



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y HETEROSIS
RETENIDA DE UNA POBLACIÓN SINTÉTICA DE
TILAPIA ($\frac{1}{4}$ rocky mountain, $\frac{1}{4}$ *Oreochromis niloticus* y
 $\frac{1}{2}$ tilapia roja de Florida) DURANTE LA ETAPA DE
ENGORDA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A :

MANUEL RIEGO RUIZ

ASESORES: DR. MARIO GARDUÑO LUGO

MPA GERMAN MUÑOZ CORDOVA



MÉXICO, D.F.

2005

0350527



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres, Manuel y Raquel, por haberme apoyado en todos mis proyectos durante toda mi vida, por su comprensión y cariño.

A mis hermanas, Lina y Sandra, por los momentos vividos y los que faltan, por ser fuente de inspiración para mí.

A Lucía, por ser lo mejor de mi vida, mi apoyo, motivación y estar a mi lado en todo momento.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo reseccional.

NOMBRE: Manuel Riego Ruiz

FECHA: 30-nov-2005

FIRMA: 

Agradecimientos

A mi asesor, el Dr. Mario Garduño Lugo, gracias por su apoyo, paciencia y dedicación que tuvo conmigo. Siempre será un ejemplo de vida, perseverancia y esfuerzo para mí. ¡Gracias Doc!.

Al MPA Germán Muñoz Córdova, por las enseñanzas y consejos que tuviste a bien darme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Sistema de Investigación del Golfo de México (SIGOLFO), por el apoyo económico brindado durante la primera mitad de este trabajo de investigación a través del proyecto 00-01-005-V, Comportamiento productivo y heterosis retenida en una línea sintética de tilapia.

Al MPA Héctor Basurto, al MC Hugo Pérez y al MPA Bernardo Marín, gracias por las enseñanzas y momentos que vivimos en el CEIEGT, pero sobre todo gracias por la amistad que me brindaron.

A la familia Jiménez Martínez: gracias por todo el apoyo y cariño que me han brindado Don Arturo, Lucy y Chuchito. También un agradecimiento a las Martínez: Doña Carmelita, Magos, Mela, Tere, Carmen y Huguito, por la amabilidad y cariño que han tenido conmigo. Muchas Gracias.

A mi hermano Alberto, por tu amistad y por estar conmigo en las buenas y en las malas y motivarme a seguir adelante. ¡¡Muchas gracias compa!!.

A mis amigos de la Facultad: Oscar, Alan, Iván, Mónica, Rafa, Alex, Armando, Cinthya, Norma, Christian, Gerardo, Cnidia, Erick, Pedro, Didi, Juan, Alma, Yovanka, Lilián, Nancy, Bernardo, Ilse, Alejandra, Adriana, Lucha, Paulina, Juanito García, Choche, Vic, a mis hijas: Brenda, Samantha y Steph. Muchachos (as), no tengo palabras para demostrar mi cariño y agradecimiento hacia ustedes. Por todo, ¡muchas gracias!.

A la banda del CEIEGT: Don Charly (Carlitos), Oscarín, Julio, Popochas, Hilario, Doña Filo, Doña Glo, Don Sergio y Don Abel, Don Memo, Don Cristóbal, Marcelo, Enrique, Doña Vicky y Camilo, Doña Lola, Cirilo, Héctor y Pablo e Inocencio, gracias a ustedes por hacer mi estancia en el Clarín más amena y llevadera y por que siempre tuvieron una sonrisa, un consejo, una anécdota para mí.

A los cuates de la segunda parte de la tesis: Abraham, Eloisa, Ana, Armando, Pedro, Ángeles, Elvia, Maricruz, Jorge (pariente), Rafa, Alfredo, Barut y Víctor: gracias muchachos por su amistad y por las aventuras que pasamos.

Al semestre 2004-1: Lucía, Gaby, Itzel, Jazmin, Samantha, Norma, Carmen, Elizabeth, Annabel, Deyanira, Adriana, Sergio, Axel, Uzziel, Charles, Gerardo y a mis hijos: Luis, Lobo (Luis A.), Chucho y Héctor, por hacer esta segunda parte de la tesis una gran experiencia para mí y permitirme compartir muchos buenos momentos con ustedes.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1.0 INTRODUCCIÓN	2
2.0 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Hibridación.....	4
2.1.1 Cruzamientos simples.....	4
2.1.2 Cruzamientos compuestos.....	6
2.1.3 Poblaciones sintéticas y heterosis retenida.....	7
3.0 HIPÓTESIS	9
4.0 OBJETIVOS	9
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
5.0 MATERIAL Y MÉTODOS	10
5.1 Localización geográfica.....	10
5.2 Grupos genéticos utilizados en el estudio.....	10
5.3 Instalaciones para la engorda de los peces.....	12
5.4 Alimentación de los peces.....	14
5.5 Calidad del agua.....	14
5.6 Sacrificio y remoción del filete de los peces.....	15
5.7 Determinación de los rasgos productivos.....	17

5.7.1	Sobrevivencia.....	17
5.7.2	Ganancia diaria de peso.....	17
5.7.3	Tasa específica de crecimiento.....	17
5.7.4	Porcentaje de peso ganado.....	18
5.7.5	Índice de conversión alimenticia.....	18
5.7.6	Rendimiento en filete.....	18
5.8	Diseño experimental y análisis estadístico de los rasgos productivos.....	19
5.9	Determinación de la heterosis retenida.....	20
6.0	RESULTADOS	21
6.1	Rasgos productivos.....	21
6.2	Heterosis retenida.....	27
6.3	Características fisicoquímicas del agua.....	27
7.0	DISCUSIÓN	31
8.0	CONCLUSIÓN	35
9.0	LITERATURA CITADA	36

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
1. Obtención de seis grupos genéticos de tilapia.....	11
2. Pesos y tallas iniciales promedio de los seis grupos genéticos.....	12
3. Análisis químico proximal del alimento suministrado a los peces.....	14
4. Medición de las características fisicoquímicas del agua.....	15
5. Resultados obtenidos para los rasgos productivos de seis grupos genéticos de tilapia.....	21
6. Valores porcentuales de heterosis retenida de dos poblaciones sintéticas de tilapia.....	27
7. Características fisicoquímicas del agua durante la etapa de engorda.....	28

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Mapa de localización del CEIEGT.....	10
2. Estanque de concreto utilizado para la engorda.....	13
3. Jaula flotante utilizada para la engorda.....	13
4. Técnica empleada para la remoción del filete de los peces de los seis grupos genéticos.....	16
5. Peso final de los seis grupos genéticos de tilapia.....	22
6. Crecimiento de los seis grupos genéticos de tilapia.....	23
7. Ganancia diaria de peso de los seis grupos genéticos de tilapia.....	24
8. Tasa específica de crecimiento de los seis grupos genéticos de tilapia.....	24
9. Porcentaje de peso ganado de los seis grupos genéticos de tilapia.....	25
10. Valores porcentuales de sobrevivencia de los seis grupos genéticos de tilapia.....	25
11. Conversión alimenticia promedio de los seis grupos genéticos de tilapia.....	26
12. Valores porcentuales de rendimiento en filete de los seis grupos genéticos de tilapia.....	26
13. Oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante la etapa de engorda.....	28
14. Temperatura del agua (°C) durante la etapa de engorda.....	29
15. pH del agua durante la etapa de engorda.....	30
Transparencia del agua (cm) durante la etapa de engorda.....	30

RIEGO RUIZ MANUEL. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y HETEROSIS RETENIDA DE UNA POBLACIÓN SINTÉTICA DE TILAPIA (1/4 rocky mountain, 1/4 *Oreochromis niloticus* y 1/2 tilapia roja de Florida) DURANTE LA ETAPA DE ENGORDA. (bajo la dirección de: Mario Garduño Lugo y Germán Muñoz Córdoba).

Se comparó, durante la fase de engorda, el comportamiento productivo de la primera generación de una población sintética de tilapia cuya composición genética fue: rocky mountain (25%), *O. niloticus* (25%) y tilapia roja de Florida (50%), en dos variedades de color: rojo (RNF 1) y perla (RNF 2), con respecto al grupo genético producto de la cruce terminal de la cual provienen: (rocky mountain x *O. niloticus*) ♂ x tilapia roja de Florida ♀ (RNxF); los grupos genéticos que dan origen a dicha cruce terminal: el híbrido F₁ rocky mountain ♂ x *O. niloticus* ♀ (RxN) y la especie tilapia roja de Florida (F). Adicionalmente se incorporó la especie *O. niloticus* (N). Los rasgos evaluados fueron: peso final (PF), índice de conversión alimenticia (ICA) y sobrevivencia (SOB). Los tratamientos fueron colocados por triplicado en un total de 18 jaulas flotantes ubicadas en un estanque de 100 m³. El periodo de evaluación fue de 139 días durante el cual se le proporcionó a los peces alimento comercial con 31.8% de proteína cruda. El peso inicial promedio de los peces varió entre 60.0 y 131.1 g. La supervivencia presentó un rango que va de 76.6% (RNF 2) a 91.1% (*O. niloticus*), sin encontrar diferencias estadísticas entre todos los grupos genéticos ($P > 0.05$). Todos los grupos presentaron un ICA entre 1.7 y 2.9, sin existir diferencia entre ellos ($P > 0.05$). No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el PF de los grupos híbridos: RNF 2 (300.1 g), RNF 1 (295.8 g), RxN (294.2 g) y RNxF (278.8 g). La especie tilapia roja de Florida (217.1 g) fue diferente ($P < 0.05$) a todos los grupos híbridos, pero similar a la especie *O. niloticus* (264.2 g) ($P > 0.05$). La heterosis retenida observada para PF fue de 103.4 y 100.7%, para el ICA de 94.4 y 122.2% y para la sobrevivencia de 100.1 y 85.2% para RNF 1 y RNF 2 respectivamente. Se concluye que la heterosis retenida en la población sintética roja (RNF 1), en la etapa de engorda, le permitió mantener un desempeño productivo similar al grupo híbrido del cual proviene, por lo que se proyecta como nueva línea de interés para el cultivo de tilapia.

