

34

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y HETEROSIS RETENIDA DE
LA PRIMERA GENERACIÓN DE UNA LÍNEA SINTÉTICA DE TRES
ESPECIES DE TILAPIA (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y
O. mossambicus) EN LA ZONA CENTRO-NORTE
DEL ESTADO DE VERACRUZ**

Tesis presentada ante la
División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

de la

Universidad Nacional Autónoma de México
para la obtención del título de
Médico Veterinario Zootecnista

por

Eduardo Alberto Jiménez Ramírez

MPA. Germán Muñoz Córdova

MC. Mario Garduño Lugo

MSc. Pedro Ochoa Galván

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.,
2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

DEDICATORIAS

A ti Ana Regina, por ser el mejor regalo que Dios pudo haberme dado y por ser mi mayor inspiración a ser mejor cada día.

A Marriout, mi padre, por el gran apoyo brindado durante mis estudios y por que gracias a ti hoy cumplo una gran meta en mi vida.

A ti Chanita, por que siempre has sido mi mayor apoyo en todo momento.

A mi pequeña y muy querida esposa Nadia, por que nuestro amor ha sabido sortear las más grandes dificultades.

A mis ángelos, por que desde pequeño supieron orientarme a seguir el mejor camino.

A mis hermanos, Wama y Danito, por todos esos momentos que con tanta alegría habremos de recordar durante toda nuestra vida.

A mis mejores amigos, Horacio y Froy, por ser los dos pulgares de mis manos. ¡Gracias hermanos!

A todos ustedes, ¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, Germán Muñoz Córdova, Mario Garduño Lugo y Pedro Ochoa Galván, por su invaluable contribución a este trabajo.

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 Programa de Becas para Tesis de Licenciatura en Proyectos de Investigación (PROBETEL), por el apoyo económico brindado durante la segunda mitad de este trabajo de investigación.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), Rancho "El Clarín", y a todo su personal académico y administrativo por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

A nuestra máxima casa de estudios, Universidad Nacional Autónoma de México, por que a través de su Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia recibí todos los conocimientos teóricos y prácticos que me permitirán enfrentarme a mi nueva vida como profesionista.

A Germancito maravilla y al Doc. Garduño, por que en ustedes encontré una gran amistad que espero perdure por siempre.

A Pablín, Joe, Carlitos, Iván, Santiago, Sampur, Karla, Felipe, Cristina, Tito, Espiri, Xóchitl, Adrián, Ramón, Don Carlitos (Charly), Richie, Rodrigo, Diana, Marcianito, Lucero e Itza, por su amistad y por todos aquellos gratos momentos que vivimos juntos en algún lugar de la mancha.

A todas aquellas personas, familiares y amigos que formaron, forman y formarán parte de mi vida.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Desempeño productivo de las especies de tilapia introducidas a México	4
2.2. Comportamiento productivo de híbridos de tilapia	5
2.3. Razas sintéticas y heterosis retenida	8
3. OBJETIVO GENERAL	10
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. HIPÓTESIS.....	10
6. MATERIAL Y MÉTODOS	11
6.1. Localización del área de estudio	11
6.2. Grupos genéticos utilizados en el estudio	12
6.3. Cruzamientos	15
6.4. Etapa de crianza	16
6.5. Control y medición de la calidad del agua	19
6.6. Determinación de rasgos productivos	20
6.7. Análisis estadístico de los rasgos productivos	21
6.8. Determinación de la heterosis retenida esperada	22
7. RESULTADOS	24
8. DISCUSIÓN	32
9. CONCLUSIONES	39
10. LITERATURA CITADA	40
ANEXOS	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Peso promedio (g) de los reproductores utilizados en el sistema de cruzamiento.	12
2	Cruzamientos utilizados en el estudio.	16
3	Peso y talla promedio inicial de las crías por grupo genético.	18
4	Composición químico proximal del alimento suministrado durante el periodo de adaptación y crianza.	19
5	Frecuencia y método o instrumento con que se llevó a cabo la medición de algunas variables fisicoquímicas del agua.	20
6	Características fisicoquímicas del agua durante la fase de crianza.	24
7	Rasgos productivos de los seis grupos genéticos para las características peso y talla inicial y final, conversión alimenticia y sobrevivencia.	25
8	Valores porcentuales de heterosis retenida observados en las dos líneas sintéticas.	28
9	Proporción de colores segregados en los seis grupos genéticos.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la FMVZ-UNAM.	11
2	Ejemplar de <i>Oreochromis aureus</i> de color plata (línea Rocky Mountain White).	13
3	Ejemplar de <i>Oreochromis niloticus</i> de color rosa (línea Stirling).	13
4	Ejemplar de <i>Oreochromis mossambicus</i> de color rojo.	13
5	Ejemplar híbrido F ₁ : <i>Oreochromis aureus</i> ♂ x <i>O. niloticus</i> ♀ de color perla.	14
6	Ejemplar de color rojo producto de la crucea terminal: (<i>Oreochromis aureus</i> x <i>O. niloticus</i>) ♂ x <i>O. mossambicus</i> ♀.	14
7	Ejemplar de color perla producto de la crucea terminal: (<i>Oreochromis aureus</i> x <i>O. niloticus</i>) ♂ x <i>O. mossambicus</i> ♀.	14
8	Ubicación de los grupos genéticos dentro del área de crianza.	16
9	Estanques de concreto utilizados para la reproducción.	17
10	Tanques de plástico utilizados para la fase de crianza.	17
11	Crecimiento de los seis grupos genéticos durante la fase de crianza.	26

12	Peso final de los seis grupos genéticos al término de la fase de crianza.	27
13	Conversión alimenticia de los seis grupos genéticos en la fase de crianza.	27
14	Valores porcentuales de sobrevivencia de los grupos genéticos al final de la fase de crianza.	28
15	Proporción de colores segregados en los seis grupos genéticos.	30
16	Representación de los colores encontrados en los diferentes grupos genéticos de este estudio: a) rojo (de la esquina superior izquierda a la inferior derecha: de mayor a menor porcentaje de pigmentación melánica), b) gris, c) plata y d) perla.	31
17	Oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante la fase de crianza.	53
18	Porcentaje de saturación de oxígeno durante la fase de crianza.	54
19	Temperatura del agua (°C) durante la fase de crianza.	55
20	Temperatura ambiental (°C) durante la fase de crianza.	56
21	Amonio (NH ₄) disuelto en el agua (mg/l) durante la fase de crianza. Nota: Los valores del estanque corresponden a los datos registrados en el sistema de recirculación del agua de los tanques de crianza formado por un estanque de tipo rústico de 120m ³ .	57
22	pH del agua durante la fase de crianza.	58
23	Transparencia del agua (cm) durante la fase de crianza. Nota: La transparencia del agua fue medida en el estanque de tipo rústico que funcionó como sistema de recirculación del agua de los tanques de crianza.	59

RESUMEN

JIMÉNEZ RAMÍREZ EDUARDO ALBERTO. Comportamiento productivo y heterosis retenida de la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus*) en la zona centro-norte del Estado de Veracruz (bajo la dirección de: Germán Muñoz Córdova, Mario Garduño Lugo y Pedro Ochoa Galván).

Se comparó, durante la fase de crianza, el comportamiento productivo de la primera generación de una línea sintética de tilapia cuya composición genética fue: *Oreochromis aureus* (25%), *O. niloticus* (25%) y *O. mossambicus* (50%), en dos variedades de color segregadas: 1.- rojo (ANM r) y 2.- perla (ANM p), con respecto a: 3.- El grupo genético producto de la cruce terminal de la cual provienen: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀ (ANxM); los grupos genéticos que dan origen a dicha cruce terminal: 4.- el híbrido F₁ *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀ (AxN) y 5.- la especie *O. mossambicus* (MxM) y 6.- la especie *O. niloticus* (NxN). 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 tanques de plástico de 750 litros cada uno, los cuales estuvieron bajo un mismo sistema de recirculación y aireación de agua. Se utilizaron tres tanques para cada grupo genético con una densidad de 100 peces por tanque. El período de evaluación fue de 152 días durante el cual se le proporcionó a los animales alimento comercial con 42.5% de proteína cruda. El peso inicial promedio de los peces varió entre 0.33 y 0.68 g. No se encontraron diferencias ($P>0.05$) en el PF para ANxM (21 g) y ANM r (20.2 g). Las especies *O. niloticus* y *O. mossambicus* presentaron el PF más bajo, 11.2 y 10.5 g, respectivamente. Todos los grupos presentaron un ICA entre 1.1 y 1.7, sin existir diferencia entre ellos ($P>0.05$). Todos los grupos híbridos y la especie: *O. niloticus* presentaron una sobrevivencia superior al 96%. La especie: *O. mossambicus* presentó la más baja sobrevivencia (86 %). La heterosis retenida observada para PF fue de 96.2 y 85.2%, para el ICA de 90.9 y 90.9% y para la sobrevivencia de 100.3 y 100.3% para ANM r y ANM p, respectivamente. Se concluye que la heterosis retenida en la línea sintética roja, en la etapa de crianza, le permitió mantener un desempeño productivo similar al grupo híbrido del cual proviene, por lo que se proyecta como nueva línea de interés para la tilapicultura.

1. INTRODUCCIÓN

La producción piscícola en México se basa en la captura y cultivo de diversas especies dentro de las que destacan las tilapias, las cuales ocupan el primer lugar en la producción pesquera epicontinental con alrededor de 80,000 toneladas anuales, representando una fuente importante de alimentos y empleos,¹ sin embargo, de ese volumen, menos del 1% son producto del cultivo en granjas,² el resto corresponde a la pesca en lagos, lagunas y ríos. Esto denota que en México ha habido un limitado crecimiento en el cultivo tecnificado de estos peces.³

Las tilapias son peces de origen africano de la familia cichlidae. A partir del año de 1964 se han introducido en México cinco especies de tilapia, todas ellas de la tribu tilapiini, estas son: *Oreochromis aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. urolepis hornorum* y *Tilapia rendalli*.⁴ Originalmente fueron introducidas en la presa Miguel Alemán en Temascal, Oaxaca; actualmente la distribución de estas tilapias comprende las zonas tropicales y subtropicales de la República Mexicana en donde se desarrollan cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos.⁵

A treinta y ocho años de su introducción a México, a pesar de sus buenos atributos alimenticios, y la factibilidad de integrarse en cultivos modernos para ser una actividad económica de importancia, su evolución ha sido mínima.⁶

Existen diversas razones por las cuales no se le ha otorgado la importancia debida a esta especie para su cultivo. Dentro de lo más importante es el desconocimiento de su manejo zootécnico y genético, causantes de producciones antieconómicas y desmotivación por invertir en este rubro.⁶

El manejo genético en los peces requiere prioritariamente de implementar programas de conservación y mejoramiento genético mediante sistemas de selección o hibridación.⁷

Actualmente la hibridación en peces ha tenido como objetivo principal producir nuevas variedades con fines de mejorar el rendimiento por unidad de superficie,⁵ sin embargo, en el caso del cultivo de tilapias, la hibridación tiene como principal objetivo producir progenies con un alto porcentaje de machos, ya que estos tienen un mayor crecimiento con respecto a las hembras.⁸

La hibridación en tilapias debe ser considerada como un recurso de mejora genética, ya que estos peces han mostrado su eficiencia en la mejora de rasgos productivos de interés

comercial, debido a efectos genéticos tales como la heterosis, habilidad combinatoria específica y efectos maternos.^{3,9,10,11}

Los sistemas de cruzamiento que buscan el aprovechamiento de la heterosis o vigor híbrido mediante el cruzamiento entre dos o más especies ofrecen ventajas productivas, sin embargo este tipo de sistemas llevan consigo una serie de necesidades, como: 1.- mantener dos o más especies dentro de la misma granja, 2.- más estanques e infraestructura y 3.- mayor trabajo zootécnico dentro de las explotaciones.¹² Esto hace que en ocasiones sea difícil implementar programas de mejoramiento genético de tilapias.

Existen otros programas basados en sistemas de cruzamiento que pueden ser más útiles en estas situaciones, tal es el caso de la formación de nuevas razas o poblaciones sintéticas,¹³⁻¹⁹ las cuales han demostrado su superioridad sobre los grupos genéticos progenitores en algunos rasgos productivos de interés comercial.²⁰⁻²⁴

El atractivo de las razas sintéticas se atribuye a los siguientes factores: retienen parte de la heterosis, se espera que la variabilidad genética se incremente en esa población²⁵ y se pueden mantener caracteres complementarios de varias especies dentro de una misma población.²⁶

Así, la creación de nuevas líneas sintéticas podría ofrecer la posibilidad de obtener en las explotaciones acuícolas comerciales una mayor productividad sin la modificación de los esquemas de producción utilizados en la producción de una especie de tilapia en particular.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desempeño productivo de las especies de tilapia introducidas a México

La capacidad de crecimiento es una de las características más importantes en la elección de una especie de tilapia a cultivar, sin embargo la mayoría de las comparaciones del crecimiento entre especies de estos cíclidos se han basado en observaciones en sus ambientes naturales.^{27,28} El desempeño productivo en sistemas de cultivo pueden ser muy diferentes, en función a: densidad de población, alimentación, calidad del agua, manejo y otros factores que afectan directamente el crecimiento de los peces.²⁷ Algunas características que también deben considerarse en la elección de la especie a cultivar son: su conversión alimenticia y sobrevivencia.²⁹

O. niloticus y *O. aureus* son las especies que presentan los mejores rasgos productivos dentro del grupo de las tilapias que se cultivan^{30,31,32} mientras que *O. mossambicus* se clasifica como una especie con rasgos zootécnicos no adecuados para su cultivo y su permanencia en la acuicultura se debe básicamente a la presencia de ejemplares rojos, lo que mejora el precio del producto en el mercado.³²

Con base en una comparación en el crecimiento de *O. aureus* y *O. mossambicus* bajo diferentes tipos de manejo, Bowman (1977)³³ determinó que la mejor especie a cultivar era *O. aureus* ya que produjo peces de mayor peso (87 a 194 g) en comparación con *O. mossambicus* (50 a 92 g).

