas actualmente en México. Para identificar diferencias entre las poblaciones, se evaluaron 8 variables morfométricas: Longitud total (LTL), Longitud estándar (LET), Longitud de cabeza (LCB), Longitud de cola (LCL), Longitud de tronco (LTR), Altura (ALT), Ancho de tronco (ATR), Ancho de cabeza (ACB) y el peso de 300 organismos (100 machos de la misma edad por población). Los análisis de varianza de todas las variables (excepto ATR) indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las poblaciones. Respecto a los análisis multivariados, el Análisis de Componentes Principales (ACP) agrupa el 98% de la variación en tres componentes, los cuales están representados por CP1; LTL y LET, CP2; LCL y CP3 ALT. Con el Análisis de Función Discriminante (AFD) se pudo clasificar correctamente el 70% de los organismos mediante el uso de tres variables; LCB, LCL y ATR. Asimismo se realizó un análisis de regresión múltiple por población tomando el peso como variable de respuesta, esto con la finalidad de identificar las variables morfométricas que se verían modificadas indirectamente en un Programa de Mejoramiento Genético (PMG) con el peso como objetivo de selección. Se concluye que las tres poblaciones presentan diferencias en su fenotipo a pesar de tener un origen genético común. Utilizando estas poblaciones para un PMG enfocado a mejorar el peso se recomienda incluir la población de Veracruz debido a su estrecha relación con variables de interés comercial como son ATR, ALT y LTR.

Palabras clave: Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Variación morfológica, Stirling, análisis multivariados.

5.2 Abstract

In order to evaluate the phenotypic variation between three populations (Colima, Veracruz and Morelos) of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Stirling, the intra and inter populations differentiations were analyzed using biometric approach. Eight morphometric traits were evaluated; Body length (LTL), standard length (LET), head length (LCB), tail length (LCL), trunk length (LTR), doobby depth (ALT), body thickness (ATR) and head thickness (ACB) and weight of 300 organisms (100 males of the same age by population). The analysis of variance (ANDEVA) of all variables (except ATR) indicated significant differences ($p < 0.05$) between populations. The multivariate analysis (Principal component analysis, CPA) showed a low variability among populations. The morphometric pattern observed in these three populations reflects variation primarily along three axes. Together these components accounted 98% of observed variation. Discriminant Function Analysis (DFA) could correctly classify 70% of the organisms by using three variables; LCB, LCL and ATR. Multiple regression analysis was also performed taking the weight as a response variable, in order to identify the morphometric variables that would be indirectly modified in a Breeding Program (PMG) with weight as an objective of selection. We conclude that the three populations differ in their phenotype and recommended the use of Veracruz population due to its close relationship with variables of commercial interest as ATR, ALT and LTR.

Keywords: tilapia, *Oreochromis niloticus*, phenotypic variation, Stirling, Multivariate analysis.

5.3 Introducción

México es un país que cuenta con los recursos hídricos y geográficos para optimizar la producción por acuicultura de numerosas especies de interés comercial. Después del camarón, la tilapia (*Oreochromis niloticus*) es la segunda especie más cultivada. Su introducción se realizó en 1978 y desde entonces ha logrado adaptarse a un amplio intervalo de condiciones ambientales, debido a sus capacidades biológicas (Trewavas, 1983), ecológicas (Balirwa, 1998) y genéticas (Fuerst et al., 2000). Este proceso de adaptación evolutiva ha resultado en diferencias morfológicas y genéticas entre las diferentes líneas o variedades actualmente cultivadas en el país (Barriga-Sosa et al., 2002).

Las variaciones morfométricas son importantes para la adaptación evolutiva de las especies. Algunos rasgos cuantitativos (como el peso y la talla) varían continuamente debido al efecto de varios genes y a su interacción con el ambiente (Reed y Frankham, 2001).

El estudio de las variables morfométricas y merísticas es un método fácil y económico que ha sido aplicado en peces y que facilita la identificación taxonómica de especies, híbridos o poblaciones (Cheng et al., 2005; Buj et al., 2008; Torres et al., 2010). En tilapia se han aplicado este tipo de estudios para detectar diferencias fenotípicas de las distintas líneas, variedades y especies (Turana et al., 2006; El Seraty et al., 2007; Firmat et al., 2012). Así mismo, estimar las variaciones en los parámetros fenotípicos de las poblaciones ayuda a predecir la respuesta a la selección en un PMG (Ponzoni, 2005).