1.0 INTRODUCCIÓN

La producción de peces en México ha crecido en los últimos quince años, pasando de 1,453,276 toneladas en 1985 a 1,520,938 toneladas en el 2001. Los grupos de peces que más han contribuido en ese crecimiento son la tilapia, trucha y bagre.¹ De estos tres, la tilapia es actualmente la opción que ofrece más posibilidades para la expansión de su cultivo, gracias a las siguientes ventajas que la caracterizan: se adapta a sistemas diferentes de cultivo, desde agua dulce a marina,^{2,3} presenta una buena conversión alimenticia,^{4,5,6,7} la calidad de su carne tiene una aceptación creciente por los consumidores,⁸ es de rápido crecimiento y es resistente a enfermedades y al manejo.^{4,5,9}

La primera introducción de la tilapia a México inició en 1964,⁴ y desde esa época a la fecha se han continuado las importaciones. Estos peces se han distribuido en las regiones cálidas del país, tanto para su explotación en cuerpos de agua naturales como para su cultivo en granjas tecnificadas.^{10,11,12} Actualmente, la producción anual de tilapia es de 68,476 toneladas, sin embargo, de ese volumen únicamente el 5% procede de sistemas de cultivo.¹

La incorporación de tilapias de colores diferentes al gris o tipo silvestre, principalmente rojos, ha contribuido de manera importante a aumentar los niveles de productividad de las granjas productoras debido a la coloración atractiva que presentan los peces de color rojo, lo cual les confiere una preferencia en el mercado así como un precio mayor.⁷

En cuanto al mejoramiento genético, además de la selección de variedades de color rojo de tilapia^{2,6,13,14} se han realizado estudios de comparación de crecimiento entre especies e híbridos de las principales tilapias como *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* y *O. mossambicus*.^{7,8,9,15} También se ha intentado con éxito la explotación de la genética de dominancia mediante cruzamientos interespecíficos,^{5,9,15,16,17} los cuales se han enfocado principalmente a la obtención de progenies con un alto porcentaje de machos, ya que estos tienen un crecimiento superior con respecto a las hembras.¹⁵

Otra herramienta de mejoramiento genético es la formación de razas o poblaciones sintéticas a partir del cruzamiento entre dos o más variedades de animales.¹⁸ Una población sintética puede ser una opción atractiva de producción, ya que generalmente poseen las

siguientes ventajas: 1. los nuevos individuos se pueden cruzar entre sí, por lo que un productor no requiere de mantener las especies que la originaron, 2. retienen parte de la heterosis, 3. hay un aumento en la variabilidad genética y 4. hay una complementariedad de caracteres de las especies que participaron en la formación de la población sintética.¹⁶

Así, la explotación de poblaciones sintéticas en granjas comerciales de tilapia, puede ofrecer la posibilidad de tener un mayor rendimiento por unidad de superficie, sin la necesidad de mantener mas grupos genéticos en la explotación.

2.0 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Hibridación

La hibridación es conocida como el cruzamiento realizado entre especies diferentes con el fin de mejorar características productivas en el nuevo individuo llamado híbrido. Existen diferentes tipos de hibridación, como los cruzamientos simples, realizados entre dos especies y los cruzamientos compuestos, en los que pueden participar más de dos especies; ambos tipos de hibridación buscan obtener ventajas en el crecimiento de la progenie, debido al efecto del vigor híbrido o heterosis.

La hibridación en tilapia se ha enfocado a la producción de progenies con porcentajes altos de machos, ya que estos presentan un crecimiento mayor con respecto a sus hembras.¹³ Sin embargo, los programas de hibridación en tilapia se deben considerar también para mejorar los rasgos productivos de las poblaciones acuícolas, haciendo uso de la heterosis.¹⁷ La hibridación se recomienda como la única herramienta para mejorar características cuya heredabilidad es baja, tal es el caso de los principales rasgos de interés comercial en peces, como son: sobrevivencia, peso final, índice de conversión alimenticia, etc.⁶

2.1.1 Cruzamientos simples

La forma de hibridación más común es el cruzamiento entre dos especies para obtener híbridos F₁, los cuales son generalmente el producto terminal destinado a la producción.¹⁸

Históricamente, la primera aplicación de genética en el cultivo de tilapias fue probablemente la hibridación inadvertida entre *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum*, conocida como “híbridos de Malasia”; de 17 cruza individuales realizadas, en 14 de ellas la progenie resultó ser 100 % de machos⁵, lo cual estimuló a efectuar investigaciones posteriores de hibridación en tilapia para determinación del sexo y control de sexos.¹⁹

Siddiqui y Al-Harbi (1995)²⁰ compararon algunos rasgos productivos durante cuatro fases de crecimiento de las tilapias: *O. niloticus* (N), *O. aureus* (A), *O. mossambicus* (M), el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* (NA) y la tilapia roja taiwanesa (*O. mossambicus* x *O.*

niloticus) (MN). Encontraron que el peso final mayor después de 392 días de cultivo fue para NA (327 g) en relación a N (293 g), MN (264 g), A (234 g) y M (168 g). El rango de conversión alimenticia fue de 1.24 (N) a 1.63 (MN), mientras que la sobrevivencia al término de las cuatro fases de crecimiento evaluadas fue de 80% (NA), 74% (N), 72% (A), 61% (M) y 7% (MN); en este trabajo se mostró una superioridad en los rasgos productivos del híbrido con respecto a las especies que le originaron.

Macaranas *et al.* (1997)²¹ compararon el crecimiento y sobrevivencia de *O. niloticus* línea de Israel (NI), *O. niloticus* línea "Chitralada" (NC), *O. mossambicus* (M) y un híbrido rojo (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) (R), encontrando que NC tuvo el mejor rango de crecimiento y conversión alimenticia, lo cual la hacía la mejor de las cuatro líneas bajo condiciones de cultivo en Fiji. El híbrido R no fue superior a los demás grupos genéticos evaluados, lo cual hace suponer que dicho cruzamiento no fue una alternativa importante para acuicultura.

En México, en 1976, Delgadillo y Morales (1976)¹⁰ realizaron las primeras cruces de tilapia, posteriormente en 1981 se continuaron estas cruces con el ingreso al país de otras especies. Muñoz y Garduño (1994)¹² evaluaron el crecimiento de machos de *O. niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido durante la fase de engorda, encontrando que los pesos finales fueron similares entre el híbrido (276.4 g) y *O. niloticus* (239.6 g) y entre este y *O. mossambicus* (186.6 g), pero habiendo diferencias entre el híbrido y *O. mossambicus*, demostrando que el híbrido producto de las dos especies presentó un comportamiento productivo superior cuando menos ante una de las especies paternas.

Muñoz (2000)⁶ realizó un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia (*O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*), para evaluar algunos rasgos productivos, durante la fase de crianza, y encontró que los grupos híbridos con mejores valores productivos así como una coloración atractiva para el mercado fueron: *O. aureus* x *O. niloticus* (45.9 g), *O. mossambicus* x *O. niloticus* (42.2 g) y *O. niloticus* x *O. mossambicus* (38.1 g), por lo que sugirió cultivarlos a escala comercial.

Garduño (2003)⁷ también reportó un buen crecimiento del híbrido *O. aureus* x *O. niloticus* (515.2 g), siendo superior al de los grupos híbridos resultantes del cruzamiento dialélico de las mismas especies de tilapia; Cohen (1995)²³ recomendó el mismo híbrido:

O. aureus x *O. niloticus* debido a su alta tasa de crecimiento, tamaño uniforme, forma y color plateado homogéneo y su resistencia a temperaturas bajas.

Garduño *et al.* (2003)⁸ compararon el crecimiento, rendimiento en filete y composición químico proximal entre machos de *O. niloticus* variedad Stirling (tipo silvestre) y de un híbrido rojo (tilapia roja de florida x *O. niloticus* variedad Stirling de color rojo) durante un período de crecimiento de 98 días, no encontrando diferencias en peso final ni en rendimiento en filete pero si habiendo diferencia en contenido de lípidos, siendo menor en el híbrido rojo.

2.1.2 Cruzamientos compuestos

Una forma de continuar el mejoramiento genético, posterior a un cruzamiento simple, es mediante el cruzamiento del híbrido F₁ con una tercera especie, con el objeto de potencializar el efecto de heterosis.¹⁷ El resultado obtenido es un trihíbrido, el cual se espera que mejore las características productivas de interés con respecto al híbrido F₁ y a las especies base.