Eguir *et al.* (1982)³⁴ realizaron estudios en estanques de concreto en donde encontraron un mejor crecimiento de *O. niloticus* (0.57 g/día) en comparación con *O. mossambicus* (0.45 g/día). También en estanques rústicos *O. niloticus* mostró superioridad (0.98 a 1.2 g/día) sobre *O. mossambicus* (0.64 a 0.84 g/día) y *Tilapia rendalli* (0.30 a 0.88 g/día).

Landa *et al.* (1994)³⁵ no encontraron diferencias en el peso final ni en la sobrevivencia entre *O. mossambicus* roja (45 g y 91.3%) y *O. niloticus* rosa (58.8 g y 95%) durante la fase de desarrollo, sin embargo en la etapa de engorda hasta talla de mercado *O. niloticus* fue superior en crecimiento (271.2 g y 1.03 g/día) a *O. mossambicus* (181.3 g y 0.98 g/día). Estos autores, encontraron una sobrevivencia de 100 y 95% en el mismo orden, y para la conversión alimenticia informaron que *O. mossambicus* fue menos eficiente (2.8) con respecto a *O. niloticus* (2.0). Sánchez *et al.* (1995)³⁶ realizaron esta misma comparación a escala comercial en la fase de desarrollo, *O. niloticus* obtuvo mayores ganancias de peso

(0.45 g/día) con respecto a *O. mossambicus* (0.34 g/día); reportaron también una mejor conversión alimenticia en la primera especie (0.98) con respecto a la segunda (1.27). La sobrevivencia fue de 96 y 90% en el mismo orden.

Los resultados obtenidos en las investigaciones citadas, sugieren que dentro del grupo de las tilapias, *O. niloticus* es una de las especies con mejor crecimiento en sistemas de cultivo, principalmente la de coloración gris, sin embargo las coloraciones diferentes a esta (rojo, naranja, rosa, blanco, etc.), a pesar de presentar rasgos productivos inferiores, siguen siendo de gran interés en las producciones comerciales debido a su mayor precio y mejor aceptación en el mercado.

2.2. Comportamiento productivo de híbridos de tilapia

Los cruzamientos entre diferentes especies han permitido reunir características productivas deseables de cada una de ellas en un mismo individuo conocido como híbrido.^{26,37,38} La ventaja en crecimiento de híbridos en el género *Oreochromis*, ha sido atribuida al efecto de vigor híbrido o heterosis,^{39,40} aunque existen autores que han cuestionado la importancia de dicho efecto.^{41,42}

La heterosis o vigor híbrido se define como un incremento en el desempeño productivo de los híbridos con respecto al promedio de los progenitores, que se observa con frecuencia en los cruzamientos entre razas, líneas consanguíneas o especies.^{26,37}

Wohlfarth *et al.* (1983)⁴³ compararon el crecimiento de los híbridos *O. mossambicus* ♂ x *O. hornorum* ♀ (MH), *O. niloticus* x *O. hornorum* (NH) y *O. niloticus* x *O. aureus* (NA). El crecimiento de NH fue mejor que NA y mostró marcada superioridad a MH, durante su primer año de crecimiento. Durante el segundo año de cultivo NA fue superior al resto de los híbridos. Los híbridos mostraron una sobrevivencia aceptable (>90%) con excepción de NH con solo el 30%, este híbrido mostró también la mas baja producción de crías.

Hulata *et al.* (1993)⁴⁴ sugirieron la utilización de *O. niloticus* y *O. aureus* en programas de hibridación comercial después de encontrar una buena tasa de crecimiento (1.31 ± 0.04 g/día) y sobrevivencia (79.5 ± 6.5 %) en la progenie de los híbridos de dichas especies. Los mismos autores evaluaron durante las fases de crianza y engorda, el crecimiento

* En lo sucesivo, para la representación de ejemplares híbridos se optará por mencionar primero al grupo genético correspondiente al padre y en segundo término al grupo genético de la madre.

de cuatro híbridos de tilapia: *O. niloticus* roja x *O. niloticus* gris, (NrN); *O. niloticus* roja x *O. aureus*, (NrA); *O. niloticus* gris x Tilapia filipina blanca, (NF) y *O. aureus* x Tilapia filipina blanca, (AF). El mejor crecimiento fue de NrN y AF. La coloración de los híbridos NrN fue de 100% rojos. La cruce NrA produjo 100% de machos y el total de las crías tuvo una coloración roja, sin embargo la poca producción de crías en dicha cruce sugirió a los autores que esa característica limita la producción a escala comercial de esos híbridos.⁴⁵

Siddiqui y Al-Harbi (1995)⁴⁶ compararon algunos rasgos productivos durante cuatro fases de crecimiento de las tilapias: *O. niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus*, el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* y la tilapia roja taiwanesa (*O. mossambicus* x *O. niloticus*). Encontraron que el peso final después de 392 días de cultivo fue más alto para la tilapia híbrida (327 g) en relación a *O. niloticus* (293 g), tilapia taiwanesa (264 g), *O. aureus* (234 g) y *O. mossambicus* (168 g). El rango de conversión alimenticia fue de 1.24 (*O. niloticus*) a 1.63 (Tilapia Taiwanesa), mientras que la sobrevivencia al término de las cuatro fases de crecimiento evaluadas fue de 80% (híbrido), 74% (*O. niloticus*), 72% (*O. aureus*), 61% (*O. mossambicus*) y 7% (Tilapia taiwanesa).

Macaranas *et al.* (1997)⁴⁷ compararon el crecimiento y sobrevivencia de *O. niloticus* línea de Ghana, *O. niloticus* línea egipcia, *O. mossambicus* y la tilapia roja taiwanesa (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) bajo dos sistemas de cultivo y en tres generaciones diferentes; sus resultados mostraron un mejor crecimiento y sobrevivencia en *O. niloticus* de línea egipcia en comparación con las otras tilapias.

Bentsen *et al.* (1998)¹² recomiendan la implementación de programas de cruzamiento con la utilización de líneas paternas y maternas especializadas para mejorar el desempeño productivo de la tilapia del Nilo.

En México, Delgadillo y Morales en 1976, realizaron las primeras cruces de tilapia, posteriormente en 1981 se continuaron estas cruces con el ingreso al país de nuevas especies.⁵

Muñoz y Garduño (1994)²⁸ evaluaron el crecimiento durante la fase de engorda de machos de *O. niloticus* gris, *O. mossambicus* roja y su híbrido (*O. mossambicus* x *O. niloticus*), en 153 días de cultivo. No encontraron diferencias de pesos finales entre el híbrido (276.4 g) y *O. niloticus* (239.6 g), ni entre este último con *O. mossambicus* (186.6 g), sin embargo hubo diferencias entre el híbrido y *O. mossambicus*; la sobrevivencia encontrada fue de 100, 90.6 y 87.5% en el híbrido, *O. niloticus* y *O. mossambicus* respectivamente.

Muñoz (2000)³ comparó algunos rasgos productivos de nueve grupos genéticos de tilapia producto de un cruzamiento dialélico completo de las especies: *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*, en donde los mejores pesos finales y coloraciones atractivas para fines de comercialización los encontró en los híbridos: *O. aureus* x *O. niloticus* (45.9g); *O. mossambicus* x *O. niloticus* (42.2g) y *O. niloticus* x *O. mossambicus* (38.1g).

Cohen (1995)⁴⁸ recomienda el mismo híbrido: *O. aureus* x *O. niloticus* para el mercado por su alta tasa de crecimiento, tamaño uniforme, forma y color plateado homogéneo y su resistencia a bajas temperaturas. El mismo autor habla de tilapias híbridas resistentes a altas salinidades que podrían ser utilizadas en policultivo con camarón.

Los trabajos antes mencionados muestran evidencias del mejoramiento en el desempeño productivo en tilapias mediante el uso de la hibridación, por lo que se hace evidente la necesidad de continuar con la investigación en este campo.

2.2.1. Cruzamientos terminales

El cruzamiento entre dos especies distintas produce genotipos con un 100% de heterocigosidad, lo que aumenta la posibilidad de que se manifiesten efectos positivos de vigor híbrido o heterosis.^{26,49,50} Este efecto se expresa mejor en las características de baja y moderada heredabilidad.^{51,52,53} Una forma de seguir explotando, en cruzamientos posteriores, los efectos benéficos de la heterosis es mediante los cruzamientos terminales de tres especies, en donde un híbrido F₁ producto de una cruce sencilla de "A" x "B" es cruzado con una tercera especie "C", teniendo como resultado un uso máximo de la heterosis, permitiendo así una complementariedad de características de las especies.⁵⁴

Los cruzamientos terminales se han utilizado principalmente en especies domésticas de gran fecundidad como aves y cerdos, y en menor grado en especies productoras de carne y leche en los que se ha mejorado su rendimiento.⁵⁵

Poco se ha hecho al respecto en especies acuícolas, sin embargo Cano *et al.* (2001)⁵⁴ compararon el comportamiento productivo de cuatro grupos genéticos producto de cruzamientos terminales de tres especies de tilapia (*O. aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus*) con respecto a los híbridos recomendados por Muñoz (2000).³ Los grupos utilizados fueron: *O. mossambicus* x (*O. aureus* x *O. niloticus*) (MxAN), (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus* (ANxM), *O. aureus* x (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) (AxMN) y (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) x *O. aureus* (MNxA), en donde los mejores resultados para

peso final se obtuvieron en los grupos MxAN (64.0 g) y ANxM (61.8g), seguidos por los híbridos *O. aureus* x *O. niloticus* (57.0 g) y *O. mossambicus* x *O. niloticus* (56.8 g). La conversión alimenticia en todos los grupos fue satisfactoria (<1.0) al igual que la sobrevivencia (97.9 a 100%).

Los cruzamientos terminales ofrecen una interesante opción como programa de mejoramiento genético en el cultivo de tilapias, sin embargo, un programa de mejoramiento genético diseñado para explotaciones productoras de tilapia, basado en cruzamientos terminales, requiere de infraestructura adicional a la necesaria para el cultivo de una sola especie, aunado al complicado manejo zootécnico, principalmente reproductivo.¹² Esto hace impráctico la implementación de estos programas en las empresas piscícolas, sin embargo existen otras opciones que pudiesen ser más viables y útiles, tal es el caso de la creación de nuevas razas o poblaciones sintéticas.¹³⁻¹⁹

2.3. Razas sintéticas y heterosis retenida

Una raza o población sintética, también conocida como raza o población compuesta, es una raza obtenida a partir de dos o más de éstas y que ha sido diseñada con el objetivo de hacer uso del vigor híbrido sin tener que realizar cruzamientos con otras razas.²⁶

Desde un punto de vista genético, las razas sintéticas presentan las siguientes ventajas: a) aumento de la variabilidad genética, sobre todo en aquellas poblaciones que hayan sido muy seleccionadas, b) retienen parte de la heterosis presente en uno o ambos grupos genéticos que dan origen a la población sintética y c) se mantienen caracteres de varias especies dentro de una misma población.^{25,26} Desde un punto de vista zootécnico, la principal ventaja consiste en que la población sintética no requiere de un manejo diferente al necesario para la explotación de cualquier grupo genético puro.

Bourdon (1997)²⁶ define la heterosis retenida como el vigor híbrido remanente en generaciones subsecuentes a la del primer cruzamiento (F_1), y será mayor cuanto mayor sea el número de razas involucradas en el genotipo de la nueva, es decir, la heterosis esta íntimamente ligada a la heterocigosidad existente dentro de un grupo genético, por lo que la heterosis retenida estará en función de la heterocigosidad presente en un determinado cruzamiento.

La creación de nuevas razas o poblaciones sintéticas ha sido mayormente implementada en especies domésticas tradicionales como bovinos y porcinos, principalmente

en aquellas razas dedicadas a la producción de carne,^{22,24,56-71} sin embargo no dejan de ser comunes en el ganado ovino,^{20,23,72-78} y en menor medida en especies no tradicionales como los conejos^{79,80,81} e incluso en especies de gran fecundidad como las aves.^{82,83}

Los resultados han sido satisfactorios en la mayoría de los casos reportados, sin embargo existen evidencias de lo contrario.^{79,80,84,85} Estos trabajos muestran las ventajas que pueden ofrecer las razas sintéticas a la producción pecuaria mundial.

En el ámbito acuícola McKay y McMillan (1997)⁸⁶ utilizaron una línea sintética de trucha arcoiris dentro de un programa de cruzamientos con el objetivo de desarrollar una línea de rápido crecimiento y de desove primaveral y encontraron ligeros rasgos de heterosis para la tasa de crecimiento.

Adepo-Gourene *et al.* (1997)²⁵ trabajaron con once poblaciones de *Chrysichthys nigrodofitatus* buscando diferenciarlas morfológica y genéticamente y recomiendan el cruzamiento entre diferentes poblaciones para la obtención de nuevas poblaciones sintéticas.

Así, en especies acuícolas es poco lo que se ha hecho a pesar del potencial atractivo y promisorio existente, principalmente la gran cantidad de material genético disponible y los sistemas de producción predominantes en las regiones tropicales. Sin embargo, en las explotaciones piscícolas, las razas sintéticas podrían ser de gran interés al permitir ofrecer productos de gran calidad mediante el aprovechamiento de las ventajas de un programa de cruzamientos sin necesidad de invertir tiempo y dinero en infraestructura y especialización de mano de obra.