En la actualidad es difícil encontrar líneas puras de tilapia (Mc Andrew y Majumdar, 1983), no obstante, la Universidad de Stirling ha logrado mantener aislada por más de 40 años a una población de *O. niloticus*, de la cual se han realizado varias importaciones a diferentes estados de la República Mexicana. Para este estudio se seleccionaron y evaluaron tres poblaciones (Colima, Veracruz y Morelos) de tilapia de la línea Stirling. Estas poblaciones tienen un origen común, sin embargo, el tiempo y su adaptación ambiental ha sido distinto para cada una. El objetivo de este estudio fue determinar las variaciones fenotípicas que han sufrido las

poblaciones con el paso del tiempo y que pudieron haber sido influenciadas por el ambiente donde se desarrollaron. Para este fin se evaluaron ocho caracteres morfométricos, los cuales sirvieron también para identificar aquellas variables que tienen una relación más estrecha con el peso de cada población y que podrían ser modificadas indirectamente a través de un PMG enfocado en mejorar el peso.

5.4 Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en la Unidad de producción acuícola “Rincón del Bonete” S.P.R. de R.L ubicada en la localidad de El Ciruelo municipio de La Huacana, Michoacán.

5.4.1 Material biológico

Las tres poblaciones *O. niloticus* de la línea Stirling que fueron utilizadas en este estudio son procedentes del Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, Escocia y fueron importadas a México en diferentes años. Desde entonces, el manejo que se le dio a cada una fue distinto. La población de Colima llegó en 1996 a la granja acuícola Ocean y fue sometida a un proceso de selección al color rosa (blond). El 100% de los organismos adquiridos para este estudio y sus descendencias presentaron este fenotipo. La población de Veracruz proviene de un lote que llegó en 2004 y se repartió en tres granjas del estado. Agro Industrias Pargo obtuvo 3000 organismos color gris y desde entonces ha hecho uso de esta población para abastecer a los productores de la región. La población de Morelos es la importación más reciente que se ha hecho a México de esta línea; en 2011 un lote de peces de fenotipo gris y rosa se depositó en las instalaciones del Centro de Producción Acuícola de Zacatepec (CONAPESCA). La UMSNH adquirió 6000 crías F1 de una pulgada de ambos fenotipos (gris y rosa). Una vez adquiridas las tres poblaciones se transportaron y mantuvieron en el laboratorio de Biología Acuática de la UMSNH hasta su traslado (septiembre de 2013) a la unidad de producción acuícola “Rincón del Bonete”, lugar donde se llevó a cabo la reproducción y cultivo de las poblaciones.

Los peces utilizados para este estudio fueron obtenidos de la cruce separada entre 45 hembras y 15 machos de cada población (ver capítulo 1). Las crías fueron cultivadas en jaulas (Hapas) dentro de un estanque rustico durante 151 días. Durante este tiempo fueron alimentadas en forma decreciente a razón de un 10 a 3% de su biomasa con alimento balanceado Nutripec de Purina (México). El nivel de proteína varió del 53 al 35% dependiendo de la etapa de los organismos cultivados.

5.4.2 Medidas morfométricas

Para obtener los datos, se seleccionaron al azar 100 representantes de cada población. El peso y ocho medidas morfométricas se tomaron para cada uno de los organismos siguiendo el método de Trewavas (1983). Las variables evaluadas fueron: 1. Longitud total (LTT), 2) Longitud estándar (LET), 3) Longitud de cabeza (LCB), 4) Longitud de cola (LCL), 5) Longitud del tronco (LTC), 6) Altura (ALT), 7) Ancho de tronco (ATC) y 8) Ancho de cabeza (ACB) (Fig. 1). El ancho de tronco y cabeza fueron medidas con un vernier de precisión graduado en mm (marca Storm), el resto de las variables se tomaron con un ictiómetro graduado en mm. El peso se obtuvo con una balanza (Scout-pro, Ohaus, 0.1 gr de precisión). Para la toma de datos, los peces fueron anestesiados sumergiéndolos hasta la pérdida de equilibrio en una solución de benzocaína en agua al 0.1%.