En el ámbito acuícola, se ha investigado poco sobre los cruzamientos entre más de dos especies; en este sentido, Cano (2002)¹⁵ comparó algunos rasgos productivos durante la fase de crianza de cuatro grupos genéticos de tilapia generados a partir de cruzamientos terminales de las especies: *O. niloticus* rosa (N), *O. aureus* línea "rocky mountain white" (A) y *O. mossambicus* roja (M). Los trihíbridos utilizados fueron *O. mossambicus* x (*O. aureus* x *O. niloticus*) [(M)AN], (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus* [(AN)M], *O. aureus* x (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) [(A)MN] y (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) x *O. aureus* [(MN)A], encontrando que los pesos finales mayores los presentaron (M)AN (64.0 g) y (AN)M (61.8 g). La sobrevivencia fue satisfactoria en todos los grupos (97.9 a 100 %), al igual que la conversión alimenticia (menor a 1).

Los cruzamientos compuestos representan una alternativa importante de mejoramiento genético en tilapia, sin embargo su aplicación en explotaciones acuícolas es difícil ya que se requiere tener infraestructura adicional a la necesaria para cultivar una sola especie, además de un manejo especializado de las especies necesarias para la creación de

estos grupos genéticos. Una opción a estos problemas es la creación de razas o poblaciones sintéticas.

2.1.3 Poblaciones sintéticas y heterosis retenida

Una alternativa para continuar explotando el efecto de heterosis es mediante la formación de razas o poblaciones sintéticas, ya que son diseñadas para hacer uso del vigor híbrido sin tener que realizar cruzamientos con otras razas, es decir, no necesitan un manejo diferente al de una raza pura; presentan ciertas ventajas desde el punto de vista genético, como son: 1) aumento en la variabilidad genética, 2) retienen parte de la heterosis acumulada en el grupo genético que le da origen y 3) mantienen caracteres complementarios dentro de una misma población.

Bourdon (1997)¹⁶ define la heterosis retenida como el vigor híbrido remanente en generaciones subsecuentes a la del primer cruzamiento ó F_1 , y será mayor cuanto mayor sea el número de razas involucradas en el genotipo de la nueva población.

la creación de estas poblaciones sintéticas se ha realizado principalmente en especies domésticas, como el ganado bovino, ovino, cerdos y conejos. Un ejemplo de raza sintética es la creada en el ganado bovino productor de carne, conocida como Beefmaster, la cual posee una composición genética de 25 % Hereford, 25 % Shorthorn y 50 % Cebú. La formación de la raza fue mediante la cruce de Cebú x Hereford, produciendo un F_1 y de Cebú x Shorthorn produciendo otro F_1 ; al cruzar los dos F_1 entre sí se obtuvo la raza Beefmaster.²³

En acuicultura se ha hecho poco para explotar las ventajas de la creación de poblaciones sintéticas. Jiménez (2002)¹¹ comparó durante la fase de crianza, el comportamiento productivo y heterosis retenida de la primera generación de una población sintética de tilapia, cuya composición genética fue: *Oreochromis aureus* (25%), *O. niloticus* (25%) y *O. mossambicus* (50%), en dos líneas, una que proviene de reproductores rojos (ANM r) y la otra que proviene de reproductores de color perla (ANM p), contra los grupos genéticos *O. niloticus* (N), *O. mossambicus* (M), el híbrido F_1 *O. aureus* x *O. niloticus* (AN), y el híbrido producto de la cruce terminal (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus* [(AN)M]. Al final encontró un peso final (PF) similar para (AN)M y ANM r,

superior a los presentados por N y M, los cuales tuvieron el PF más bajo. La heterosis retenida observada para PF fue de 96.2 % y 85.2 %, superior al esperado de 62.5 %. El autor concluyó que la heterosis retenida en la población sintética roja, en la etapa de crianza, le permitió mantener un comportamiento productivo similar al grupo híbrido del cual proviene.

Así, la creación de poblaciones sintéticas representa una opción importante de interés para las explotaciones acuícolas al tener animales con ventajas productivas sin la necesidad de tener un programa de cruzamientos complicado y una infraestructura mayor.

3.0 HIPÓTESIS

La población sintética de tilapia cuya composición genética es: rocky mountain (25%), *Oreochromis niloticus* (25%) y tilapia roja de Florida (50%), presentará un nivel de heterosis retenida tal, que le permitirá mantener valores similares en los rasgos: sobrevivencia, peso final, ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento, porcentaje de peso ganado, conversión alimenticia y rendimiento en filete, respecto al grupo genético que le dio origen.

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento productivo de una población sintética de tilapia cuya composición genética es rocky mountain (25%), *Oreochromis niloticus* (25%) y tilapia roja de Florida (50%), en sus variables de crecimiento, eficiencia alimenticia y rendimiento de filete.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Comparar la sobrevivencia y las variables de crecimiento de dos grupos sintéticos de tilapia contra la tilapia roja de Florida, *O. niloticus* rosa y los híbridos: rocky mountain ♂ x por *O. niloticus* rosa ♀ y el trihíbrido [(rocky mountain x *O. niloticus* rosa) ♂ x tilapia roja de Florida ♀].

2.- Comparar la eficiencia alimenticia de dos grupos sintéticos de tilapia contra la tilapia roja de Florida, *O. niloticus* rosa y los híbridos: rocky mountain ♂ x por *O. niloticus* rosa ♀ y el trihíbrido [(rocky mountain x *O. niloticus* rosa) ♂ x tilapia roja de Florida ♀].

3.- Comparar el rendimiento de filete entre dos grupos sintéticos de tilapia contra la tilapia roja de Florida, *O. niloticus* rosa y los híbridos: rocky mountain ♂ x por *O. niloticus* rosa ♀ y el trihíbrido [(rocky mountain x *O. niloticus* rosa) ♂ x tilapia roja de Florida ♀].

5.0 MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Localización geográfica

El estudio se realizó en el Módulo de Producción Acuícola del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicado en el kilómetro 5.5 de la carretera federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, municipio de Tlapacoyan, Veracruz a 20°4' de latitud norte, 97°3' de longitud oeste y a una altura de 151 msnm. El clima es Af(m)w'(e), cálido húmedo con lluvias todo el año, sin estación seca definida.²⁴ En la Figura 1 se muestra el mapa de localización del CEIEGT.

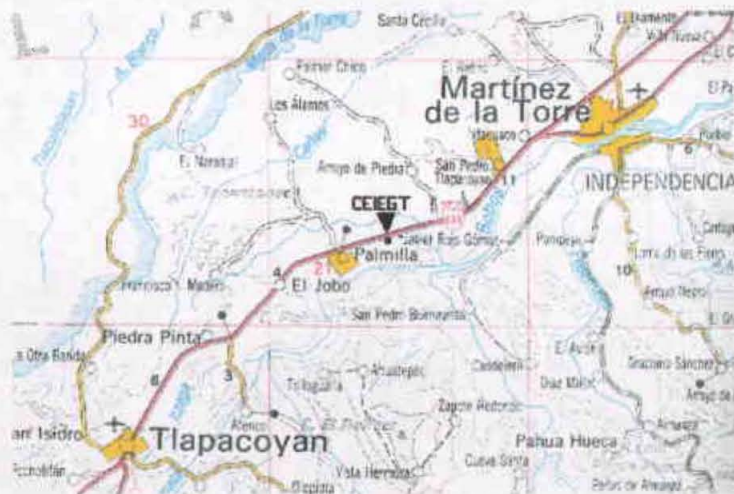


Figura 1. Mapa de localización del CEIEGT (Atlas de Veracruz, 1992)

5.2 Grupos genéticos utilizados en el estudio

Los grupos genéticos base utilizados para realizar los diferentes cruzamientos fueron: 1. *Oreochromis niloticus* de color rosa (variedad Stirling), procedente de la Universidad de Stirling, Escocia quién donó una muestra al Centro de Investigación y

Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, que a su vez los distribuyó a varios centros de producción y al CEIEGT; 2. Tilapia roja de Florida, obtenida de la granja piscícola "El Quetzal" ubicada en el poblado de Palmas de Abajo, municipio de Actopan, Ver.; 3. Rocky Mountain, la cual se obtuvo de la granja piscícola "La Rayana" ubicada en el municipio de Medellín de Bravo en el estado de Veracruz y que corresponde a una línea de color plata conocida también como "Aurea blanca". El Cuadro 1 presenta los cruzamientos realizados para la obtención de los grupos genéticos evaluados en el presente estudio. Todos los animales procedieron del experimento realizado por Jiménez (2002),¹¹ quien evaluó los seis grupos genéticos durante la fase de crianza. El Cuadro 2 muestra los pesos y tallas iniciales de los seis grupos genéticos utilizados en el experimento.