3. OBJETIVO GENERAL

Comparar los rasgos productivos: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia, durante la fase de crianza, de la primera generación de una línea sintética compuesta de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus*) con respecto a los grupos genéticos que le dan origen, así como determinar la heterosis retenida para dichos rasgos.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia para machos y hembras en conjunto de la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus*) y de los grupos genéticos que le dan origen: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*, *O. aureus* x *O. niloticus* y *O. mossambicus*.
- Determinar el porcentaje de heterosis retenida sobre los rasgos: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia, en la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus*) a partir del valor de heterosis obtenido del grupo genético que le da origen: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*.
- Determinar la proporción de los diferentes patrones de coloración obtenidos en la primera generación de una línea sintética de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus*) y de los grupos genéticos que le dan origen: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*, *O. aureus* x *O. niloticus* y *O. mossambicus*.

5. HIPÓTESIS

La primera generación de la línea sintética de tilapia cuya composición genética es: *Oreochromis aureus* (25%), *O. niloticus* (25%) y *O. mossambicus* (50%) presenta una heterosis retenida que influye favorablemente en los rasgos productivos: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia durante la etapa de crianza con respecto a las especies que le dan origen.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Localización del área de estudio

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 de la Universidad Nacional Autónoma de México (Fig. 1), 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 SNM. La temperatura y la precipitación anual promedio son de 23.4 °C y 1991 mm respectivamente. El clima es Af(m)w"(e), cálido húmedo con lluvias todo el año, sin estación seca definida.⁸⁷ La temperatura media es mayor de 18 °C durante todos los meses del año. Abril, junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre son meses muy húmedos ya que su precipitación es de 69.1 mm y los tres meses menos húmedos son enero a marzo con una precipitación de 14.7 mm. La oscilación térmica diaria puede ser entre 7 y 14 °C.⁸⁸



Figura 1.- Localización del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la FMVZ-UNAM.

6.2. Grupos genéticos utilizados en el estudio

Se utilizaron como reproductores de los grupos genéticos: quince ejemplares de *Oreochromis aureus* de color plata (línea "Rocky Mountain White") (Fig. 2), cuarenta y cinco ejemplares de *O. niloticus* de color rosa (línea Stirling) (Fig. 3), cuarenta y cinco ejemplares de *O. mossambicus* de color rojo (Fig. 4), quince ejemplares de color perla del híbrido F₁: *O. aureus* x *O. niloticus* (Fig. 5), treinta ejemplares de color rojo del híbrido producto de la cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus* (Fig. 6) y treinta ejemplares de color perla del híbrido producto de la misma cruce terminal (Fig. 7).

Todos los ejemplares se obtuvieron de los lotes de reproductores del módulo de producción acuícola del CEIEGT-FMVZ-UNAM. El peso promedio de los reproductores de acuerdo al sexo y grupo genético se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Peso promedio (g) de los reproductores utilizados en el sistema de cruzamiento.

Grupo genético	Machos	Hembras
A	493.3	**
N	458.3	314.2
M	266.6	243.6
AN	646.6	**
(AN)M r	620.0	386.6
(AN)M p	613.3	353.3

A = Especie: *Oreochromis aureus*; N = Especie: *O. niloticus*; M = Especie: *O. mossambicus*; AN = Híbrido F₁: *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀; (AN)M r = Híbrido de cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀, de color rojo; (AN)M p = Híbrido de cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀, de color perla.

** En el esquema de cruzamientos no se utilizaron hembras de estas especies.

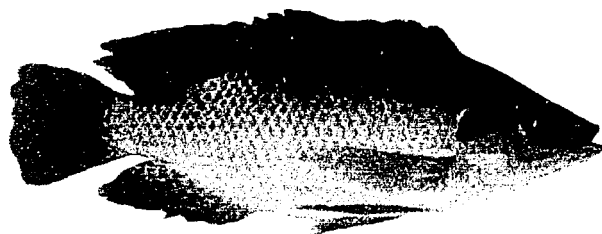


Figura 2.- Ejemplar de *Oreochromis aureus* de color plata (línea Rocky Mountain White).

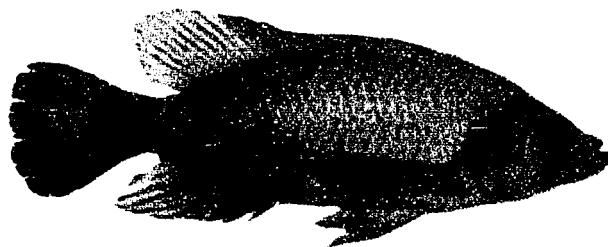


Figura 3.- Ejemplar de *Oreochromis niloticus* de color rosa (línea Stirling).

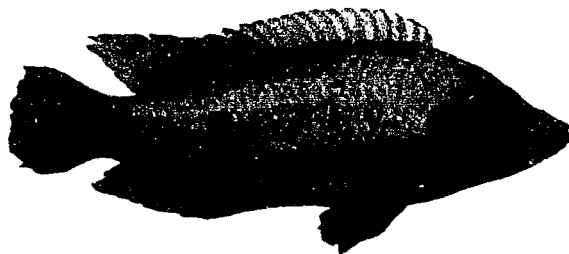


Figura 4.- Ejemplar de *Oreochromis mossambicus* de color rojo.

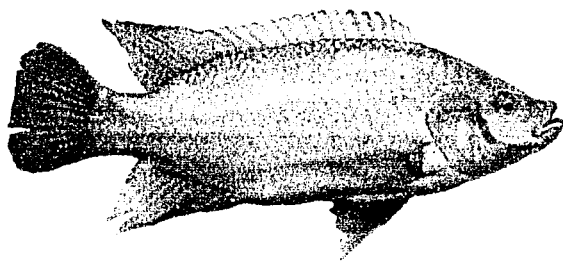


Figura 5.- Ejemplar híbrido F₁: *Oreochromis aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀
de color perla.



Figura 6.- Ejemplar de color rojo producto de la crucea terminal:
(*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀.

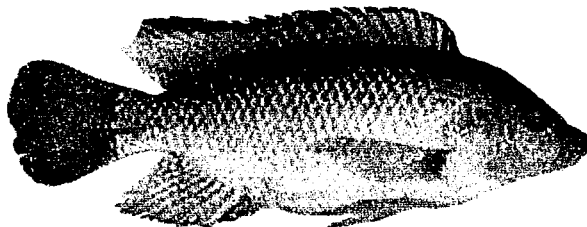


Figura 7.- Ejemplar de color perla producto de la crucea terminal:
(*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀.

6.3. Cruzamientos

El cuadro 2 muestra el esquema de cruzamientos empleado en este estudio. Se realizó un cruzamiento *Inter se*³ del grupo genético producto de un cruzamiento terminal de tres especies de tilapia que mostró los mejores rasgos productivos en un estudio realizado por Cano *et al.* (2001).⁵⁴ Dicho grupo corresponde al cruzamiento: (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*, esta cruce generó la primera generación de la línea sintética de tilapia. En este caso se realizó por separado el cruzamiento entre peces de color rojo de los peces de color perla, ya que estos fueron los dos colores segregados en la misma proporción en el trabajo de Cano *et al.* (2001).⁵⁴

Con el objeto de comparar los rasgos productivos de la primera generación de la línea sintética de tilapia se realizaron cuatro cruzamientos adicionales:

- El cruzamiento terminal del cual deriva la línea sintética: (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*
- Los dos cruzamientos que dan origen a los grupos genéticos que forman parte del cruzamiento terminal: *O. aureus* x *O. niloticus*, *O. mossambicus* x *O. mossambicus* y
- Un cruzamiento control de *O. niloticus* x *O. niloticus* color rosa, especie que se encuentra ampliamente difundida por presentar los mejores parámetros productivos dentro de las especies de tilapias rojas.³

A finales del mes de junio del año 2001 se seleccionaron machos y hembras de cada grupo genético que estuvieran por arriba de los 200 g y se mantuvieron separados por sexos en estanques de concreto de 4 x 5 m con 0.6 m de profundidad en las instalaciones del CEIEGT por un periodo de acondicionamiento de 15 días. La reproducción se realizó en estos mismos estanques en donde el 12 de julio se colocaron 15 machos y 15 hembras por estanque para la obtención de cada grupo genético (Fig. 9).

Los reproductores se mantuvieron en los estanques de reproducción durante los siguientes dos meses. Las crías fueron retiradas de los estanques conforme se fueron observando y se colocaron en tanques de plástico de 750 l ubicados en el área de crianza, separadas por talla, con el propósito de evitar el canibalismo. Las crías se mantuvieron ahí hasta que alcanzaron una talla y peso adecuados para el inicio del experimento (Cuadro 3).

³ El término *Inter se*, se refiere al cruzamiento entre animales machos de un determinado grupo genético con animales hembras del mismo grupo genético.

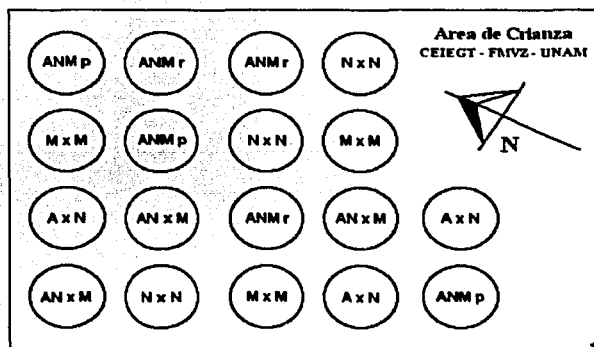
Cuadro 2.- Cruzamientos utilizados en el estudio.

Machos	Hembras	Progenie	Denominación de la progenie
(AN)M r	(AN)M r	ANMr (¼A ¼N ½M)	Línea sintética roja
(AN)M p	(AN)M p	ANMp (¼A ¼N ½M)	Línea sintética perla
AN	M	ANxM (¼A ¼N ½M)	Híbrido de cruce terminal
A	N	AxN (½A ½N)	Híbrido F ₁
M	M	MxM (<i>O. mossambicus</i>)	Especie
N	N	NxN (<i>O. niloticus</i>)	Especie

(AN)M r = Híbrido de cruce terminal: (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀, de color rojo; (AN)M p = Híbrido de cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀, de color perla; AN = Híbrido F₁: *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀ de color perla; M = Especie: *O. mossambicus* de color rojo; A = Especie: *O. aureus* de color plata; N = Especie: *O. niloticus* de color rosa.

6.4. Etapa de crianza

El 9 de octubre del 2001 se realizó el conteo total de todas las crías para cada uno de los grupos genéticos. Se tomó una muestra aleatoria de 300 crías de cada grupo y se utilizaron tanques circulares de plástico de 750 l de capacidad en donde se colocaron 100 crías por tanque, de tal forma que se tuvieron tres repeticiones por cada grupo genético, dando un total de 18 tanques (Fig. 10). La ubicación de cada repetición dentro del área de crianza fue al azar y se observa en la figura 8.



ANM = (Línea sintética): [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♂ x [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♀; AN x M = (Cruce terminal) (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀; A x N = (Híbrido F₁): *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀; M x M = (Especie): *O. mossambicus*; N x N = (Especie) *O. niloticus*.

Figura 8.- Ubicación de los grupos genéticos dentro del área de crianza.

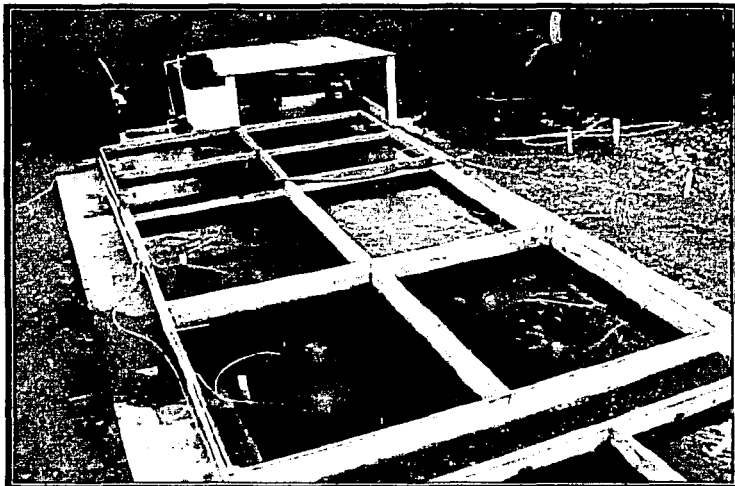


Figura 9.- Estanques de concreto utilizados para la reproducción.

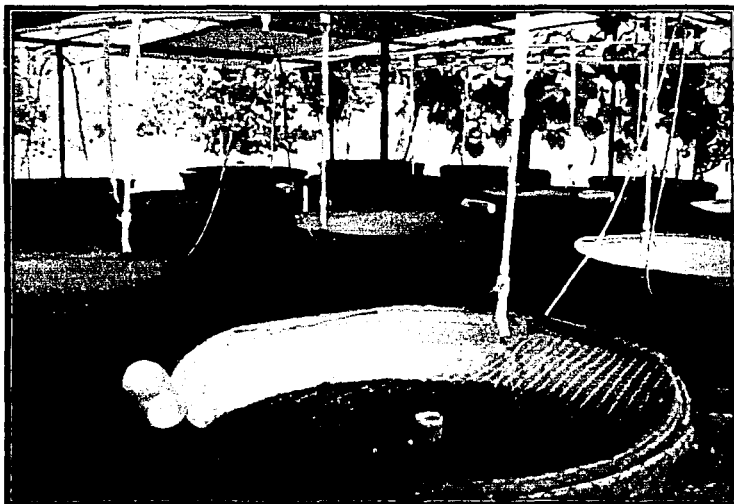


Figura 10.- Tanques de plástico utilizados para la fase de crianza

La biometría inicial consistió en la medición del peso y talla de cada grupo genético para lo cual se pesaron en conjunto todas las crías de cada uno de los tanques. Con el objeto de estimar el promedio y desviación estándar de talla y peso de los peces de cada tanque se tomo una muestra al azar de 20 animales de cada uno para ser pesados y medidos individualmente. La talla y peso iniciales de cada grupo genético se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Peso y talla promedio inicial de las crías por grupo genético.