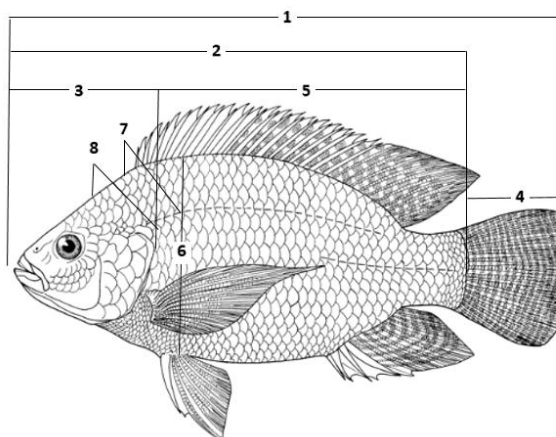


Figura 1. Medidas morfométricas (cm) tomadas en tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling; 1.Longitud total (LTT), 2.Longitud estándar (LET), 3.Longitud de cabeza (LCB), 4.Longitud de cola (LCL), 5.Longitud del tronco (LTC), 6.Altura (ALT), 7.Ancho de tronco (ATC) y 8.Ancho de cabeza (ACB).

5.5 Análisis estadísticos

Los datos de las tres poblaciones fueron analizados con el paquete estadístico JMP (versión 6.0). Las ocho variables morfométricas fueron sometidas a análisis de varianza de una vía (ANDEVA), con las comparaciones a posteriori mediante el método Tukey-Kramer. Se realizaron análisis multivariados con las ocho variables morfométricas (Análisis de componentes principales (ACP) y análisis de función discriminante (AFD). El ACP se llevó a cabo en una matriz de covarianza. Por último se aplicó un análisis de regresión múltiple por población mediante el método de “backward” con el peso como variable de respuesta.

5.6 Resultados

Los análisis univariados de cada una de las variables se muestran en la tabla 1. Todas las variables, a excepción del ATR muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las poblaciones.

Tabla 1. ANDEVA. Media \pm Error Estándar del peso y medidas corporales en tres poblaciones de tilapia.

	Población		
	Colima	Veracruz	Morelos
Variables morfométricas	PR \pm EE	PR \pm EE	PR \pm EE
Longitud total (LTL)	18.36 \pm 0.14 ^c	19.80 \pm 0.16 ^a	19.01 \pm 0.19 ^b
Longitud estándar (LET)	14.62 \pm 0.13 ^b	15.62 \pm 0.16 ^a	14.84 \pm 0.15 ^b
Longitud de cabeza (LCB)	4.74 \pm 0.03 ^c	5.26 \pm 0.05 ^a	4.90 \pm 0.04 ^b
Longitud de cola (LCL)	3.74 \pm 0.03 ^b	4.17 \pm 0.69 ^a	4.16 \pm 0.53 ^a
Longitud de tronco (LTR)	9.89 \pm 0.08 ^b	10.35 \pm 0.09 ^a	9.94 \pm 0.11 ^b
Ancho cabeza (ACB)	2.65 \pm 0.02 ^c	2.94 \pm 0.02 ^a	2.75 \pm 0.02 ^b
Ancho tronco (ATR)	2.76 \pm 0.02 ^a	2.78 \pm 0.02 ^a	2.69 \pm 0.04 ^a
Altura (ALT)	5.92 \pm 0.06 ^b	6.53 \pm 0.07 ^a	6.11 \pm 0.08 ^b
Peso	113 \pm 2.97 ^c	116 \pm 3.92 ^a	134 \pm 4.22 ^b

*Poblaciones que no comparten la misma letra muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

En el ACP, los primeros tres ejes aportaron el 98.4% de la varianza observada dentro del grupo (Tabla 2). El CP1 se conformó positivamente por LTL (0.67) y LET (0.52). Este componente aportó el mayor porcentaje de la varianza ($\lambda = 6.90$). El CP2 se relacionó positivamente con LCL (0.71) y el CP3 estuvo conformado por ALT (0.77) principalmente. Los tres componentes obtuvieron un porcentaje acumulado de 98.4%.

Tabla 2 Componentes principales; valor propio, % de variación y % de variación acumulada en tres poblaciones de *O. niloticus* línea Stirling (n=300).

	C1	C2	C3
Valor propio	6.90	0.41	0.12
Porcentaje (%)	91.28	5.48	1.61
Porcentaje acumulado	91.28	96.7	98.3

La distribución de los organismos de las tres poblaciones mediante el uso del componente 1 en el eje “x” y el componente 2 en el eje “y” refleja que la mayor parte de la variación se encuentra dentro de las poblaciones (Figura 2).