Cuadro 1
Obtención de seis grupos genéticos de tilapia

Macho	Hembra	Progenie	Grupo genético obtenido de la cruce
(RN)F r	(RN)F r	RNF 1	Población sintética 1 (¼ R, ¼ N, ½ F)
(RN)F p	(RN)F p	RNF 2	Población sintética 2 (¼ R, ¼ N, ½ F)
RN	F	(RN)F	Trihíbrido (¼ R, ¼ N, ½ F)
R	N	RN	Híbrido F ₁ (½ R, ½ N)
N	N	N	Grupo genético base (<i>Oreochromis niloticus</i>)
F	F	F	Grupo genético base (Tilapia roja de Florida)

(RN)F r = Híbrido de cruce terminal de color rojo: (rocky mountain x *O. niloticus*) ♂ x tilapia roja de Florida ♀; (RN)F p = Híbrido de cruce terminal de color perla: (rocky mountain x *O. niloticus*) ♂ x tilapia roja de Florida ♀; RN = Híbrido F₁ de color perla: rocky mountain ♂ x *O. niloticus* ♀; F = Grupo genético base: tilapia roja de Florida, de color rojo; R = Grupo genético base: rocky mountain; N = Grupo genético base: *O. niloticus*, de color rosa.

Cuadro 2

Pesos y tallas iniciales promedio de los seis grupos genéticos

Grupo genético	Peso (g) ± D.E.	Talla (mm) ± D.E.
RNF ₁	115.4 ± 13.9	17.2 ± 1.7
RNF ₂	109.4 ± 12.9	16.5 ± 3.0
(RN)F	118.3 ± 8.7	17.2 ± 2.0
RN	94.2 ± 12.3	15.6 ± 2.5
N	63.3 ± 2.9	15.1 ± 1.1
F	111.4 ± 13.5	15.0 ± 1.8

RNF = población sintética: [(rocky mountain x *Oreochromis niloticus*) x tilapia roja de Florida] ♂ x [(rocky mountain x *O. niloticus*) x tilapia roja de Florida] ♀; (RN)F = Cruza terminal: (rocky mountain x *O. niloticus*) ♂ x tilapia roja de Florida ♀; RN = Híbrido F₁: rocky mountain ♂ x *O. niloticus* ♀; N = Grupo genético: *O. niloticus*; F = Grupo genético: tilapia roja de Florida. D.E. = Desviación estándar.

5.3 Instalaciones para la engorda de los peces

Se utilizó un estanque de concreto de 10.0 m x 10.0 m x 1.0 m de profundidad, el cual fue habilitado con un sistema de aireación del agua, mediante la instalación de una línea de aire procedente de un aireador de turbina de ¼ de caballo de fuerza (CF), y la instalación de una bomba eléctrica de ½ CF utilizada para generar turbulencia en el agua y así aumentar el nivel de oxígeno disuelto en el agua. Posteriormente se colocaron de manera equidistante 18 jaulas flotantes metálicas recubiertas de material plástico, con las siguientes medidas: 1.20 m de largo por 1.20 de ancho por 0.60 m de alto, con una luz de malla de 2.5 cm (Figura 2). En cada jaula se colocaron 30 machos de cada grupo genético y se usaron tres jaulas por tratamiento, las cuales fueron ubicadas de manera aleatoria. (Figura 3)



Figura 2. Estanque de concreto utilizado para la engorda



Figura 3. Jaula flotante utilizada para la engorda

5.4 Alimentación de los peces

A los peces se les suministró a saciedad tres veces al día alimento balanceado comercial de la marca AS (Aceitera La Junta, Guadalajara, Jalisco, México). En el Cuadro 3 se presenta el análisis químico proximal del alimento empleado. Se registró el peso de los animales cada 30 días con el objetivo de conocer su ritmo de crecimiento. La duración de la etapa de engorda fue de 119 días, hasta que los peces de todos los tratamientos alcanzaron un peso apropiado para el fileteo.

Cuadro 3
Análisis químico proximal del alimento suministrado a los peces

Componente	Porcentaje
Materia seca (MS)	86.8
Humedad (H)	9.25
Proteína cruda (PC)	31.8
Extracto etéreo (EE)	7.86
Cenizas (C)	6.85
Fibra cruda (FC)	8.44
E.L.N.*	35.8

* E.L.N. = $100 - (\% \text{ de H} + \% \text{ de PC} + \% \text{ de EE} + \% \text{ de FC} + \% \text{ de C})$

5.5 Calidad del agua

Se tomó el registro de las variables fisicoquímicas del agua del estanque con la frecuencia y los instrumentos que se muestran en el Cuadro 4. Semanalmente se realizó un recambio de agua del 20 % del total del estanque y durante los 119 días de duración del experimento se realizaron 4 recambios totales del agua.

Cuadro 4
Medición de las características fisicoquímicas del agua

Variable	Instrumento o método	Frecuencia
Temperatura (°C)	Oxímetro portátil (YSI 55)	diario (6:30 am)
Oxígeno disuelto (mg/l)	Oxímetro portátil (YSI 55)	diario (6:30 am)
Transparencia (cm)	Disco de Secchi	semanal (12:00 pm)
pH	Tiras reactivas (Neutralit [®] pH, Merck)	semanal (12:00 pm)

5.6 Sacrificio y remoción del filete de los peces

Al finalizar la etapa de engorda, se tomó una muestra al azar de 8 animales por grupo genético, los cuales fueron sacrificados en agua con hielo a 3°C. Posteriormente se obtuvo su filete, el cual fue removido mediante la técnica de fileteo para pescado de cuerpo redondo.^{14,25} 1. se realizó un primer corte de la parte posterior de la aleta pectoral, hacia la parte central de la base de la cabeza; 2. el segundo corte se hizo sobre toda la parte dorsal del pez, lo más próximo a las espinas dorsales y columna vertebral, continuando hasta la región ventral para remover el filete con la piel; 3. se separó la piel del filete 4. se llevó a cabo el mismo procedimiento para retirar el filete del otro lado (Figura 4). Adicionalmente se tomó el registro de las siguientes variables: peso del filete, peso de la cabeza, tronco, piel y espinas, branquias y vísceras y merma.



Figura 4. Técnica empleada para la remoción del filete de los peces de los seis grupos genéticos

5.7 Determinación de los rasgos productivos

Los rasgos productivos evaluados en el presente estudio fueron: sobrevivencia, peso final, índice de conversión alimenticia, rendimiento en filete, ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento y porcentaje de peso ganado, los cuales fueron determinados para los seis grupos genéticos utilizados. La determinación de los rasgos productivos se realizó con las siguientes fórmulas:

5.7.1 Sobrevivencia (S)²⁶

Estima el porcentaje de peces que vivieron al final del experimento.

$$S = 100 (N_F / N_I)$$

En donde:

N_F = Número de peces al finalizar el experimento

N_I = Número de peces al iniciar el experimento

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje

5.7.2 Ganancia diaria de peso (GDP) (Garduño, 1995)²⁶

Para estimar la ganancia diaria de peso se utilizó la siguiente expresión.

$$GDP = (P_F - P_I) / N_D$$

En donde:

P_F = Peso final

P_I = Peso inicial

N_D = Número de días del experimento

5.7.3 Tasa específica de crecimiento (TEC)⁷

$$TEC = 100 (\ln P_F - \ln P_I) / N_D$$

En donde:

$\ln P_F$ = Logaritmo natural de peso final

$\ln P_I$ = Logaritmo natural de peso inicial

N_D = Número de días del experimento

5.7.4 Porcentaje de peso ganado (PPG)⁷

$$PPG = 100 [(P_F - P_I) / P_I]$$

En donde:

P_F = Peso final

P_I = Peso inicial

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje

5.7.5 Índice de conversión alimenticia (ICA)²⁷

Es el alimento utilizado para producir una unidad de peso en un grupo genético, y se expresa:

$$ICA = A_C / P_G$$

En donde:

A_C = Alimento consumido

P_G = Peso ganado

5.7.6 Rendimiento en filete (RF)

Es el porcentaje del peso del pez correspondiente a su filete.

$$RF = 100 (P_{TF} / P_{TP})^{14}$$

En donde:

P_{TF} = Peso total del filete

P_{TP} = Peso total del pescado

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje

5.8 Diseño experimental y análisis estadístico de los rasgos productivos

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los rasgos: sobrevivencia, peso final, índice de conversión alimenticia y rendimiento en filete se analizaron bajo el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_j + E_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = valor fenotípico (sobrevivencia, peso final, índice de conversión alimenticia y rendimiento en filete) observado del grupo genético (j) en la unidad experimental (i)

μ = media poblacional común a todas las observaciones

t_j = efecto del grupo genético j

E_{ij} = efecto aleatorio del error de la unidad experimental (i) y del grupo genético (j) con distribución $N(0, \sigma)$

Para el caso de la sobrevivencia y el rendimiento en filete se realizó la transformación arco seno para analizar los datos.²⁷

El análisis de varianza se efectuó con el procedimiento ANOVA (Análisis de varianzas, por sus siglas en inglés) del programa SAS (sistema de análisis estadístico, por sus siglas en inglés) para microcomputadora.²⁸ La prueba de comparación múltiple de medias se realizó mediante el procedimiento de Tukey.²⁷

El presente estudio es una continuación del trabajo realizado por Jiménez (2002),¹¹ quien realizó la etapa de crianza de los grupos genéticos utilizados en este estudio; por tal motivo no se realizó un análisis de covarianza para la variable peso final, considerando la falta de homogeneidad de los pesos iniciales, de manera tal que las discrepancias encontradas en los pesos iniciales de los grupos genéticos fueron el resultado del desempeño productivo mostrado durante la etapa anterior estudiada por Jiménez (2002).¹¹

5.9 Determinación de la heterosis retenida esperada

Según Bourdon (1997)¹⁶ la heterosis retenida esperada está dada por la expresión:

$$HR = \left(1 - \sum_{i=1}^n P_i^2 \right) \times 100$$

En donde:

HR = Heterosis retenida esperada

P_i^2 = Proporción de la i ésima especie en la población sintética

n = Número total de grupos genéticos involucrados

100 = Constante para presentar el resultado en porcentaje

Según dicho autor, en los rasgos productivos que obedecen al modelo genético de dominancia, la heterosis es igual a la heterocigosidad presente en el genotipo de un determinado grupo, de manera tal que los valores de heterosis retenida observada fueron calculados tomando como base que el híbrido producto de la cruce terminal presentó el 100% de heterocigosidad, lo que sugiere una manifestación del 100 % de heterosis retenida.