Grupo Genético	Peso (g) ± D.E.	Talla (mm) ± D.E.
ANM rojo	0.68 ± 0.42	26.6 ± 5.6
ANM perla	0.33 ± 0.14	20.9 ± 3.0
ANxM	0.49 ± 0.18	24.7 ± 3.2
AxN	0.59 ± 0.31	26.9 ± 5.2
MxM	0.34 ± 0.19	25.3 ± 5.1
NxN	0.34 ± 0.13	20.6 ± 2.5

ANM = Línea sintética: [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♂ x [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♀;
 ANxM = Cruza terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀; AxN = Híbrido F₁: *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀;
 MxM = Especie: *O. mossambicus*; NxN = Especie *O. niloticus*. D.E. = Desviación Estándar.

Con la finalidad de registrar el ritmo de crecimiento de los peces se tomó quincenalmente el peso en conjunto de 20 peces capturados al azar por tanque.

Los tanques se encontraron bajo el mismo sistema de recirculación de agua y con aireación continua mediante un aireador de turbina de 1 HP, de tal manera que las condiciones hidrológicas fueron las mismas en todos ellos.

El tiempo de desarrollo de los peces en estas instalaciones fue de 152 días durante los cuales se utilizó un alimento comercial con 42.6% de proteína cruda (PC), según lo recomendado por Olvera y Olivera (1996).⁸⁹ Se realizó una evaluación químico proximal del alimento suministrado (Cuadro 4). La estimación de la composición química se determinó por medio de las siguientes técnicas: humedad por deshidratación en una estufa para laboratorio a 105°C, por 24 h; proteína por el método de Kjendahl (N x 6.25) mediante un autoanalizador Tekator 1030; extracto etéreo por el método de Soxlet; fibra cruda por medio de la técnica ácida-alcalina con un equipo Fibretec Tekator y el contenido de ceniza mediante calcinación en una mufla a 450°C. Los análisis se basaron en las técnicas estándar de la AOAC (1984).⁹⁰

Al final del experimento se efectuó el vaciado total de los tanques y se procedió a un conteo total de los peces, así como a su último análisis biométrico, el cual consistió en el pesaje en conjunto de todas las crías de cada uno de los tanques, además se tomó una muestra al azar de 20 animales de cada tanque para ser pesados y medidos individualmente. Paralelamente se estimó el porcentaje de las distintas coloraciones segregadas en cada uno de los grupos.

Cuadro 4.- Composición químico proximal del alimento suministrado durante el periodo de adaptación y crianza.

Componente	Porcentaje (base húmeda)
Materia seca	91.0
Humedad	9.0
Proteína cruda	42.6
Grasa	10.3
Fibra cruda	3.53
Cenizas	9.98
E.L.N.*	24.7

* E.L.N. = $100 - (\% \text{ de humedad} + \% \text{ de proteína cruda} + \% \text{ de grasa} + \% \text{ de fibra cruda} + \% \text{ de cenizas})$.

6.5. Control y medición de la calidad del agua

Se midieron las principales variables fisicoquímicas del agua de todos los tanques de plástico a las 8:00 AM y 2:00 PM con la frecuencia y método o instrumento correspondiente, como se muestra en el cuadro 5.

Como rutina general del sistema de recirculación, se llevó a cabo el aseo de los tanques de plástico mediante cepillado y enjuagado para remover desechos orgánicos. En la octava semana del estudio la concentración de amonio (NH_4) subió a más de 0.4 mg/l por lo que se efectuó el recambio total del agua del sistema.

Cuadro 5.- Frecuencia y método o instrumento con que se llevó a cabo la medición de algunas variables fisicoquímicas del agua.

Variable	Frecuencia	Método y/o instrumento
Temperatura (°C)	Diario	Termómetro digital (YSI 55)
Oxígeno disuelto (mg/l)	Diario	Oxímetro digital portátil (YSI 55)
Amonio NH ₄ (mg/l)	Semanal	Kit colorimétrico basado en la reacción de Nessler (Aquaquant® NH ₄ , Merck)
pH	Semanal	Tiras reactivas (Neutralit® pH, Merck)
Transparencia (cm)	Semanal	Disco de Secchi
Temperatura ambiente (°C)	Diario	Termómetro de mercurio

6.6. Determinación de rasgos productivos

Los rasgos productivos que se evaluaron: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia, fueron determinados considerando la población total de crías de cada grupo genético. No se realizó la evaluación por sexos debido a que el peso y talla de los animales al término del estudio no permitió el sexado sin el sacrificio de los mismos. Los registros de tallas se consideraron como un rasgo secundario y no se sometió a análisis estadístico ya que las características que influyen directamente sobre los aspectos económicos son los rasgos que incluyen el peso corporal de los peces, por lo tanto, de las tallas solo se realizó un análisis descriptivo.

La determinación de la conversión alimenticia y sobrevivencia se realizaron con las siguientes fórmulas:

6.6.1. Índice de conversión alimenticia (ICA)

Es el alimento utilizado para producir una unidad de peso en un grupo genético,⁹¹ y se expresa:

$$ICA = A_C / P_G$$

En donde:

ICA = Índice de conversión alimenticia.

A_C = Alimento consumido en base.

P_G = Peso ganado.

6.6.2. Supervivencia

Estima el porcentaje de peces que vivieron al final del experimento.⁹¹

$$S = 100 (N_f / N_i)$$

En donde:

S = Supervivencia.

N_f = Número de peces al finalizar el experimento.

N_i = Número inicial de peces.

100 = Constante para expresar el resultado en porcentaje.

Dado que se considera que esta característica no tiene una distribución normal, se realizó la transformación arcoseno para su análisis estadístico.⁹²

6.7. Análisis estadístico de los rasgos productivos

En este estudio se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los rasgos: índice de conversión alimenticia y supervivencia se analizaron bajo el modelo:

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

En donde:

Y_{ij} = valor fenotípico (índice de conversión alimenticia o supervivencia) 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, σ).

La prueba de comparación múltiple de medias se realizó mediante el procedimiento de Tukey.⁹³ El análisis de varianza se efectuó con el procedimiento de ANDEVA (Análisis de Varianza) del programa estadístico SAS (sistema de análisis estadístico, por sus siglas en inglés) para microcomputadora.⁹⁴

Se realizó un análisis de covarianza para el análisis del peso final, donde se incluyó como covariable el peso inicial. Para este caso se utilizó el modelo:

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

En donde:

Y_{ij} = valor fenotípico (peso final) 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.

X_{ij} = covariable (peso inicial) observado del grupo genético (j) en la unidad experimental (i).

γ = coeficiente de regresión lineal para peso inicial.

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

La comparación múltiple de medias y el análisis de covarianza, para el rasgo peso final, se efectuó con el procedimiento GLM (modelos lineales generalizados, por sus siglas en inglés) del programa estadístico SAS para microcomputadora.⁹⁴

6.8. Determinación de la heterosis retenida esperada

Según Bourdon (1997)²⁶ la heterosis retenida esperada está dada por la expresión:

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

En donde:

HR = Heterosis retenida esperada.

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

n = Número total de especies involucradas.

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 tal manera que los valores de heterosis retenida observados fueron calculados tomando como base que el híbrido producto de la cruza terminal presentó el 100% de heterocigosidad, lo que sugiere una manifestación del 100% de heterosis retenida. El valor de heterosis retenida esperada para esos rasgos y en ambas líneas sintéticas fue del 62.5%.

7. RESULTADOS

7.1. Características fisicoquímicas del agua

Los promedios, desviaciones estándar, valores máximos y mínimos de las características fisicoquímicas del agua de los tanques de crianza se presentan en el cuadro 6.

El pH y oxígeno disuelto se encontraron dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia⁹⁵⁻⁹⁶ (Fig. 17, 18 y 22 en la sección de anexos), sin embargo la temperatura se mantuvo cercana al límite inferior, e incluso por debajo de este en la mayor parte del estudio, ya que la temperatura ambiental se mantuvo baja en esos días debido a que los meses en que se realizó el trabajo correspondieron a la época de invierno (Fig. 19 y 20 en la sección de anexos). El amonio y la transparencia se encontraron por arriba del rango óptimo, esto se atribuye al gran número de días nublados a lo largo del estudio, lo que dificultó la proliferación del fitoplancton, mismo que se encuentra correlacionado negativamente con ambas variables⁹⁷ (Fig. 21 y 23 en la sección de anexos). Según Lighter *et al.* (1988),⁹⁸ es común encontrar niveles elevados de nitrógeno amoniacal en sistemas de recirculación; no obstante, debido al cambio total de agua del sistema a la mitad del estudio, los niveles de amonio no llegaron a niveles peligrosos para los peces.

Cuadro 6.- Características fisicoquímicas del agua durante la fase de crianza.

Variable	Promedio ± D.E.	Valor máximo	Valor mínimo	Valor óptimo *
Temperatura (°C)	22.4 ± 2.6	27.7	17.4	25 - 29
Oxígeno disuelto (mg/l)	7.83 ± 0.56	9.03	6.45	> 5
Amonio NH ₄ (mg/l)	0.2 ± 0.11	0.4	0.03	< 0.1
pH	6.8 ± 0.29	7.0	6.3	6.5 - 9
Transparencia (cm)	103 ± 45	150	49	35 - 45
Temperatura ambiente (°C)	21.6 ± 3.2	31.0	13.7	-----

D.E. = Desviación estándar. * Tomado de Balarin y Hatton (1979)⁹⁵ y Arredondo y Lozano (1996).⁹⁶

7.2. Rasgos productivos

En el cuadro 7 se muestran los resultados de los rasgos productivos: peso final, índice de conversión alimenticia y sobrevivencia, de los seis grupos genéticos.

Cuadro 7.- Rasgos productivos de los seis grupos genéticos para las características peso y talla inicial y final, conversión alimenticia y sobrevivencia.

Variable	Grupo genético					
	ANxM	ANM rojo	ANM perla	AxN	NxN	MxM
Peso inicial (g)	0.49 ^{ab}	0.68 ^a	0.33 ^b	0.59 ^a	0.34 ^b	0.34 ^b
± D.E.	± 0.18	± 0.42	± 0.14	± 0.31	± 0.13	± 0.19
Peso final (g)	21.0 ^a	20.2 ^a	17.9 ^b	15.2 ^b	11.2 ^c	10.5 ^c
± D.E.	± 10.3	± 10.1	± 9.7	± 10.6	± 6.9	± 9.1
Talla inicial (cm)	2.5	2.7	2.1	2.7	2.1	2.5
± D.E.	± 0.3	± 0.6	± 0.3	± 0.5	± 0.3	± 0.5
Talla final (cm)	10.3	10.6	10.0	10.7	8.7	8.1
± D.E.	± 1.6	± 1.7	± 1.7	± 2.0	± 1.6	± 2.0
ICA	1.1 ^a	1.2 ^a	1.2 ^a	1.1 ^a	1.4 ^a	1.7 ^a
± D.E.	± 0.06	± 0.04	± 0.05	± 0.06	± 0.02	± 0.62
Sobrevivencia (%)	99.0 ^a	99.3 ^a	99.3 ^a	96.3 ^{ab}	98.7 ^a	86.0 ^b
± D.E.	± 5.7	± 3.3	± 4.7	± 2.4	± 4.7	± 7.7

Médias con el mismo superíndice no son diferentes ($P > 0.05$). ANM = Línea sintética: [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♂ x [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♀; ANxM = Cruza terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀; AxN = Híbrido F₁: *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀; MxM = Especie: *O. mossambicus*; NxN = Especie: *O. niloticus*. D.E. = Desviación estándar.

El análisis de covarianza indicó que el peso inicial influyó en el peso final ($P \leq 0.01$). El mayor PF se observó en ANxM (21.0 g), seguido del grupo ANMr (20.2 g), los cuales fueron similares ($P > 0.05$), ambos superiores en PF con respecto a los otros cuatro grupos genéticos ($P \leq 0.05$). El peso final más bajo se observó en NxN (11.2 g) y MxM (10.5), los cuales fueron similares entre sí ($P > 0.05$). El PF de ANMp (19.3 g) fue inferior a ANxM y ANMr ($P \leq 0.05$) pero fue similar al grupo AxN (15.2 g) ($P > 0.05$).

Todos los grupos presentaron índices de conversión alimenticia entre 1.1 y 1.7 sin existir diferencia entre ellos ($P > 0.05$). El grupo que presentó la sobrevivencia más baja fue MxM (86 %) la cual no fue diferente a AxN (96.3 %) ($P > 0.05$), pero si al resto de los grupos genéticos ($P \leq 0.05$).

En la figura 11 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 un período de menor crecimiento a la mitad del mismo, dicha situación correspondió a los días en que se registraron los valores de temperatura del agua más bajos.