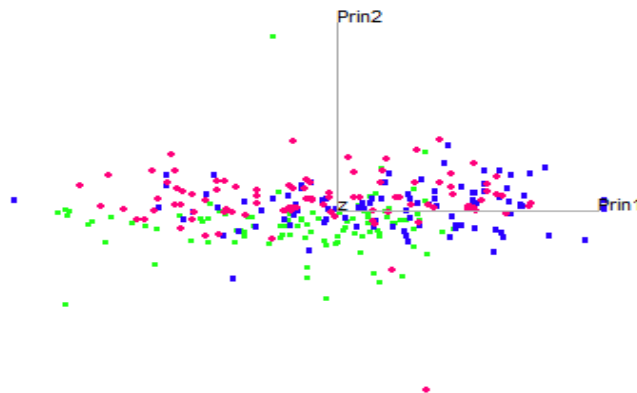


Figura 2. Distribución de organismos de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* (Rosa= Morelos, Azul= Veracruz y Verde= Colima). Eje “x” componente principal 1 y eje “y” componente principal 2

El AFD por etapas “stepwise” evidencio que LCB, LCL y ATR fueron las variables de mayor peso en la separación de las poblaciones. El análisis de las tres variables morfométricas se describe en dos funciones discriminantes significativas. La primera función aporta 79.4% de la varianza y la segunda 20.5% (Tabla 3). La correcta clasificación de los organismos fue del 65, 67 y 78% para Morelos, Veracruz y Colima respectivamente (tabla 4).

Tabla 3. Análisis de función discriminante. Coeficientes de función discriminante por etapas “step-wise” para rasgos morfométricos LCB =Longitud de cabeza, LCL = Longitud de cola y ATR = Ancho de tronco en tres poblaciones de *O. niloticus* línea Stirling (n=300).

	F1	F2
LCB	3.09	-1.55
LCL	-0.06	2.06
ATR	-2.49	-1.20
Valor propio	0.41	0.10
Porcentaje (%)	79.54	20.55
Porcentaje acumulado	79.45	100

Tabla 4 Clasificación mediante Análisis de función discriminante de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* línea Stirling, utilizando tres variables LCB =Longitud de cabeza, LCL = Longitud de cola y ATR = Ancho de tronco.

	Colima	Morelos	Veracruz
Colima	78	13	9
Veracruz	14	65	21
Morelos	10	23	67

La clasificación de los organismos de las tres poblaciones, utilizando tres variables (LCB, LTR y ATR) se puede apreciar en la figura 3.

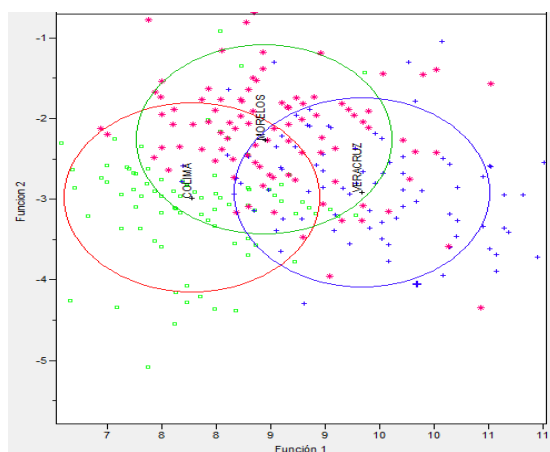


Figura 3. Clasificación de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* Stirling mediante análisis de función discriminante con el uso de tres variables morfométricas (LCB, LTR y ATR).

En el análisis de regresión múltiple mediante el método de backward, la variable de respuesta fue el peso y los resultados de los análisis se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Análisis de regresión múltiple mediante método de “backward” utilizando peso como variable de respuesta de tres poblaciones de tilapia *O. niloticus* línea Stirling.