Ya que la proporción de grupos genéticos en la población sintética es: 25 % rocky mountain, 25 % *Oreochromis niloticus* y 50 % tilapia roja de Florida, para calcular el valor de heterosis retenida esperada se realizaron los siguiente cálculos:

$$HR = \left(1 - [(0.25)^2 + (0.25)^2 + (0.50)^1] \right) \times 100$$

$$\text{entonces: } HR = \left(1 - [(0.0625) + (0.0625) + (0.25)] \right) \times 100$$

$$HR = \left(1 - (0.375) \right) \times 100$$

$$HR = \left(0.625 \right) \times 100$$

$$HR = 62.5$$

Entonces el valor de heterosis retenida esperada para los rasgos productivos en ambas poblaciones sintéticas fue del 62.5 %.

6. 0 RESULTADOS

6.1 Rasgos productivos

El Cuadro 5 muestra los valores de los diferentes rasgos productivos evaluados en los seis grupos genéticos bajo estudio.

Cuadro 5.

Resultados obtenidos para los rasgos productivos de seis grupos genéticos de tilapia

Variable	Grupo genético					
	(RN)F	RNF ₁	RNF ₂	RN	N	F
Peso inicial (g)	118.3	115.4	109.5	94.2	63.3	78.6
+ D.E.	+ 8.7	+ 13.9	+ 12.9	+ 12.3	+ 2.9	+ 13.5
Peso final (g)	313.9 ^{ab}	324.6 ^a	316.2 ^{ab}	277.5 ^{ab}	181.1 ^c	237.3 ^{bc}
+ D.E.	+ 44.2	+ 4.9	+ 35.2	+ 24.5	+ 19.5	+ 42.9
GDP (g)	1.64 ^a	1.76 ^a	1.74 ^a	1.54 ^a	0.99 ^b	1.06 ^b
+ D.E.	+ 0.30	+ 0.16	+ 0.19	+ 0.10	+ 0.14	+ 0.25
TEC	0.82 ^a	0.87 ^a	0.89 ^a	0.91 ^a	0.88 ^a	0.63 ^b
+ D.E.	+ 0.06	+ 0.11	+ 0.02	+ 0.04	+ 0.06	+ 0.06
PPG (%)	164.4 ^a	184.2 ^a	189.1 ^a	195.8 ^a	185.5 ^a	112.0 ^b
+ D.E.	+ 19.9	+ 36.2	+ 6.28	+ 13.3	+ 20.8	+ 14.4
Sobrevivencia (%)	90 ^a	90 ^a	76.7 ^a	82.2 ^a	91.1 ^a	84.4 ^a
+ D.E.	+ 5.77	+ 6.67	+ 3.33	+ 17.1	+ 5.09	+ 5.09
ICA	1.56 ^a	1.57 ^a	1.53 ^a	1.50 ^a	2.04 ^a	2.45 ^a
+ D.E.	+ 0.24	+ 0.05	+ 0.31	+ 0.25	+ 0.70	+ 0.43
Rendimiento en filete (%)	26.4 ^a	26.8 ^a	27.1 ^a	25.7 ^a	26.1 ^a	24.2 ^a
+ D.E.	+ 3.56	+ 3.34	+ 4.48	+ 2.37	+ 2.68	+ 3.55

Medias con el mismo superíndice no son diferentes ($P > 0.05$). (RN)F = híbrido [rocky mountain x *O. niloticus*] (macho) x tilapia roja de Florida (hembra); RNF₁ = población sintética 1; RNF₂ = población sintética 2 RN = rocky mountain x *O. niloticus*; R = rocky mountain; N = *O. niloticus*; F = tilapia roja de Florida. D.E = desviación estándar. GDP = ganancia diaria de peso. TEC = tasa específica de crecimiento. PPG = porcentaje de peso ganado. ICA = índice de conversión alimenticia.

Los pesos finales (PF) (Figura 5) de RNF₁, RNF₂, (RN)F y RN no fueron estadísticamente diferentes ($P>0.05$). El PF menor lo presentó el grupo genético N, el cual fue similar a F ($P>0.05$), pero inferior al de los híbridos ($P<0.05$). En la Figura 6 se presenta la gráfica de crecimiento promedio en peso, de los seis grupos genéticos, en donde se observa un aumento de peso continuo en todo el estudio, con períodos de menor crecimiento a mitad del mismo para el caso de RNF₂ y RN.

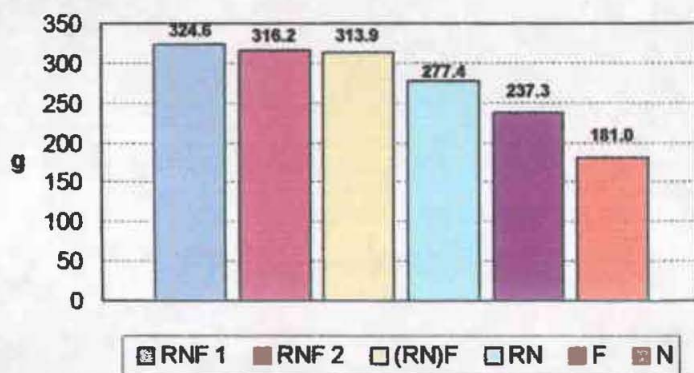


Figura 5. Peso final de los seis grupos genéticos de tilapia

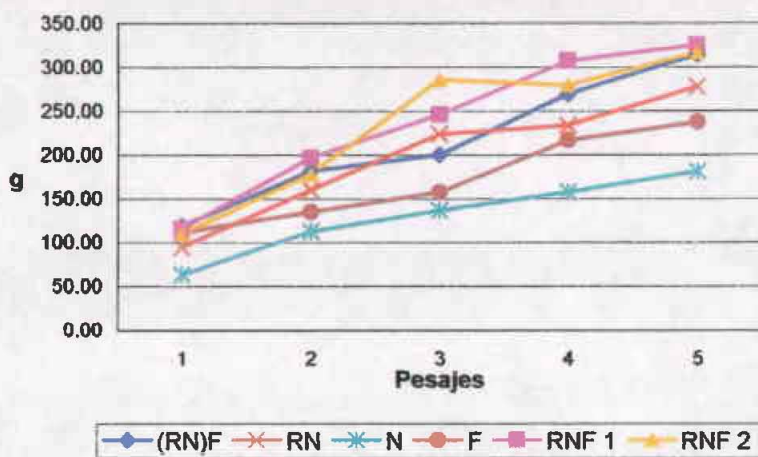


Figura 6. Crecimiento de los seis grupos genéticos de tilapia

En cuanto a las ganancias diarias de peso (GDP) se observó la misma tendencia que en los pesos finales (Figura 7), en donde las dos poblaciones sintéticas (RNF₁ y RNF₂) fueron las más altas, seguidas de (RN)F y RN pero iguales para los cuatro híbridos (P>0.05). La GDP menor la presentó el grupo genético N, la cual fue similar a F (P>0.05) pero diferente a los híbridos (P<0.05). La tasa específica de crecimiento fue igual entre los grupos híbridos y N (P>0.05), los cuales fueron superiores a F (P<0.05) (Figura 8). El porcentaje de peso ganado menor lo obtuvo F, el cual fue diferente a los demás grupos genéticos (P<0.05), los cuales fueron similares entre sí (P>0.05) (Figura 9).