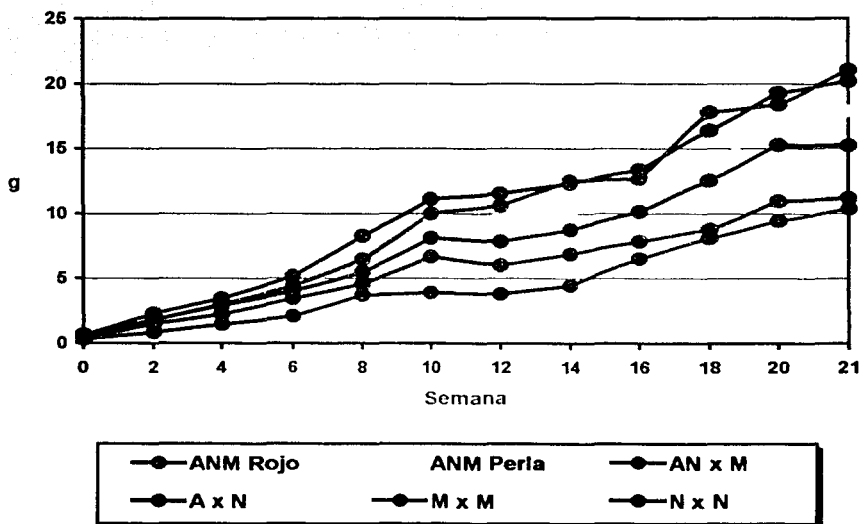


Figura 11.- Crecimiento de los seis grupos genéticos durante la fase de crianza.

La figura 12 muestra el peso final promedio en gramos de los seis grupos genéticos, donde se observa la superioridad de los grupos híbridos con respecto a las especies puras.

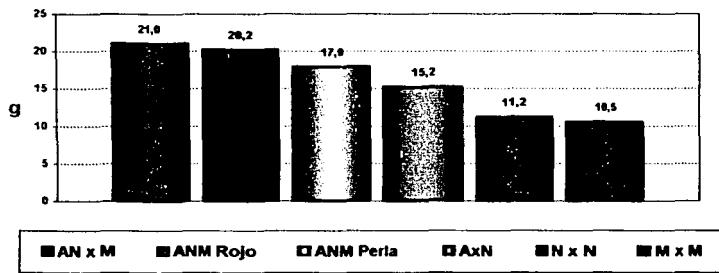


Figura 12.- Peso final de los seis grupos genéticos al término de la fase de crianza.

La figura 13 muestra la conversión alimenticia presentada en cada uno de los grupos genéticos en donde se observa que todos presentaron valores que van de 1.1 a 1.7, lo que denota una buena transformación del alimento suministrado a peso vivo.

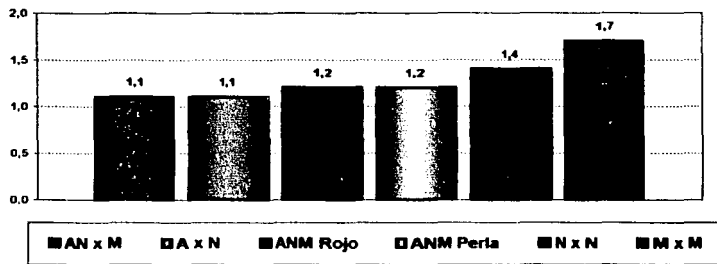


Figura 13.- Conversión alimenticia de los seis grupos genéticos en la fase de crianza.

La figura 14 muestra la sobrevivencia de los 6 grupos genéticos al final de la fase de crianza, en donde puede observarse que la especie *O. mossambicus* fue la única que presentó una mortalidad mayor al 13%.

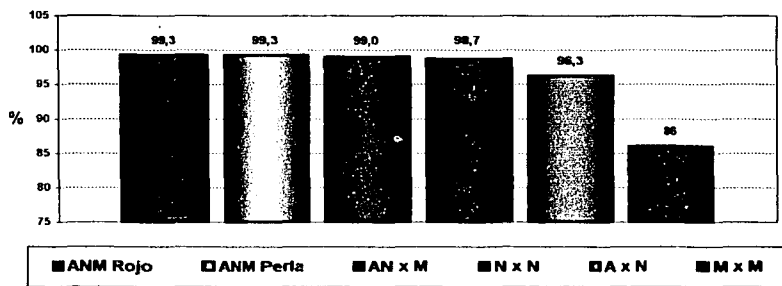


Figura 14.- Valores porcentuales de sobrevivencia de los grupos genéticos al final de la fase de crianza.

7.3. Heterosis retenida

El cuadro 8 muestra los valores de heterosis retenida observados en las dos líneas sintéticas para los rasgos peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia.

Cuadro 8.- Valores porcentuales de heterosis retenida observados en las dos líneas sintéticas.

Valores porcentuales de heterosis retenida			
	Peso Final	Conversión alimenticia	Sobrevivencia
ANxM	100.0	100.0	100.0
ANM rojo	96.2	90.9	100.3
ANM perla	85.2	90.9	100.3

ANxM = Cruza terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀; ANM = Línea sintética: [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♂ x [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♀. El porcentaje de heterosis retenida esperada fue de 62.5% para cada rasgo y en ambas líneas según los cálculos obtenidos mediante la fórmula de Bourdon (1997)²⁶.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

7.4. Segregación de colores

En el cuadro 9 y la figura 15 se muestra la segregación de colores que resultó de cada uno de los cruzamientos.

Las coloraciones en los reproductores utilizados en el estudio fueron: a) rojo, en la especie *O. mossambicus* y en los de cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*, que dieron origen a la línea sintética roja; b) rosa, en la especie: *O. niloticus*; c) plata, en la especie: *O. aureus* y d) perla, en los híbridos F₁: *O. aureus* x *O. niloticus* y en los ejemplares de la cruce terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*, que dieron origen a la línea sintética perla.

En la figura 16 se presentan las distintas tonalidades consideradas dentro de cada una de las coloraciones.

Cuadro 9.- Proporción de colores segregados en los seis grupos genéticos.

Grupos genéticos	Porcentaje de coloración			
	Rojo	Gris	Plata	Perla
ANM rojo	100	-	-	-
ANM perla	18.7	2.6	5.9	72.8
ANxM	56.7	-	-	43.3
AxN	46.7	-	-	53.3
NxN	100	-	-	-
MxM	100	-	-	-

ANM = Línea sintética: [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♂ x [(*O. aureus* x *O. niloticus*) x *O. mossambicus*] ♀; ANxM = Cruza terminal: (*O. aureus* x *O. niloticus*) ♂ x *O. mossambicus* ♀; AxN = Híbrido F₁: *O. aureus* ♂ x *O. niloticus* ♀, MxM = Especie: *O. mossambicus*, NxN = Especie: *O. niloticus*.

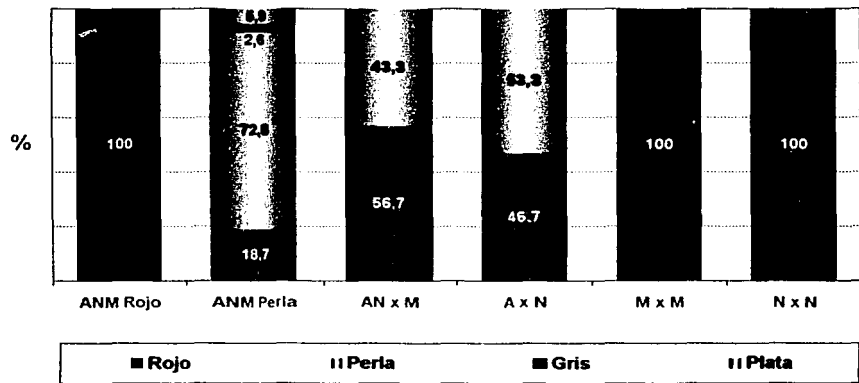


Figura 15.- Proporción de colores segregados en los seis grupos genéticos.

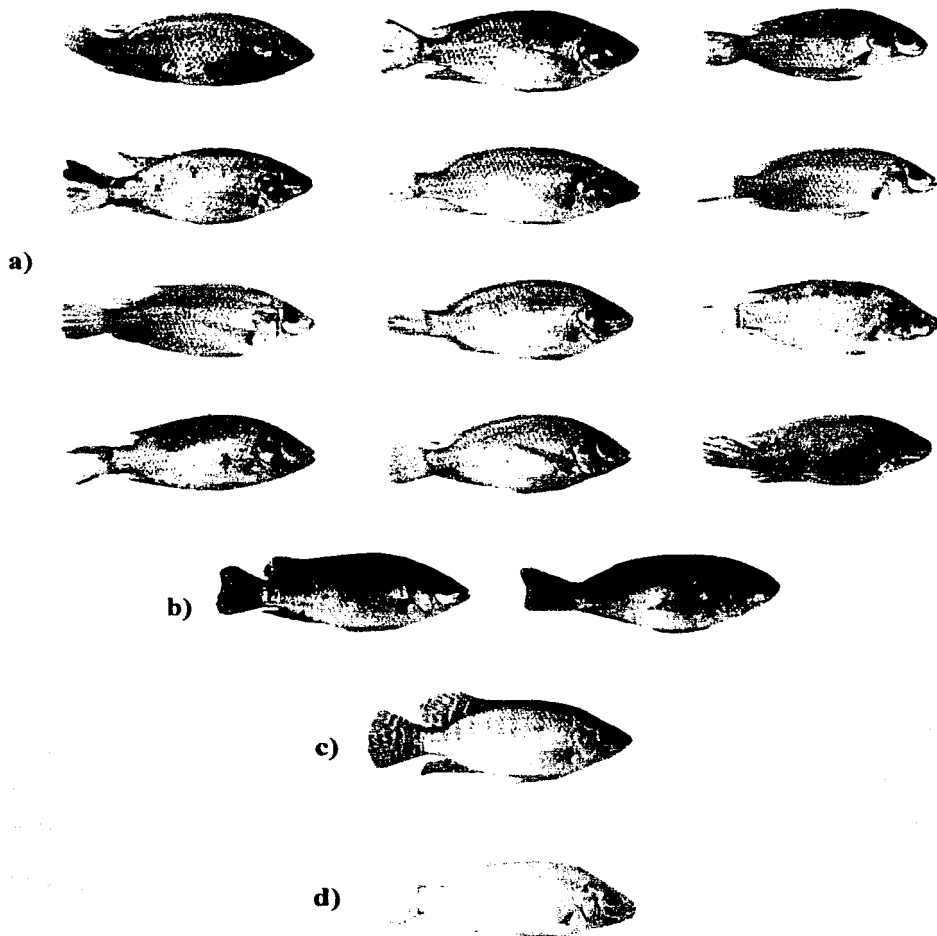


Figura 16.- Representación de los colores encontrados en los diferentes grupos genéticos de este estudio: a) rojo (de la esquina superior izquierda a la inferior derecha: de mayor a menor porcentaje de pigmentación melánica), b) gris, c) plata y d) perla.

8. DISCUSIÓN

8.1. Rasgos productivos

Peso final. NxN presentó un crecimiento similar a MxM. Estos resultados difieren con lo informado en la literatura en donde mayormente se indica una superioridad en crecimiento de *O. niloticus* sobre *O. mossambicus* la cual se considera como una especie de bajo crecimiento y poco apropiada para cultivos comerciales.^{33-36,46,47,99} *O. mossambicus* en acuicultura comercial solo se justifica por la coloración atractiva de ejemplares rojos obtenidos mediante selección genética³² y por su resistencia a altas salinidades, incluso en agua de mar.²⁷

El híbrido F₁: AxN presentó un mejor crecimiento con respecto a las especies puras: NxN y MxM, lo cual coincide con lo reportado por Muñoz (2000)³ quien encontró que el híbrido *O. aureus* x *O. niloticus* presentó mayor peso final (50.6g) que *O. niloticus* (37.0g) y *O. mossambicus* (40.3g). Resultados similares fueron reportados por Cano *et al.* (2001)⁵⁴ en donde el mismo híbrido AxN presentó mayores ganancias de peso y peso final (57.0g) con respecto a *O. niloticus* (44.4g). La ventaja en crecimiento de híbridos en el género *Oreochromis*, ha sido atribuida al efecto de vigor híbrido o heterosis^{3,39,40} por lo que se le atribuye a este efecto el mejor desempeño presentado por el híbrido F₁ sobre las especies puras.

El híbrido de cruce terminal: ANxM presentó mayor peso final que el híbrido F₁: AxN, este resultado coincide con lo encontrado por Cano *et al.* (2001)⁵⁴ quienes reportaron un mayor peso final (61.8g) del híbrido producto de la misma cruce terminal con respecto al mismo híbrido F₁ (57.0g). Dicha ventaja puede ser explicada por el cien por ciento de heterocigosidad mantenida en la cruce terminal, lo que favoreció al máximo el aprovechamiento del vigor híbrido o heterosis en dicha cruce.

Estos resultados sugieren una participación importante del efecto genético de dominancia en el crecimiento de los grupos genéticos híbridos, por lo que se recomienda seguir realizando trabajos de hibridación que pretendan mejorar dicho rasgo en los diferentes grupos genéticos de tilapia y no enfocarlos únicamente a la obtención de progenies con altos porcentajes de machos.

Los grupos sintéticos mostraron en general buen peso final, sin embargo ANMp presentó un comportamiento similar a AxN, además de que la coloración segregada en dicho grupo fue muy variada (rojos, perlas, platas y grises), lo que podría colocar a dicha línea en desventaja para competir en el mercado contra aquellos grupos genéticos capaces de generar progenies de un solo color. Esto puede sugerir no utilizarla como nueva opción para el cultivo comercial ante la factibilidad de implementar un sistema de cruzamientos productor de híbridos F_1 más eficiente.