	Población		
	Colima	Veracruz	Morelos
R²	0.69	0.86	0.95
	LET (< 0.0001)	ATR (<0.001)	LET (<0.0001)
	ALT (0.035)	ALT (<0.001)	ACB (<0.0001)
		LTR (0.0019)	ALT (0.0031)

5.7 Discusión

Las diferentes líneas de tilapia que se cultivan a nivel mundial, presentan variaciones fenotípicas, las cuales, se puede atribuir principalmente a factores ambientales y genéticos (Turana *et al.*, 2006 y El Serafy *et al.*, 2007). Actualmente, los métodos de análisis morfométricos y merísticos, son los más utilizados para la identificación de líneas o poblaciones (Creech, 1992 y Hackaday, 2000).

En este estudio, la estadística multivariada se utilizó para entender las diferencias y relaciones morfométricas entre poblaciones. El análisis de componentes principales agrupó 98.4% de la varianza en tres componentes, los cuales se conformaron positivamente por LTL, LET, LCL y ALT. En el gráfico de los componentes no se observó separación de los grupos, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad se encuentra dentro de las poblaciones.

El análisis discriminante determina que caracteres contribuyen significativamente a la discriminación de las poblaciones. En nuestro estudio se identificaron tres variables como las de mayor influencia (ATR, LCL y ALT). Mediante el uso de estas variables se logró clasificar correctamente al 78, 65 y 67 % de las poblaciones de Colima, Veracruz y Morelos respectivamente. El resultado obtenido en este estudio, sugiere una ligera variación morfológica entre los organismos de las tres poblaciones. Estudios anteriores (Hassanien *et al.*, 2011 y Samaradivakara *et al.*, 2012) han demostrado que organismos de la misma especie, pero de diferentes líneas pueden ser clasificados hasta en un 100% correctamente, con base en sus características morfológicas. No obstante, en estos estudios los grupos no tienen un origen común, además de que las muestras fueron tomadas a organismos de diferentes sitios de cultivo. En el presente trabajo, las tres poblaciones comparten material genético ya que son organismos de la misma especie y línea, además de que se desarrollaron bajo las mismas condiciones durante el experimento. Esto supondría una disminución en la posibilidad de encontrar diferencias en su fenotipo. A pesar de esto, los resultados obtenidos mostraron que las poblaciones de los

progenitores se encontraban en un proceso de divergencia adaptativa a su lugar de origen.

Estudios realizados en *O. niloticus* reflejan que el peso es un rasgo con moderada (Ponzoni *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2011) o alta heredabilidad (Rutten *et al.*, 2005; dos Santos, 2009) lo que justifica la mejora selectiva por peso en esta especie.

En el caso de la tilapia se ha sugerido que el peso y la longitud son los caracteres más importantes para ser considerados dentro de un PMG (Elnady *et al.*, 2000). Otras investigaciones sugieren que los parámetros ancho del tronco y longitud pueden ser utilizados también como criterios para la selección del rendimiento y peso del filete (Rutten *et al.*, 2005). De igual forma las relaciones entre el alto y el ancho del cuerpo son características que reflejan la relación del porcentaje en peso del filete con respecto al peso total del organismo y se concluye que el aumento de estas relaciones contribuye al formato de un cuerpo más robusto (Rutten *et al.*, 2004). Por otro lado, las medidas de cabeza y alto del cuerpo han sido citadas como los caracteres de mayor importancia en la discriminación de poblaciones de peces (Leslie y Grant, 1990; Haddor y Willis, 1995) Siguiendo estas recomendaciones y con base en los resultados obtenidos, la población de tilapia procedente de Veracruz es la que aportaría caracteres de importancia comercial al incluirse en un PMG enfocado en el peso. Lo anterior se fundamenta en que fenóticamente estaríamos favoreciendo rasgos de importancia como la altura, el ancho y la longitud del tronco.

5.8 Conclusión

En conclusión, este estudio indica que el tiempo, el ambiente y el manejo que tuvo cada población desde su llegada a México han generado cambios en la expresión fenotípica de los organismos. La combinación de material genético entre líneas o especies también puede contribuir a dichas variaciones. Como respuesta a diversos factores entre los que podemos encontrar; una adaptación evolutiva de los organismos, la combinación de material genético de otras líneas o especies así como a No obstante, se recomienda realizar estudios que involucren aspectos genéticos de estas poblaciones para determinar que tanto influyen en las variaciones morfométricas observadas. La población de Veracruz presenta mejores rasgos morfométricos, lo que aunado a su buen desempeño productivo sugieren que sea parte del “pool” genético que de origen a un PMG en el estado de Michoacán, sin embargo