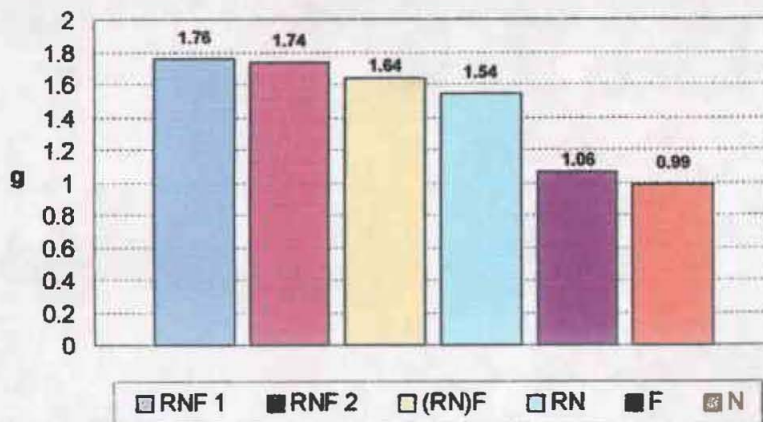


Figura 7. Ganancia diaria de peso de los seis grupos genéticos de tilapia

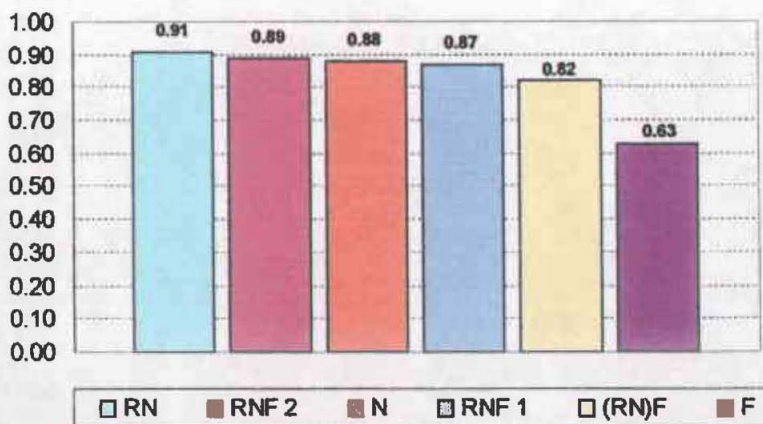


Figura 8. Tasa específica de crecimiento de los seis grupos genéticos de tilapia

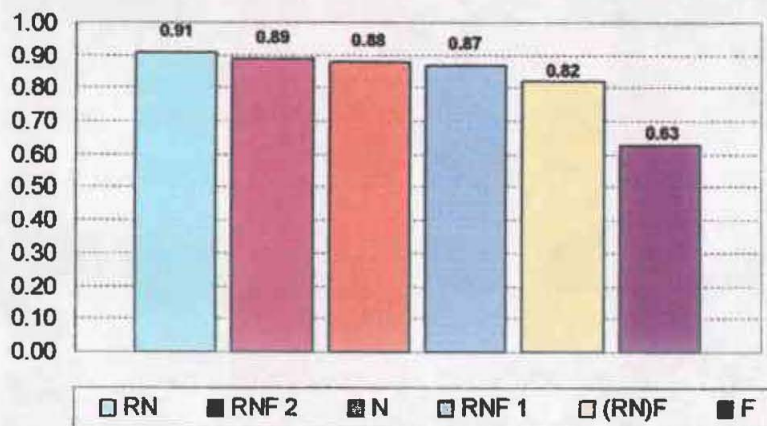


Figura 9. Porcentaje de peso ganado de los seis grupos genéticos de tilapia

La sobrevivencia (Figura 10) fue similar para los seis grupos genéticos estudiados ($P>0.05$). Para el índice de conversión alimenticia (ICA) y rendimiento en filete, no hubo diferencias en los seis tratamientos ($P>0.05$) (Figuras 11 y 12).

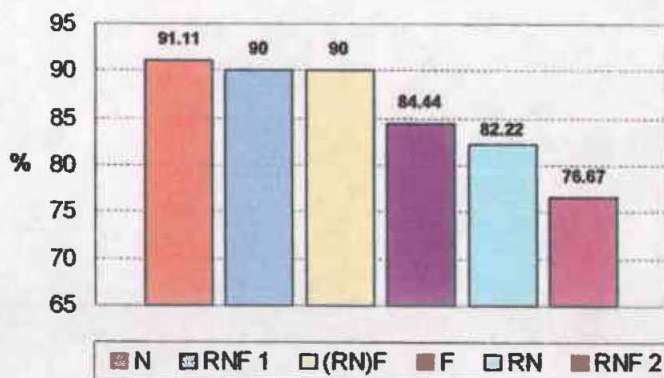


Figura 10. Valores porcentuales de sobrevivencia de los seis grupos genéticos de tilapia

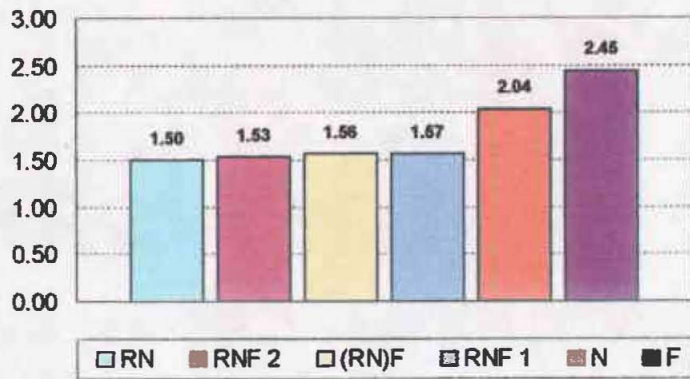


Figura 11. Conversión alimenticia promedio de los seis grupos genéticos de tilapia

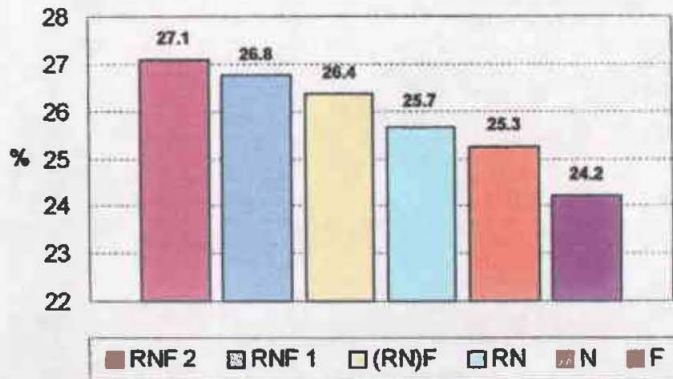


Figura 12. Valores porcentuales de rendimiento en filete de los seis grupos genéticos de tilapia

6.2 Heterosis retenida

La heterosis retenida observada en las dos poblaciones sintéticas (RNF₁ y RNF₂) para los rasgos de sobrevivencia, peso final, conversión alimenticia y rendimiento en filete fueron aproximadas a la heterosis del trihíbrido del cual provienen. Los valores de esas variables fueron superiores a los valores esperados, obtenidos mediante la fórmula de Bourdon. El Cuadro 6 muestra los valores de heterosis retenida observados y esperados para las dos poblaciones sintéticas y el trihíbrido.

Cuadro 6.
Valores porcentuales de heterosis retenida de dos poblaciones sintéticas de tilapia

Valores de heterosis retenida (%)				
	Sobrevivencia	Peso final	Conversión alimenticia	Rendimiento en filete
(RN)F ¹	100	100	100	100
HR esperada ²	62.5	62.5	62.5	62.5
RNF ₁	100.1	103.4	94.4	101.6
RNF ₂	85.2	100.7	122.2	102.9

¹ La heterosis retenida de (RN)F es igual a 100% ya que se considera que este grupo genético posee un 100 % de heterocigosidad

² La heterosis retenida esperada fue de 62.5 % para todos los rasgos y en ambas poblaciones sintéticas, de acuerdo a la fórmula de Bourdon (1997).

6.3 Características fisicoquímicas del agua

Los valores de temperatura del agua, pH y transparencia se encontraron dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia.²⁹ Los promedios, desviación estándar, valores máximos y mínimos de las características fisicoquímicas del agua del estanque de engorda se encuentran representados en el Cuadro 7.

Cuadro 7.

Características fisicoquímicas del agua durante la etapa de engorda

Variable	Promedio \pm D.E.	Valor máximo	Valor mínimo	Valor óptimo
Oxígeno disuelto (mg/l)	4.11 \pm 0.19	4.97	2.55	> 4
Temperatura del agua (°C)	28.8 \pm 0.6	30.7	27.4	25 – 29
pH	6.87 \pm 0.12	7.6	6.5	6.5 – 9
Transparencia (cm)	34.4 \pm 14.4	95	19	35 – 45

D.E = desviación estándar

La concentración de oxígeno disuelto en el agua se mantuvo por arriba del valor mínimo deseable en casi todo el experimento, habiendo un aumento en la concentración del mismo en las semanas 6 y 7, debido a que se realizó un recambio total del agua del estanque. En la Figura 13 se puede apreciar la concentración de oxígeno disuelto presente en el agua del estanque durante el experimento.

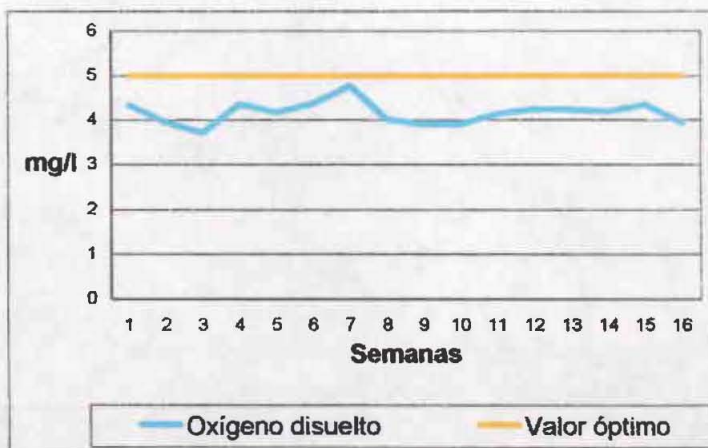


Figura 13. Oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante la etapa de engorda

La temperatura del agua se encontró por arriba del valor superior del rango óptimo para el cultivo de tilapia, esto debido a la temperatura ambiente de las primeras semanas del experimento, mientras que en la segunda mitad se mantuvo dentro del rango óptimo. La Figura 14 muestra la temperatura del agua durante la etapa de engorda.