Era de esperarse un peso final inferior por parte de cualquiera de las dos líneas sintéticas con respecto a ANxM, debido a la pérdida de heterocigosidad calculada del 62.5%²⁶, sin embargo ANMr y ANxM no presentaron diferencias entre sí; diferencias entre valores esperados y observados para rasgos productivos en cruzamientos de diferentes especies de tilapia fueron reportados por Muñoz (2000),³ en donde observó un efecto importante de la habilidad combinatoria específica, que indicó que los valores productivos obtenidos fueron dependientes de la propia cruce examinada, marginando los efectos aditivos de los progenitores al valor fenotípico de la descendencia. En ese sentido, los valores productivos de determinadas cruces pueden encontrarse por arriba o por debajo de los valores esperados, no importando la heterocigosidad del 100% que presentan los híbridos F_1 y que por lo tanto debiesen tener un efecto de heterosis del 100%. La misma situación sucedió para el caso de ANMr, la pérdida de heterocigosidad que llevaría a retener tan solo el 62.5% de la heterosis no se cumplió, lo que desde un punto de vista de mejoramiento genético, puede representar una oportunidad para la adopción de esta línea por parte de las granjas comerciales al permitir obtener progenies de color rojo, de rápido crecimiento y de baja mortalidad en ciclos productivos más cortos.

La composición genética de ambas líneas sintéticas es la misma, encontrándose la única diferencia entre ellas en la coloración, esto hace suponer que la diferencia en el comportamiento del peso final de dichas líneas puede estar influenciado por el color. Se ha visto que en ejemplares rojos de tilapia aquellos que presentan pigmentos de melanina (manchas) en el cuerpo tienden a presentar mayor peso final que aquellos que no presentan dicha característica.^{100,101} Tave (1988)⁷ sugirió que tales manchas son controladas por uno o varios genes modificadores, de ser así, estos genes podrían tener un efecto pleiotrópico positivo con respecto a la tasa de crecimiento.¹⁰¹ Esto podría explicar la diferencia en el peso final encontrada entre los grupos sintéticos, ya que los peces de ANMr presentaron pigmentos

de melanina en su piel en mayor o menor medida a diferencia de los peces de ANMp que no presentaron dicha pigmentación, siendo únicamente el 27% de la población de este grupo de color rojo, de modo que se recomienda la realización de trabajos que evalúen el comportamiento de ejemplares sintéticos rojos manchados y no manchados para establecer la relación existente entre esta característica con el crecimiento.

La temperatura del agua durante este estudio no fue la adecuada para el cultivo de las tilapias esto pudo influir en la expresión del potencial genético de los grupos ya que la baja temperatura del agua pudo afectar el crecimiento de lo mismos. Cano *et al.* (2001),⁵⁴ Wohlfarth *et al.* (1983)⁴³ y Siddiqui y Al-Harbi, (1995),⁴⁶ mencionan que la temperatura afecta el crecimiento de las especies de tilapia, por lo que se recomienda realizar trabajos que evalúen el crecimiento de ambas líneas sintéticas bajo diferentes grados de temperatura del agua para establecer el rango óptimo de cultivo de dichos grupos genéticos.

Conversión alimenticia. En los diferentes grupos genéticos se encontró un rango en el índice de conversión alimenticia de 1.1 a 1.7 lo que indica la gran eficiencia que tuvieron todos los grupos en la transformación del alimento suministrado a peso vivo. Sin embargo, los valores de conversión alimenticia para NxN, MxM, AxN y ANxM no corresponden con los obtenidos por Muñoz (2000)³ y Cano *et al.* (2001)⁵⁴ quienes reportaron valores menores a 1 en estos grupos genéticos, esta diferencia pudo deberse a la baja temperatura bajo la cual transcurrió el presente estudio, ya que los trabajos antes mencionados se realizaron con temperaturas promedio del agua por arriba de 24°C. Akiyama (1991)¹⁰² señala que un índice de conversión alimenticia en peces aceptable es no mayor de 2:1, por lo que, a pesar de las diferencias encontradas con respecto a otros trabajos, puede considerarse que la conversión alimenticia de los grupos genéticos evaluados fue aceptable.

Sobrevivencia. La sobrevivencia en todos los grupos híbridos y NxN puede considerarse como muy buena, encontrándose en un rango de 96 a 99.3%. Estos resultados son similares a los reportados por Muñoz (2000)³ y Cano *et al.* (2001)⁵⁴ en estos mismos grupos. La mortalidad en el presente estudio se atribuyó a la baja temperatura del agua durante largos periodos de tiempo, mismo que provocó la aparición de cuadros infecciosos, siendo el grupo genético más afectado: MxM. Esta mayor susceptibilidad de *O. mossambicus* a bajas temperaturas del agua y a agentes patógenos, ha sido reportada por Cnaani *et al.*

(2000)¹⁰³ y Lighter *et al.* (1988)⁹⁸ respectivamente. Estos últimos informaron que dicha especie fue susceptible al hongo *Saprolegnia sp.* junto con el híbrido *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum*; estos mismos autores reportaron mortalidades significativas provocadas por problemas infecciosos de tipo bacteriano en *O. mossambicus*, *O. aureus*, Tilapia Taiwanesa y el híbrido *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum* cultivadas bajo sistema de recirculación. La alta mortalidad de MxM en este estudio también concuerda con lo reportado por Muñoz (2000)³, quien reportó una mortalidad del 23% en esa especie, debido a un problema de septicemia por *Pseudomona aeuroginosa*.

Otros estudios mostraron también tendencias a obtener sobrevivencias más bajas en *O. mossambicus* cuando se comparó con otros grupos genéticos,^{35,36,46,47} sin embargo cabe destacar que algunas de esas evaluaciones se realizaron en estanques al aire libre y las altas mortalidades las atribuyeron a que *O. mossambicus* de color rojo es presa fácil de aves depredadoras debido a su coloración llamativa.^{28,104}

8.2. Heterosis retenida

La heterosis retenida observada en ambas líneas sintéticas para todos los rasgos fue mayor a la esperada en base a la heterocigosidad mantenida en dichas líneas. En todos los casos, con excepción del rasgo peso final para ANMp (85%), se obtuvieron valores por arriba del 90%, contrario al 62.5% que se esperaba. Bourdon (1997)²⁶ menciona que valores del 88% de heterosis retenida son muy buenos por lo que se considera que los valores de heterosis retenida encontrados en el presente estudio son sumamente respetables.

Las diferencias encontradas entre los valores de heterosis retenida de ambas líneas sintéticas con respecto al valor esperado calculado con la fórmula de Bourdon (1997)²⁶ sugieren que además de la heterocigosidad presente en un determinado genotipo, el mecanismo de retención de heterosis puede estar influido por otros factores tales como la interacción genotipo-medio ambiente. Cabrera (1991)¹⁰⁰ asegura que el medio ambiente por si solo es capaz de producir manifestaciones en los organismos que pueden ser confundidas con características que se producen bajo control genético.

8.3. Segregación de colores

Los principales colores segregados en los grupos evaluados en el presente estudio fueron: rojo, perla, gris y plata. Las crías de *O. niloticus* tienden a presentar tonalidades más cercanas al color rojo a edades tempranas, situación que se presentó en este trabajo, sin embargo conforme los animales van creciendo esta coloración tiende a disminuir hasta el color rosa característico en animales adultos de esta especie, así, los animales de esta especie fueron considerados como rojos aún cuando se infiere que en su etapa adulta serán de color rosa. De modo que los grupos que presentaron progenies con un alto porcentaje de ejemplares rojos fueron NxN (100%) y MxM (100%), lo que concuerda con lo encontrado por Muñoz (2000)³ y Cano *et al.* (2001)⁵⁴ para estas especies.

Wohlfarth *et al.* (1990)¹⁰⁵ mencionan que la única forma de obtener animales rojos (incluyendo variantes de este color y animales blancos) de la especie *O. mossambicus* es mediante el cruce de ejemplares homocigotos recesivos (gg), en base a esto y a lo encontrado en este trabajo se deduce que los reproductores de esta especie y su progenie empleados en este estudio son homocigotos recesivos. Para el caso de NxN se infiere una baja probabilidad de existencia de animales heterocigotos en los lotes de reproductores del CEIEGT-FMVZ-UNAM basado en el mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen dominante (R) propuesto por McAndrew *et al.* (1989)¹⁰⁶ y Koren *et al.* (1994),¹⁰⁷ en donde las cruces: (RR) x (Rr) y (RR) x (RR) darían origen a progenies 100% rosas. Para la gran diversidad de colores segregados dentro de las coloraciones definidas como rojas Muñoz (2000)³ sugiere una base genética de alelos múltiples para la coloración de la piel.

El híbrido AxN presentó progenies de color perla y de color rojo, esto coincide con lo reportado por Muñoz (2000),³ no así con lo encontrado por Cano *et al.* (2001)⁵⁴ quienes reportaron progenies con el 100% de animales de color perla para este mismo híbrido. Muñoz (2000)³ sugirió que la coloración plata de *O. aureus* podría deberse a un mecanismo mendeliano simple de dominancia completa, en donde los peces de color plata son homocigotos dominantes (PP) y heterocigotos (Pp) mientras que los grises estarían representados por los homocigotos recesivos (pp), si esto es así, se puede suponer que la coloración perla resultante del cruce de *O. aureus* (plata) con *O. niloticus* (rosa) se rija bajo

un mecanismo de dominancia incompleta, de tal manera que al realizar el cruce de ejemplares heterocigotos plata de *O. aureus* (Pp) con ejemplares rosas de *O. niloticus* (RR), nos proporciona una relación de 50% de ejemplares de color perla y 50% de ejemplares de color rojo, proporción similar a la encontrada en este estudio. En el trabajo de Cano *et al.* (2001),⁵⁴ la presencia de un 100% de ejemplares de color perla en la misma cruce, pudo deberse a que los peces de color plata que se reprodujeron eran homocigotos (PP), mismos que al cruzarse con ejemplares rosas de *O. niloticus* (RR) produjeron heterocigotos de color perla (PR).

Esto indicaría que para obtener la coloración perla en estos peces se tendría que recurrir a la formación de ejemplares heterocigotos (PR) a partir de peces homocigotos de color plata de *O. aureus* (PP) y de color rosa de *O. niloticus* (RR). Se sugiere por lo tanto realizar estudios que contemplen pruebas de progenie para determinar en primera instancia los mecanismos genéticos que determinan la coloración plata en *O. aureus* y posteriormente realizar cruzamientos de prueba entre esta última especie con ejemplares rosas homocigotos (RR) de *O. niloticus* para constatar el mecanismo genético que determina la coloración perla.

El grupo ANxM segregó las mismas coloraciones que AxN, aproximadamente el 57% de rojos y el 43% de perlas, estas dos coloraciones fueron reportadas en el mismo híbrido por Cano *et al.* (2001)⁵⁴ con el 71% de animales rojos y el 21% de animales perlas. La presencia de ambas coloraciones en la cruce terminal podría ser explicada por el hecho de que los ejemplares AxN de color perla presentasen el genotipo heterocigoto (PR) y los ejemplares de MxM de color rojo tuviesen el genotipo homocigoto recesivo (gg), de tal manera que se tendría la segregación de los colores: rojo con genotipo Rg (50%) y perla con genotipo Pg (50%).

ANMr presentó un 100% de animales rojos, contrario a ANMp que presentó el 73% de animales de color perla y el 19% de animales de color rojo, el resto corresponde a peces de color gris y plata. El total de la progenie roja en ANMr se podría explicar en base a lo siguiente: los reproductores utilizados para obtener esta línea fueron ejemplares de cruce terminal de color rojo, con un genotipo probable Rg, según lo explicado anteriormente, de tal manera que en dicho cruce se obtendrían dos genotipos: Rg y gg, ambos de color rojo. Para el caso de ANMp se deduce lo siguiente: para la obtención de esta línea se utilizaron ejemplares

de cruza terminal de color perla con un genotipo probable Pg, de tal manera que en este cruzamiento se obtendrían los siguientes genotipos: PP, Pg y gg, que corresponden a las coloraciones plata, perla y roja respectivamente; estas coloraciones se reportaron en este estudio en la progenie de esta línea sintética, sin embargo las proporciones observadas se alejan de las proporciones esperadas bajo el modelo sugerido el cual sería: 25% de ejemplares de color plata (PP), 50% de ejemplares de color perla (Pg) y 25% de ejemplares de color rojo (gg).

Producción de crías. Este estudio no fue diseñado para evaluar la producción de crías en los diferentes cruzamientos, sin embargo, el mayor número total de crías se obtuvo del grupo ANMp con 2,472, contrario a ANxM que presentó la menor actividad reproductiva con solo 944 crías. En este grupo se observó que los machos híbridos presentaron el comportamiento de cortejo característico en este grupo de peces, sin embargo las hembras de *O. mossambicus* no mostraron interés por los machos a pesar de mostrar las características de estar sexualmente maduras. Esta observación difiere con la realizada por Cano *et al.* (2001)⁵⁴ donde encontraron que esta misma cruza presentó la mayor producción de crías (2,316) en el mismo tiempo de reproducción.

Por el buen desempeño productivo (peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia) de la línea sintética roja: ANMr, durante la etapa de crianza y la aceptable coloración de los peces de este grupo genético para el mercado, se recomienda evaluar su desempeño productivo durante el período de engorda, así como el comportamiento de generaciones subsecuentes, con el propósito de establecerla como una nueva línea de tilapia mejorada para su utilización con fines comerciales y así contribuir al mejoramiento de la producción piscícola en México.

ANMp, presentó un buen comportamiento productivo en las variables de: peso final, conversión alimenticia y sobrevivencia, de manera similar al híbrido AxN. Su color no fue tan uniforme como el de ANMr, ya que presentó variantes distintas al perla esperado, en función a lo anterior se recomienda esperar hasta evaluar su etapa de engorda para considerar su inclusión como una variedad de cultivo interesante para el productor.