VI.DISCUSION GENERAL

La población de Veracruz demostró ser en todos los aspectos la más adecuada para su cultivo en la región de Michoacán. Su desempeño productivo fue superior a las poblaciones de Morelos y Colima y su CV respecto al peso indica homogeneidad en la distribución de los organismos de esta población. Así mismo su intervalo de crecimiento fue mayor, lo que podría estar relacionado con un buen nivel de variabilidad genética. La población de Morelos tiene poco tiempo en México, de manera que su periodo de adaptación fue menor y esto pudo influir en su bajo desempeño. No obstante, su C.V y amplio rango de crecimiento sugieren que su respuesta productiva puede modificarse mediante selección. La población de Colima fue la que en términos de producción obtuvo el nivel más bajo y su CV fue más heterogéneo agrupando la mayor parte de los organismos alrededor de los 50 gr, por otro lado fue la población que obtuvo mayor porcentaje de supervivencia y su fenotipo “rosa” es una característica que favorece su aceptación en el mercado. Las variaciones morfológicas en los tres grupos, demuestran cambios adaptativos a su lugar de origen. Para constatar la pureza de las poblaciones desde su llegada a México se contactó con personal encargado de las granjas de donde fue adquirido el material biológico. Las poblaciones de Morelos y Colima aseguraron un manejo eficaz donde no hubo flujo genético que pudiera haber alterado el acervo génico de sus organismos, no fue igual para la población de Veracruz, donde el encargado de Agro Industrias Pargo Ing. Rubén P, comento que hubo flujo genético entre *O. niloticus* y otras especies, por tal motivo, es necesario realizar pruebas moleculares para determinar la pureza de la población.

Como se ha señalado anteriormente (McAndrew y Majumdar, 1983), es actualmente un reto encontrar poblaciones puras, aun en países de donde son originarias estas especies, De manera que si se pretende diseñar un PMG con *O. niloticus* exclusivamente es indispensable la intervención de herramientas moleculares. La introducción de genes de otra especie, también pudo alterar las

variaciones morfológicas en los organismos de Veracruz, lo cual facilitó su identificación morfológica en los análisis realizados.

En estudios posteriores sería de utilidad estudiar la relación corporal con determinados ambientes, de manera que pudiéramos identificar los cambios provocados por factores ambientales. De igual manera, estos estudios se podrían complementar con análisis de ADN para identificar los cambios en el genotipo de las poblaciones. Así mismo, análisis de morfometría geométrica podrían identificar con mayor precisión los cambios en la forma de las poblaciones.

VI. ANEXOS



Anexo 1. Inserción de chip (PIT) reproductores



Anexo 2. Jaulas de reproducción



Anexo 3. Jaulas de reversión



Anexo 4. Jaulas de pre-engorda



Anexo 5. Jaulas de pre-engorda



Anexo 6. Instrumentos de medición

VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta B.O. y Williams M.J. 2001. **Tilapia: Production, Marketing and Technological Development.** The role of an international research organization in tilapia aquaculture. 49-64.
- Acosta B.O y Gupta V. M. 2010. **The Genetic Improvement of Famed Tilapias Project: Impact and Lessons Learned.** Succes Stories in Asian Aquaculture, Springer Science and Bussines Media B.V. 5(1):11-13.
- Asiain A.A. 1975. **Aprovechamiento del Vaso de la Presa Presidente Aleman con Fines de Desarrollo de la Acuicultura.** Boletín informativo. Comisión del Papaloapan. Enero- Febrero. 2: 7.
- Arredondo F.J.L y Lozano G.S.D. 2003. **La acuicultura en México.** Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. 87: 23-45.
- Bentsen B. H, Eknath E. A, Palada de Vera S. M, Danting C. J, Bolivar L. H, Reyes A. R, Dionisio E. E, Lngalong M. F, Circa A.V, Tayamen M. M, Gjerde B. 1997. **Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of Oreochromis niloticus).** Aquaculture 160: 145-173.
- Bentsen H.B, Eknath A.E, Palada de Vera M.S, Danting J.C, Bolivar H.L, Reyes R.A, Dionisio E.E, Longalong F.L, Circa A.V, Tayamen M.M. y Gjerde B. 1998. **Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of Oreochromis niloticus.** Aquaculture 160(1-2):145-173.
- Buj I, Podnar M, Mrakovcic M, Caleta M, Mustafic P, Zanella D. y Marcic Z. 2008. **Morphological and genetic diversity of Sabanejewia balcanica in Croatia.** Folia Zool. 57(1-2):100-10.
- Campos N.M, Muñoz S.P, Sanchez Velazco L, Capurro F.L y Llánes C.O. 2012. **Acuicultura: Estado actual y retos de la investigación en México.** Aquatic. 37: 20-25.
- Castillo C.L.F. 2008. **Tilapia Roja. Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito doce años después.** Cali. 2006. Accesada de: <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIAROJA2006.pdf>
- Chacon G. I. 2012. **Desempeño productivo de tres variedades de tilapia (Oreochromis niloticus).** Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