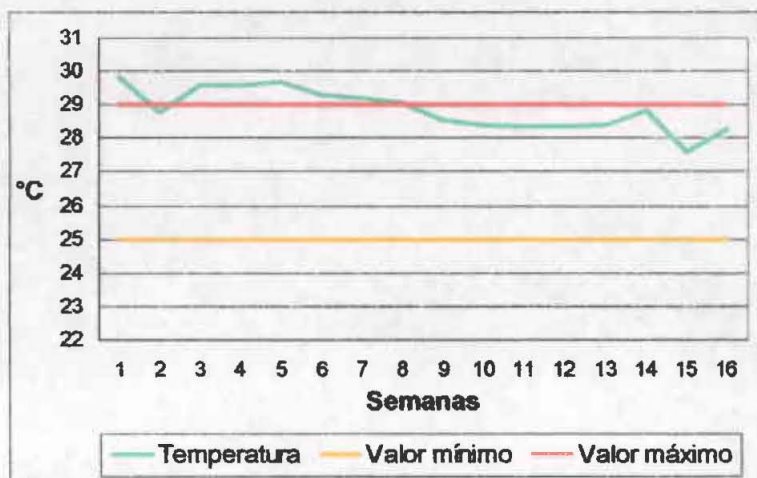


Figura 14. Temperatura del agua (°C) durante la etapa de engorda

El pH se mantuvo dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia, durante todo el experimento, como se puede apreciar en la Figura 15. En la Figura 16 se muestra la transparencia del agua del estanque, en donde se aprecia que esta tuvo caídas en las semanas 3, 6 y 10 del experimento, lo cual mantuvo la transparencia por debajo del valor mínimo recomendado. Entre la semana 12 y 13 hubo un aumento en la transparencia debido a un recambio total del agua del estanque, lo cual hizo que se mantuviera dentro del rango óptimo hasta el final del experimento.

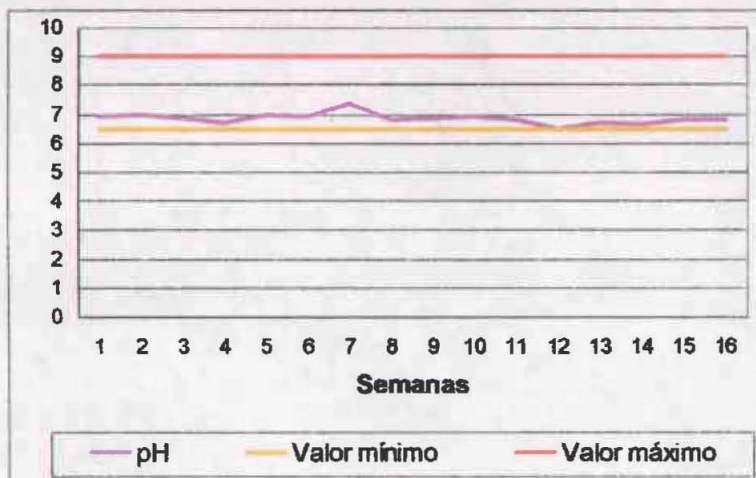


Figura 15. pH del agua durante la etapa de engorda

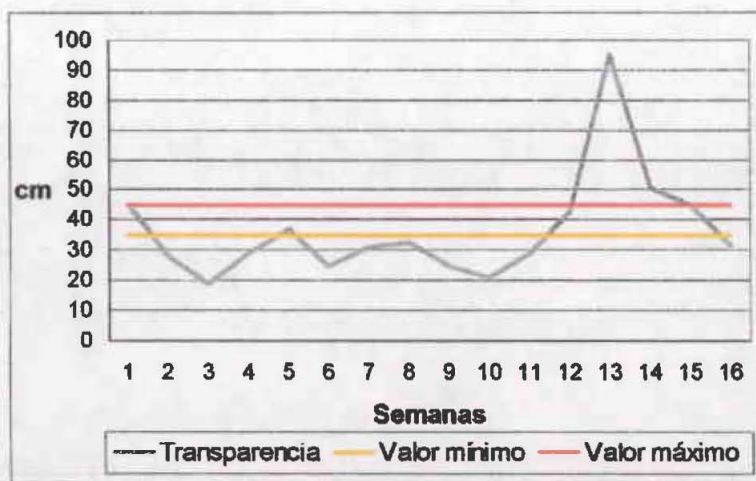


Figura 16. Transparencia del agua (cm) durante la etapa de engorda

7.0 DISCUSIÓN

Heterosis retenida

El comportamiento productivo de la población sintética 1 (RNF₁) y de la población sintética 2 (RNF₂) fue similar al desempeño mostrado por el trihíbrido (RN)F, lo cual significa que ambas poblaciones sintéticas retuvieron gran parte de la heterosis acumulada en el trihíbrido. Este valor es superior al 62.5 % de heterosis retenida esperada de acuerdo a la expresión de Bourdon (1997).¹⁶ Estos resultados concuerdan con lo reportado con Jiménez (2002),¹¹ quien evaluó durante la etapa de crianza la heterosis retenida presente para los rasgos productivos de peso final (PF), conversión alimenticia (ICA) y sobrevivencia (SOB) de las poblaciones sintéticas estudiadas en el presente trabajo y menciona valores para la población sintética 1 de 90.9 % para PF, 96.2 % de ICA y 100.3 % para SOB; en el caso de la población sintética 2 reporta valores de 85.2 % para PF, 90.9 % para ICA y 100.3 % para SOB.

Dichos resultados representan una ventaja de ambas poblaciones sintéticas, ya que al comportarse de manera similar a (RN)F, pueden ser preferidas para su producción comercial sobre el trihíbrido del cual provienen debido a que las poblaciones sintéticas no necesitan de la serie de cruzamientos entre especies, ni de la infraestructura requerida para producir el grupo (RN)F a escala comercial, lo cual significa un manejo zootécnico menor, así como un costo menor de infraestructura en la granja.

Gregory *et al.* (1994)³⁰ estudiaron el grado de heterosis retenida para algunas variables de eficiencia productiva en tres razas compuestas de ganado de carne, y encontraron que el nivel de heterosis retenida fue significativo en una de las tres razas compuestas, lo cual redituó en un comportamiento mejor sobre la media de las especies paternas. En este caso, el nivel de heterosis retenida observada para el caso de una de las tres razas fue superior al nivel de heterosis retenida esperada.

Sobrevivencia

Todos los grupos genéticos presentaron una sobrevivencia similar, la cual estuvo en un rango de 76.7 % en RNF₂ a 91.1 % para el caso de *Oreochromis niloticus* (N). Estos resultados difieren con lo reportado con Jiménez (2002),¹¹ quien menciona diferencias entre *Oreochromis mossambicus* y los grupos genéticos *O. niloticus*, el híbrido F₁ *O. aureus* x *O. niloticus* (AN), el trihíbrido (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus* (ANM) y las dos poblaciones sintéticas RNF₁ y RNF₂. Esta situación la atribuye a la baja temperatura del agua durante el estudio, lo cual provocó la aparición de cuadros infecciosos siendo *O. mossambicus* el grupo más afectado. Sin embargo, para el caso de los grupos genéticos evaluados en el presente estudio la sobrevivencia puede considerarse aceptable, ya que se mantuvo por arriba del 75 %.

Peso final

La tilapia roja de Florida (F) mostró un crecimiento similar a *O. niloticus* (N); este resultado difiere con lo reportado en la literatura, donde se menciona que N es superior en crecimiento a F.^{21,22} Este grupo genético es usado en acuicultura debido a su atractiva coloración roja y a su resistencia a altas salinidades.⁹

El híbrido rocky mountain x *O. niloticus* (RN) presentó un peso final similar a F, lo cual difiere con lo reportado con Muñoz (2000)⁴ y Cano (2002),¹⁵ quienes reportan un peso final mayor del mismo híbrido sobre *O. mossambicus*. Aunque se esperaba que el híbrido RN tuviera un crecimiento superior con respecto a los grupos genéticos base, el peso final que obtuvo el híbrido es muy aceptable y fue similar a un de los grupos genéticos del cual proviene.

El grupo genético (RN)F presentó un crecimiento similar al híbrido RN, lo cual difiere con lo encontrado por Cano (2002),¹⁵ quien reporta un crecimiento superior del mismo trihíbrido sobre el mismo híbrido F₁. Sin embargo, los resultados encontrados por dicho autor, fueron realizados durante la fase de crianza por lo que se puede inferir que el comportamiento en cuanto a peso final sea diferente entre las etapas de crianza y engorda.