9. CONCLUSIONES

- El grado de heterosis retenida en la línea sintética roja le permitió, durante la etapa de crianza, mantener un desempeño productivo similar al grupo híbrido del cual proviene, por lo que se proyecta como una nueva línea de tilapia para ser utilizada en explotaciones acuícolas.
- El grado de heterosis retenida en la línea sintética perla no le permitió, durante la etapa de crianza, mantener un peso final similar al grupo híbrido del cual proviene, dicha similitud la tuvo con el híbrido F₁: *O. aureus* x *O. niloticus*, lo que aunado a la variabilidad de coloración en la progenie, restringen su recomendación para ser utilizada como nueva opción en la acuicultura comercial.

10. LITERATURA CITADA

1. Arredondo J, González F, Garduño H, Campos R. Secretaria de Pesca. Desarrollo Científico y Tecnológico del Banco de Genoma de Tilapia. México (DF): SEPESCA, 1994.
2. Alvarez N, Muñoz G. Experiencias en el cultivo intensivo de tilapia en el estado de Veracruz. Memorias de la Octava Reunión del Día del Ganadero, "Rancho El Clarín". 1999 julio 2; Tlapacoyan (Veracruz) México. México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, 1999: 5-9.
3. Muñoz CG. Heterosis, Habilidad combinatoria, Proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapias (*O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*) (tesis de maestría). México (DF) México: UNAM, 2000.
4. Arredondo J, Guzmán M. Actual situación taxonómica de las especies de la tribu tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas a México. An. Inst. Biol. UNAM. Ser. Zool.1985; 56: 555-572.
5. Morales DA. La Tilapia en México, Biología, Cultivo y Pesquerías. México (DF): AGT, 1995.
6. Garduño M. Selección genética de *Oreochromis niloticus* para producir progenies monosexuales de color rojo. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia; 1996; México (DF) México. México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 1996: 53-59.
7. Tave D. Genetic and breeding of Tilapia: A review. The Second Internacional Symposium on Tilapia in Aquaculture; 1988 march 16-20; Bangkok, Thailand. Manila, Philippines: Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management, 1988: 285-293.

8. Mair GC, Abucay JS, Beardmore JA, Skibinski OF. Growth performance trials of genetically male tilapia (GMT) derived from YY-males in *Oreochromis niloticus*. On station comparisons with mixed sex and sex reversed male populations. *Aquaculture* 1995; 137: 313-322.
9. Cabrera G, Anaya V, Constantino R, Cuteo F, Serrano V, Marín L, Bravo J. Mecanismos genéticos que controlan la coloración roja en *S. mossambicus* var. roja. IX Noveno Congreso Nacional de Zooloía; 1987; Villahermosa (Tabasco) México.
10. Jayaprakas V, Tave D, Smitherman RO. Growth of two strains of *Oreochromis niloticus* and their F1, F2, and backcross Hybrids. The Second Internacional Symposium on Tilapia in Aquaculture; 1988 march 16-20; Bangkok, Thailand. Manila, Philippines: Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management, 1988: 187-201.
11. Rodríguez L, Muñoz G, Garduño M. Heterosis en híbridos de tilapia roja. Resúmenes de la Octava Reunión Científico, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria del Estado de Veracruz; 1995; Veracruz (Veracruz) México. Veracruz (Ver): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 1995: 310.
12. Bentsen HB, Eknath AE, Palada de Vera MS, Danting JC, Bolivar HL, Reyes RA, Dionisio EE, Longalong FM, Circa AV, Tayamen MM, Gjerde B. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 1998; 160: 145-173.
13. Dickerson G. Experimental approaches in utilising breed resources. *Animal Breeding Abstracts* 1969; 37: 191-202.
14. Rempel WE, Maijala K, Maijala K. New breed development in pigs. *Genetic resources of pig, sheep and goat* 1991; 95-107.
15. Katule AM. Crossbreeding as a tool for genetic improvement of chickens in sub-optimum environments. *Bulletin of Animal Health and Production in Africa* 1993; 21: 71-80.

16. Davis GP, Arthur PF, Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy B, Burnside EB. Crossbreeding large ruminants in the tropics: current knowledge and future directions. Proceedings of 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1994 august 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph (Ontario) Canada: University of Guelph, 1994: 332-339.
17. Subandriyo, Setiadi B, Dwiyanto K, Handiwirawan E, Rangkuti M, Doloksaribu M, Batubada LP, Romjali E, Eliaser S. Performance of the first and second generation composite breed resulting from crossing between local Sumatra sheep and Hair sheep. *J Ilmu Ternak Dan Veteriner* 1997; 3: 78-86.
18. Lagos F. Crossbreeding and synthetic breeds. Valid options for the national herd. *Revista Argentina de Producción Animal* 1988; 8: 340-397.
19. Gregory KE, Cundiff LV. Breeding programs to use heterosis and breed complementarity. *Revista Brasileira do Reproducao Animal* 1999; 23: 65-77.
20. Shrestha JNB, Heaney DP, Parker RJ. Productivity of three synthetic Arcott sheep breeds and their crosses in terms of 8-months breeding cycle and artificially reared lambs. *Small Ruminant Research* 1992; 9: 283-296.
21. Arthur PF, Makarechian M, Berg MRT, Weingardt R. Longevity and lifetime productivity of cows in a purebred Hereford and two multibreed synthetic groups under range conditions. *J Anim Sci* 1993; 71: 1142-1147.
22. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM, Dikeman ME, Koohmaraie 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.
23. Demiroren E, Shrestha JNB, Boylan WJ. Breed and environmental effects on components of ewe productivity in terms of multiple births, artificial rearing and 8-month breeding cycles. *Small Ruminant Research* 1995; 16: 239-249.
24. Hu JP, Wang J, Lu W, Weng JQ, Xu B, Lu BR. Selection and crossing of lean-type pig lines. *Acta Agriculturae Zhejiangensis* 1995; 7:42-47.

25. Adepo-Gourene B, Teugels G, Agnese JF. Morphologic and genetic differentiation of natural populations of *Chrysiichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (Siluroidei, Claroteidae). Proceedings of the Symposium Genetics and Aquaculture in Africa; 1997 april 1-4; Abidjan. Paris, France: ORSTOM, 1998: 277-284.
26. Bourdon R. Understanding animal breeding. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 1997.
27. Wohlfarth G, Hulata G. Applied Genetics of Tilapias. ICLARM Studies and Reviews. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1983.
28. Muñoz CG, Garduño LM. Comparación del crecimiento entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido bajo condiciones de cultivo. Vet Méx 1994; 25: 323-326.
29. López-Fanjul C. Mejora genética en organismos acuáticos. I. Selección. En: Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, editor. Genética en acuicultura. Madrid: Plan de Formación de Técnicos Superiores en Acuicultura, 1987: 131-155.
30. Payne Y, Collinson Y. A comparison of the biological characteristics of *Sarotherodon niloticus* (L.) with those of *S. aureus* (S.) and other tilapia of the delta lower Nile. Aquaculture 1983; 30: 335-351.
31. Pullin RSV. Choice of tilapia species for aquaculture. International Symposium on Tilapias in Aquaculture; 1983 may 8-13; Nazareth, Israel. Tel Aviv, Israel: Tel Aviv University, 1983: 64-73.
32. Zimmermann S. Genetics aspects of the skin colour of tilapias (*Oreochromis* sp.). Anais do 6 Encontro Rio Grandese de Tecnicos em Aquacultura e 3 Encontro Sulbrasileiro de Aquacultura; 1999; Rio Grandese, Brazil. Rio Grandese, Brazil: Instituto Nacional de Investigações Forestais y Agropecuarias, 1995: 120-125.
33. Bowman D. Comparación entre *Tilapia aurea* Steindachner y *Tilapia mossambica* Peters, en estanques de El Salvador. FAO Fish Rep 1977; 159: 78:90.

34. Eguiar R, León R, Hernández I. Crecimiento en estanques de cemento y de tierra de tres especies del género Tilapia. Rev Latinoam Acuic 1982; 11: 6-9.
35. Landa M, Garduño M, Muñoz G. Crecimiento de las líneas rojas de dos especies de tilapias durante la etapa de crianza. Resúmenes de trabajos de la Séptima Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz; 1994 diciembre; Veracruz (Ver) México. Veracruz (Ver): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 1994: 166.
36. Sánchez M, Muñoz G, Garduño M, Fernández B. Desempeño productivo de dos especies de tilapia roja en una granja piscícola. Resúmenes de trabajos de la Octava Reunión Científico, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria del Estado de Veracruz; 1995 diciembre; Veracruz (Ver) México. Veracruz (Ver): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 1995: 309.
37. Warwick EJ. Cría y mejora del ganado. México (DF): Mc Graw-Hill, 1980.
38. Robles SR. Diccionario genético y fitogenético. México (DF): Trillas, 1995.
39. Avault JW, Shell EW. Preliminary studies with the hybrid tilapia *Tilapia nilotica* x *Tilapia mossambica*. FAO Fish Rep 1968; 44: 343-345.
40. Hepher B, Pruginin Y. Cultivo de peces comerciales. Basado en las experiencias de las granjas piscícolas de Israel. México (DF): Limusa, 1985.
41. Yashou A, Halevy A. Studies on growth and productivity of *Tilapia aurea* and its hybrid "Gan Shmuel" in experimental ponds at Dor. Bamidgeh 1967; 19: 16-22.
42. Krasznai ZL. Interspecific hybridization of warm water finfish. In: Tiews K, editor. Selection hibridization and genetic engineering in aquaculture. Copenhagen: FAO Erop. Inland Fish Adv. Comm., 1987: 35-45.

43. Wohlfarth G, Hulata G, Rothbard S, Itzkowich J, Herlevy A. Comparisons between different interspecific tilapia hybrids for some production trait. International Symposium on Tilapia in Aquaculture; 1983 may 8-13; Nazareth, Israel. Tel Aviv, Israel: Tel Aviv University, 1983: 559-569.
44. Hulata G, Wohlfarth GW, Karplus I, Schroeder GL, Harpaz S, Halevy A, Rothbard S, Cohen S, Israel I, Kavessa M. Evaluation of *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* hybrid progeny of different geographical isolates, reared under varying management regimes. Aquaculture 1993; 115: 253-271.
45. Hulata G, Karplus I, Harpaz S. Evaluation of some red tilapia strains for aquaculture: growth and colour segregation in hybrid progeny. Aquaculture research 1995; 26: 765-771.
46. 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.
47. 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.
48. 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. San José, Costa Rica: INCOPECA, 1995: 147-152.
49. Griffing B. A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 1956; 10:31-50.
50. Sheridan AK. Crossbreeding and heterosis. Animal Breeding Abstracts 1981; 49: 131-143.
51. Cundiff VL. Experimental results on crossbreeding cattle for beef production. J Anim Sci 1970; 30: 694-705.

52. Frahm R. Genetic Principles of Crossbreeding. United States of America: Colorado State University, 1975.
53. Tave D. Genetics for Fish Hatchery Managers. Connecticut: AVI, 1986.
54. Cano MX, Muñoz CG, Garduño LM. Cruzamientos terminales de tres especies de tilapia (*Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus*). Resúmenes de trabajos de la Décimo cuarta Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria del Estado de Veracruz; 2001 octubre 25-26; Veracruz (Ver) México. Veracruz (Ver): Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, 2001.
55. Montaldo H, Barría N. Mejoramiento genético de animales. Ciencia al día 1998; 1:2.
56. Young LD, Dickerson GE, Leymaster KA. Performance of eight purebreed and two composite swine populations. In: Roman L, editor. Swine Research Progress Report. Hruska, US: Meat Animal Research Center, 1989: 3-6.
57. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for preweaning traits of beef cattle. J Anim Sci 1991; 69: 947-960.
58. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects and heterosis in advanced generations for growth traits in both sexes of beef cattle. J Anim Sci 1991a; 69: 3202-3212.
59. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for birth weight, birth date, dystocia, and survival as traits of dam in beef cattle. J Anim Sci 1991b; 69: 3574-3589.
60. Gregory KE, Lunstra DD, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for puberty and scrotal traits of beef cattle. J Anim Sci 1991c; 69: 2795-2807.
61. Enns RM, MacNeil MD, Newman S, Stewart-Smith J. Relative economic value for specialised sire and dam lines in Canada. Proceedings, Western Section; 1992 July 8-10; Canada. Canada: American Society of Animal Science, 1992: 124-126.