-
- Cheng Q, Lu D, y Ma L. 2005. **Morphological differences between close populations discernible by multivariate analysis: A case study of genus *Coilia* (Teleostei: Clupeiforms).** *Aquat. Living Resour.* 18(2):187-92.
- Eknath A.E, Bentsen H.B, Ponzoni, R.W, Rye M, Nguyen N.H, Thodesen J y Gjedre B. 2007. **Genetic improvement of farmed tilapias: composition and genetic parameters of a syntetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding.** *Aquaculture* 273: 1–14.
- Eknath A.E, Tayamen M.M, Palada-de Vera M.S, Danting J.C, Reyes R.A, Dionisio E.E, Capili J.B, Bolivar H.L, Abella T.A, Circa A.V, Bentsen H.B, Gjerde B, Gjedrem T. y Pullin R.S.V. 1993. **Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments.** *Aquaculture* 111: 171-188.
- El Serafy S.S, Abdel-Hamide N.A.H, Awward H.M, y Azab M.S. 2007. **DNA rib printing analysis of *Tilapia* species and their hybrids using restriction fragment length polymorphisms of the small subunit ribosomal DNA.** *Aqua. Res.* 38: 295-303.
- Elnady M. A, Obeida A. M, y Hassanien H. A. 2000. **Estimates of heritabilities of some morphometric and blood traits in juvenile Nile tilapia from half-sib matings.** *Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo.* 51(3): 283-29.
- FAO 2012. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.** Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma.
- Fitzhugh Jr. 1976. **Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes.** *Journal of Animal Science.* 42: 1036-1051.
- Fitzimmons K, Martinez G. R, Gonzalez A. P. 2000. **Why tilapia is becoming the most important food fish on the planet.** Accesado de <http://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA9/PDF's/FitzsimmonsKeynotePPT.pdf>
- Fitzimmons K. 2010. **Potential to increase global tilapia production. Global outlook for aquaculture leadership.** Kuala Lumpur 2010. Accesado de: <http://www.gaalliance.org/update/GOAL10/Fitzsimmons.pdf>
- Fitzimmons K. 2013. **Latest trends in tilapia production and market worldwide.** Rio de Janeiro, Brasil. 16 de septiembre de 2013. Accesado de: http://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/conferencias_eventos/documentos/919/Ocultos/1.1_Latest%20trends%20in%20tilapia%20producti on%20and%20market%20worldwide%20-%20%20Kevin%20Fitzsimmons.pdf