Conversión alimenticia

En todos los grupos genéticos, se encontró una conversión alimenticia en el rango de 1.50 (RN) a 2.45 (F); Akiyama (1991)³¹ menciona que en el caso de los peces, un índice de conversión alimenticia bueno no debe ser mayor a 2:1, por lo que en el caso de los grupos híbridos la conversión alimenticia puede considerarse como aceptable, con excepción de los grupos genéticos base, que presentaron conversiones por arriba de 2. Sin embargo, estos resultados difieren con lo reportado por Jiménez (2002),¹¹ quién al trabajar con los mismos grupos genéticos encontró conversiones alimenticias en un rango de 1.1 a 1.7, no obstante estos resultados se obtuvieron durante la etapa de crianza

Rendimiento en filete

El rendimiento en filete fue similar en los seis grupos genéticos evaluados, encontrándose en un rango de 24.2 % para F, a 27.1 % en RNF₂. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Clement y Lovell (1994)³² quienes mencionan un rendimiento de filete en *O. niloticus* de 25.4 %. Sin embargo, estos resultados se encuentran por debajo de lo mencionado en la mayoría de los trabajos en los que se evaluó el porcentaje de filete en tilapia; Granados (1999)¹⁴ reporta un 33.4 % y 32.0 % de rendimiento para el híbrido *O. mossambicus* x *O. niloticus* y para *O. niloticus* gris, respectivamente. Garduño (2003)⁷ también reporta valores de porcentaje de filete por arriba de 30 % (35.9 % en *O. niloticus*, 37.6 % en *O. mossambicus* y 36.5 % para *O. aureus* x *O. niloticus*).

No hay en la literatura trabajos en los que se haya evaluado el rendimiento en filete en trihíbridos de tilapia o en cruza posteriores por lo que no hay un punto de comparación para los resultados obtenidos de rendimiento en filete de los genotipos RNF₁, RNF₂ y (RN)F. No obstante, para el caso de las tilapias se menciona que un rendimiento en filete aceptable debe ser superior al 30 %. Los resultados obtenidos de rendimiento en filete pueden estar influenciados por el peso al que se filetearon los animales, ya que en los trabajos arriba mencionados, los pesos finales de los peces estaban por arriba de los 340 g

En el caso de Granados (1999)¹⁴ los pesos finales fueron de 473.0 y 348.8 g en promedio para *O. niloticus* y el híbrido respectivamente, mientras que Garduño (2003)⁷ reporta pesos finales de 473.2 g, 475.8 g y 515.2 g para *O. niloticus*, *O. mossambicus* y el híbrido *O. aureus* x *O. niloticus*, en el mismo orden mientras que en el presente trabajo el peso de los peces estuvo en el rango de 181.1 g a 324.6 g. Asimismo, tanto en los dos trabajos mencionados así como en el presente estudio, no se encontraron diferencias estadísticas entre el porcentaje de filete de los grupos genéticos base con respecto a los híbridos.

8.0 CONCLUSION

El nivel de heterosis retenida en rasgos de interés comercial en las poblaciones sintéticas les permitió mantener un comportamiento productivo similar al grupo trihíbrido del cual provienen. Debido a que la población sintética 1 presenta una coloración roja hace que esta población se proyecte como una nueva alternativa de interés comercial en el cultivo de tilapia.

9.0 LITERATURA CITADA

1. SAGARPA. Serie histórica de la producción pesquera, en peso vivo, según principales especies. 1991-2001. Anuario 2001 (serie en línea) 2003. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/pesca/>
2. Watanabe WO, Clark JH, Dunham JB, Wickund RI, Olla BL. Culture of Florida red tilapia in marine cages: the effect of stocking density and dietary protein on growth. *Aquaculture* 1990; 90:123-134.
3. DeWandel R. Avances en la acuicultura de las tilapias en aguas salobres. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia; 1996 junio 20-22; México (DF). México (DF). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 1996: 225-231.
4. Arredondo-Figueroa JL, Lozano-Gracia S. El cultivo de tilapia en México. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia; 1996 junio 20-22, México (DF). México (DF). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 1996: 7-18.
5. Hickling CF. The Malaca tilapia hybrid. *J Genetics* 1960; 57: 1-10.
6. Muñoz G. Heterosis, habilidad combinatoria, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*) (tesis de maestría). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
7. Garduño M. Selección genética de *Oreochromis niloticus* para producir poblaciones monosexo de color rojo (tesis de doctorado). México (Yucatán) México: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Departamento de Recursos del Mar, 2003.

8. Garduño M, Granados L, Olvera N, Muñoz G. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia x Stirling red *O. niloticus*) males. *Aquaculture Research*, 2003; 34: 1023-1028.
9. Wohlfarth GW, Hulata G, Rothbard S, Itzkowich J, Herlevy A. Comparisons between different interspecific Tilapia hybrids for some production trait. *Proceedings of the 1st International Symposium on Tilapia in Aquaculture*; 1983 May 8 to 13; Nazareth, Israel. Tel Aviv: Tel Aviv University, 1983: 559-569.
10. Morales DA. *La Tilapia en México, Biología, Cultivo y Pesquerías*. México (DF): AGT, 1995.
11. Jiménez E. Comportamiento productivo y heterosis retenida de la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. Niloticus*, *O. mossambicus*) en la zona Centro-Norte del estado de Veracruz (tesis de licenciatura). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Univ. Nal. Autón. de Méx., 2002.
12. Muñoz G, Garduño M. Comparación del crecimiento entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido bajo condiciones de cultivo. *Vet Méx* 1994; 25: 323-326.
13. Mair GC, Abucay JS, Beardmore JA, Skibinski OF. Growth performance trials of genetically male tilapias (GMT) derived from YY-males in *Oreochromis niloticus*. On station comparisons with mixed sex and sex reversed male populations. *Aquaculture* 1995; 137: 313-322.
14. Granados I. Crecimiento, rendimiento en filete y eficiencia económica de *Oreochromis niloticus* (gris) y el híbrido (rojo) *Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*, bajo sistema intensivo. (tesis de licenciatura). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Univ. Nal. Autón. de Méx., 1999.

15. Cano X. Mejoramiento genético de rasgos productivos en tres especies de tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757), *O. mossambicus* (Peters, 1852) y *O. aureus* (Steindachner, 1864) mediante cruzamientos terminales, en la zona centro-norte del estado de Veracruz (tesis de licenciatura). Jalapa (Veracruz) México: Facultad de Biología. Univ. Veracruzana, 2002.
16. Bourdon R. Understanding animal breeding. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
17. Tave D. Genetics for fish hatchery managers. Westport (Connecticut): AVI Publishing Company Inc. 1986.
18. Muñoz G, Garduño M. Mejoramiento genético en tilapia. Sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos en la determinación del color. Veracruz (Veracruz) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Univ. Nal. Autón. de Méx., 2003.
19. Penman D, McAndrew J. Tilapias: Biology and exploitation. Genetics for the management and improvement of cultured tilapias. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland.
20. Siddiqui AQ, Al-Harbi AH. Evaluation of three species of tilapia, red tilapia and a hybrid tilapia as a culture species in Saudi Arabia. *Aquaculture* 1995; 138: 145-157.
21. Macaranas JM, Mather PB, Lal SN, Vereivalu T, Lagibalavu M, Capra MF. Genotype and environment: A comparative evaluation of four tilapia stocks in Fiji. *Aquaculture* 1997; 150: 11-24.
22. Cohen D. Advances in tilapia technology from Israel: New strains of high performance tilapia and intensive production under conditions of periodic water shortage and high salinity. *Actas del Primer Simposio Centroamericano sobre Cultivo de Tilapia*; 1995 noviembre 15-17; San José, Costa Rica: INCOPESCA, 1995: 147-152.

23. Williams DW. Ganado vacuno para carne. Cría y explotación. Limusa, Grupo Noriega Editores. México, 1992.
24. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2da. Reimpresión. México (DF): Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón de Méx., 1981.
25. Piscicultura de agua dulce. Manual-Recetario. Secretaría de Pesca. México, 1986.
26. Garduño M. Producción de alimento para *Oreochromis niloticus* a partir de la sustitución de harina de pescado por harina de cacahuete *Arachis hypogaea* (tesis de maestría). Mérida (Yucatán) México: Univ. Autón. de Yucatán, 1995.
27. Steel GDR, Torrie HJ. Bioestadística Principios y Procedimientos. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill, 1986.
28. SAS Institute Inc. SAS/STAT Users Guide Release (computer program) versión 6.03, Cary (NC) USA: SAS Institute Inc., 1988.
29. Balarin JD, Hatton JP. Tilapia, a guide to their biology and culture in Africa. Stirling, Scotland: University of Stirling, 1979.
30. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM, Dikeman ME, Koohmerai M. Breed effects and retained heterosis for growth, carcass and meat traits in advanced generations of composite populations of beef cattle. J. Anim. Sci. 1994; 72: 833-850.
31. Akiyama MD. Future consideration for the aquaculture feed industry. Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop; 1991 September 19-25; Thailand and Indonesia. Singapore, Republic of Singapore: American Soybean Association, 1991: 5-9.

32. Clement S, Lovell RT. Comparison of processing yield and nutrient composition of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 1994; 119: 299-310.