-
- Fitzsimmons K. 2000. **Tilapia aquaculture in Mexico**. Tilapia aquaculture in the Americas. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 2: 171–183.
- Froese R. y Pauly D. 2004. **Fish Base**. Publicación electrónica: www.fishbase.org.
- Garduño L. M. y Muñoz C. G. 1998. **Comparación de parámetros reproductivos, de crecimiento, fenotípicos y económicos de tilapia roja**. Tlapacoyan, Veracruz, Sistema de investigación del Golfo de México. 4.
- Gjedrem T. 2012. **Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture, a personal opinion review**. Aquaculture 344-349: 12-22.
- Hall S.J.G. 2004. **Livestock Biodiversity: Genetic Resources for the Farming of the Future**. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK, 269.
- Kuo C.M. y Neal R.A. 1982. **ICLARM's tilapia research**. ICLARM Newsletter.
- Macaranas J.M, Mather P.B, Lal S.N, Vereivalu T, Lagibalavu M y Capra M.F. 1997. **Genotype and environment, a comparative evaluation of four tilapia stocks in Fiji**. Aquaculture 150: 11-24.
- Martinez P. G. 2013. **La producción nacional Mexicana, su potencial, sus problemas y soluciones**. Conferencia Mundial de Tilapia, Brasil, Septiembre 2013. Accesada de: http://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/conferencias_eventos/documentos/919/Ocultos//2.7_M%C3%A9xico,%20La%20Producci%C3%B3n%20Nacional,%20su%20Potencial,%20sus%20Problemas%20y%20sus%20Soluciones%20-%20Gerardo%20Mart%C3%ADnez%20Palm.pdf
- McAndrew B. J, Majumdar K. C, 1983. **Tilapia stock identification using electrophoretic markers**. Aquaculture. 30: 249 -261.
- Mojica S.F.J, Vivanco, A.M, Martínez C.F.J y Trujillo C.R. 2010. **Tilapia 2020: perspectiva del sistema producto nacional de tilapia**. CIAD, Universidad Externado de Colombia, diciembre, 30-47.
- Muñoz C.G. y Garduño L.M. 1996. **Evaluación del crecimiento de cuatro fenotipos de tilapia mojarra Oreochromis niloticus**. Oceanologia 2 (10): 143-152.
- Ponzoni R.W, Hamzah A, Saadiah T y 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.
- Ponzoni W. R, James W. J, Nguyen N. H, Mekawy W y Khaw H.L. 2013. **Strains comparison in aquaculture species: a manual**. Research program on livestock and Fish. CGIAR.

-
- Ponzoni W. R, James W. J, Nguyen N. H, Mekki W y Khaw H.L. 2013. **Strains comparison in aquaculture species: a manual**. Research program on livestock and Fish. CGIAR.
- Pullin R.S.V. 1980. **Philippine tilapia broodstock project**. ICLARM Newsletter. 3(1):8-9.
- Pullin R.S.V. 1985. **Tilapia: 'everyman's fish'**. Biologist 32:84-8.
- Pullin, R.S.V. 1980. Tilapia genetic resources for aquaculture. Iclarm Conference Proceedings 16, International Centre for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Filipinas.
- Rutten M. J, Bovenhuis H, Komen H. 2004. **Modeling fillet traits based on body measurements in three tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.)**. Aquaculture, Amsterdam. 231 (1/4): 113-122.
- Rutten M. J, Bovenhuis H, Komen H. 2005. **Genetic parameters for fillet traits and body measurements in tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*L.)**. Aquaculture, Amsterdam. 246 (1/4): 125-132.
- Saavedra M.M.A. 2006. **Manejo de cultivo de tilapia** (Manual). USAID, CIDEA. Managua, Nicaragua. 31 de julio al 4 de agosto.
- SAGARPA 2011. **Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (Mojarra)**
- Samaradivakara N.Y, Hirimuthudoga R.H, Gunawardana N.H, Illeperuma N.D, Fernandopulle N.D, De Silva A.D y Alexander P.A.B.D. 2012. **Morphological Variation of Four Tilapia Populations in Selected Reservoirs in Sri Lanka**. Tropical Agricultural Research. 23: 105-116.
- Santos V. B. 2006. **Evaluation of morphometric growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains**. Accesado de <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v31n5/32.pdf>.
- Smith I.R, Torres E.B. y Tan E.O. 1985. **Philippine tilapia economics**. Proceedings of a PCARRD-ICLARM workshop. ICLARM Conference.
- Torres R. G. A, Gonzalez P. S. y Pena S. E. 2010. **Anatomical, histological and ultrastructural description of the gills and liver of the Tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. Int. J. Morphol. 28(3):703-12.
- Trewavas E. 1983. **Tilapine fishes of the genera *Serotherodon*, *Creochromis* and *Danakilia*, Trust**. Brit. 40.
- Turana C, Oral M, Ozturk B y Duzgunes E. 2006. **Morphometric and meristic variation between stocks of Bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the Black**.

Vreven J. E, Ade'po-Gourene B, Agnese J. F, Teugels G. G, 1998: **Morphometric and allozyme variation in natural populations and cultured strains of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Teleostei, Cichlidae)**. Belg. J. Zool. 128: 23–33.

WorldFish Center. 2004. **GIFT Technology Manual: An aid to Tilapia selective breeding**. Penang, Malaysia. 56.

Wurmann F. C. 2013. **El futuro previsible de la acuicultura mundial y en México: Posibilidades y consideraciones estratégicas**. Tercer foro económico de pesca y acuicultura, noviembre 2013.