62. Guerra D, Dieguez FJ, Santana I, Gerardo L, Trujillo C. Genetic and phenotypic parameters of a pig paternal synthetic breed. *Cuban Journal of Agricultural Science* 1992; 26: 11-15.
63. Wang N, Vandepitte W, Nouwen J, Carbonez R. Crossbreeding of Holstein Friesian, Brown Swiss and Sanga breeds in Zaire. 1. Milk production. *Revue d'Élevage et de Médecine Veterinaire des Pays Tropicaux* 1992; 45: 349-352.
64. Wayne R. Australia's tropical cattle- the African connection. *Rural Research* 1992; (155): 3-26.
65. Arthur PF, Liu MF, Makarechian M, Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy BW, Burnside EB. Estimation of direct and maternal heritabilities for growth and lifetime production traits in beef cows. *Proceedings of 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*; 1994 august 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph (Ontario) Canada: University of Guelph, 1994: 225-228.
66. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects, dietary energy density effects, and retained heterosis on different measures of gain efficiency in beef cattle. *J Anim Sci* 1994a; 72: 1138-1154.
67. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM, Dikeman ME, Koohmaraie M. Breed effects, retained heterosis, and estimates of genetic and phenotypic parameters for carcass and meat traits of beef cattle. *J Anim Sci* 1994b; 72: 1174-1183.
68. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM, Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy BW, Burnside EB. Germplasm utilization in beef cattle. *Proceedings of 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*; 1994 august 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph (Ontario) Canada: University of Guelph, 1994: 261-268.
69. Mercer JT, Hoste S, Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy BW, Burnside EB. Prospects for the commercial use of Chinese pigs. *Proceedings of 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*; 1994

- august 7-12; Guelph (Ontario) Canada. Guelph (Ontario) Canada: University of Guelph, 1994: 327-334.
70. Tawah CL, Rege JEO, Mbah DA, Oumate H. Genetic evaluation of birth and weaning weight of Gudali and two-breed synthetic Wakwa beef cattle populations under selection in Cameroon: genetic and phenotypic trends. *Animal Production* 1994; 58: 25-34.
71. Arthur PF, Makarechian M, Weingardt R, Berg RT. Population analysis of a purebred Hereford and a multibreed synthetic beef cattle herd. *Genetics, Selection, Evolution* 1995; 27: 135-148.
72. Naqvi SMK, Hooda OK. Growth response of crossbred weaner lambs during and after removal of thermal and nutritional stresses. *Indian Journal of Animal Sciences* 1992; 62: 910-912.
73. Nicoll GB, Alderton MJ, Annandale DD, Coleman ID, Grimwood TJ, Thomson JA. A terminal sire breeding programme based on screening for hogget live weight. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 1992; 52: 125-127.
74. Peng Y. Growth and performance of Jiashike sheep. *Qinghai Xumu Shouyi Zazhi* 1992; (5): 1-3.
75. Gates PJ. Non-genetic and breed variation in litter size in the Swedish sheep recording program. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A, Anim Sci* 1993; 43: 144-150.
76. Bunge R, Thomas DL, Nash TG, Lupton CJ. Performance of hair breeds and prolific wool breeds of sheep in southern Illinois: wool production and fleece quality. *J Anim Sci* 1996; 74: 25-30.
77. Fahmy MH. Growth, fertility, prolificacy and fleece weight of Romanov, Finesheep and Booroola purebreeds and their first cross and backcross with the DLS breed. *Anim Sci* 1996; 62: 479-487.

78. Boujenane I, Chafik A, Benbihi M. Heterosis retained in different generations of inter se mating between D'man and Sardi sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 1999; 116: 151-159.
79. Jensen NE, Jensen JF, Szendro Z, Sorensen P. Diallel crossbreeding experiment in Danish and Hungarian meat rabbits. 1. Reproductive performance, growth, and feed conversion. *World Rabbit Science* 1996; 4: 109-114.
80. Jensen NE, Jensen JF, Szendro Z, Sorensen P. Diallel crossbreeding experiment in Danish and Hungarian meta rabbits. 2. Quality evaluation, dissection, and chemical analysis of carcasses. *World Rabbit Science* 1996a; 4: 115-120.
81. Pla M, Hernández P, Blasco A. Carcass composition and meta characteristics of two rabbit breeds of different degrees of maturity. *Meat Science* 1996; 44: 85-92.
82. Yoshida S, Suzuki K, Saito K. Combining ability between White Leghorn and synthetic strains established from Sebright Bantam. *Japanese Poultry Science* 1992; 29: 395-401.
83. Grunder AA, Sabour MP, Gavora JS. Estimates of relatedness and inbreeding in goose strains from DNA fingerprints. *Animal Genetics* 1994; 25: 81-88.
84. Brade W. Crossbreeding effects in the development of the synthetic black and white (SMR) dairy cattle in East Germany. *Livestock Production Science* 1992; 32: 203-218.
85. Hammell KL, Laforest JP, Dufour JJ. Evaluation of the growth performance and carcass characteristics of commercial pigs produced in Quebec. *Canadian Journal of Animal Science* 1993; 73: 495-508.
86. McKay LR, McMillan I. Growth, maturation and spawning times in crosses of three strains of rainbow trout. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada* 1997; (2): 15-17.
87. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2da. reimpression. México (DF): Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1981.

88. CIEEGT. Boletín informativo 1979. Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical. México (DF): FMVZ-UNAM, 1979.
89. Olvera NMA, Olivera CL. Nutrición y alimentación de la Tilapia. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia; 1996 junio 20-22; México (D.F.), México. México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, 1996: 158-180.
90. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th ed. USA: AOAC 1984.
91. 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. Autónoma de Yucatán, 1995.
92. Zar JH. Biostatistical Analysis. Englewoo (NJ): Prentice Hall, 1984.
93. Steel GDR, Torrie HJ. Bioestadística Principios y Procedimientos. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill, 1986.
94. SAS Institute Inc. SAS/STAT Users Guide Release (computer program) version 6.03, Cary (NC) USA: SAS Institute Inc., 1988.
95. Balarin JD, Hatton JP. Tilapia a guide to their biology and culture in Africa. Scotland: University of Stirling, 1979.
96. Arredondo FJL, Lozano GS. El cultivo de la tilapia en México. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. 1996 junio 20-22; México (DF) México. México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, 1996: 7-18.
97. Boyd CE. Water quality in warmwater fish ponds. Alabama, USA: Auburn University Press, 1979.

98. Lighter D, Redman R, Mohny L, Dickenson G, Fitzsimmons K. Mayor disease encountered in controlled environment culture of tilapias in fresh and brackishwater over a three year period in Arizona. The Second Internacional Symposium on Tilapia in Aquaculture; 1988 march 16-20; Bangkok, Thailand. Manila, Philippines: Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management, 1988: 111-116.
99. Majumdar KC, McAndrew BJ. Sex ratios from interespecific crosses within the tilapias. Proceedings of the 1st International Symposium on Tilapia in Aquaculture; 1983 may 8-13; (Nazareth) Israel. Tel Aviv, Israel: Tel Aviv University, 1983: 261-269.
100. Cabrera CGM. Genética aplicada en algunas especies de peces de ornato. Boca del Río (Ver) México, 1991.
101. Muñoz CG, Garduño LM. Evaluación del crecimiento de cuatro fenotipos de la mojarra tilapia *Oreochromis niloticus* (L). *Oceanología* 1996; 2: 143-152.
102. Akiyama MD. Future consideration for the aquaculture feed industry. In: Akiyama MD, Ronnie KHT, editors. Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop. Singapore: American Soybean Association, 1991: 5-9.
103. Cnaani A, Gall GAE, Hulata G. Cold tolerance of tilapia species and hybrids. *Aquaculture International* 2000; 8: 289-298.
104. Teichert-Coddington D, Rodriguez M, Gómez R. Comparative growth of communally stocked red and wild-type tilapia. In: Egna H, McNamara M, Winder N, editors. Pond dynamics. Oregon, US: Aquaculture CRSP Management Office, 1990: 84-85.
105. Wohlfarth G, Rothbard S, Hulata G, Zweigman D. Inheritance of red body coloration in Taiwanese Tilapia and *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture* 1990; 84: 219-234.
106. McAndrew BJ. Tilapia sex determination and its manipulation in tilapia. Satellite Symposium on Applications of Comparative Endocrinology to Fish Culture; 1989; Granada, España. España, 1989: 199-210.

107. Koren A, Pruginin Y, Hulata G. Evaluation of some red Tilapia strains for aquaculture. *Isr. J. Aquacult. Badmigh* 1994; 46: 9-12.

ANEXOS

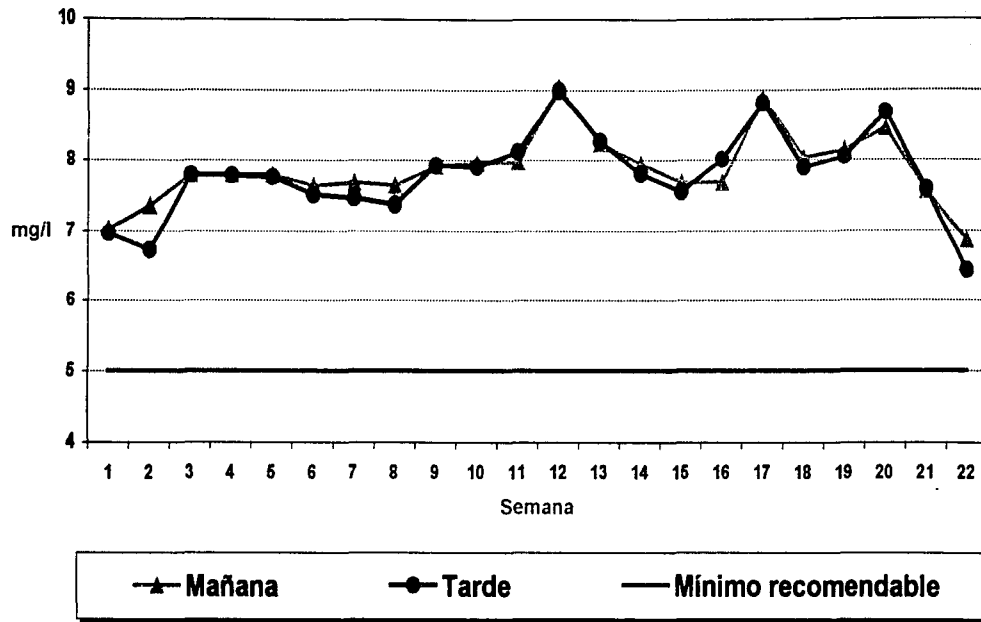


Figura 17.- Oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante la fase de crianza.

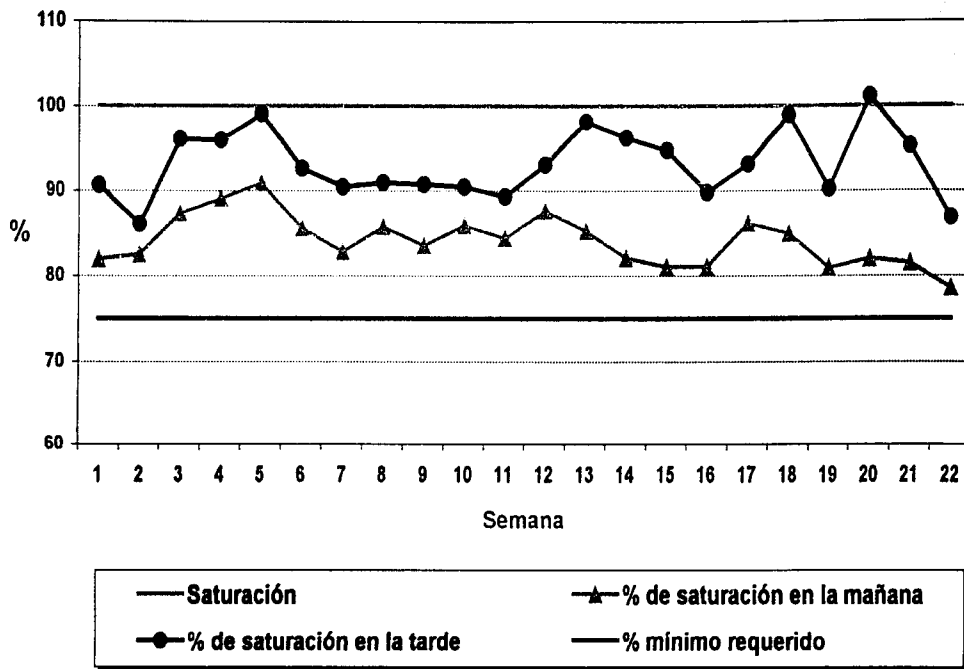


Figura 18.- Porcentaje de saturación de oxígeno en el agua durante la fase de crianza.

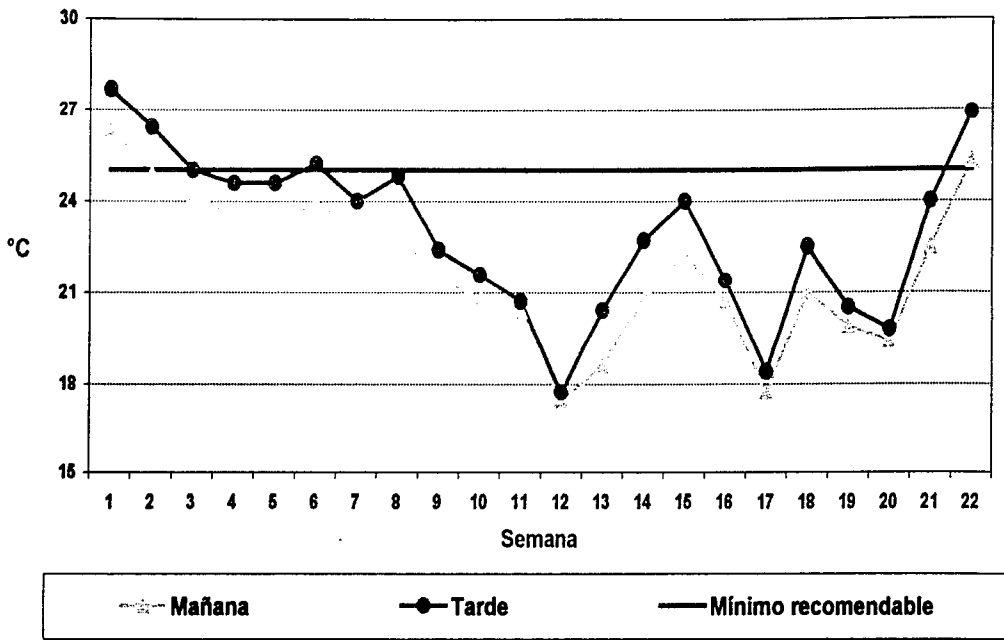


Figura 19.- Temperatura del agua (°C) durante la fase de crianza.

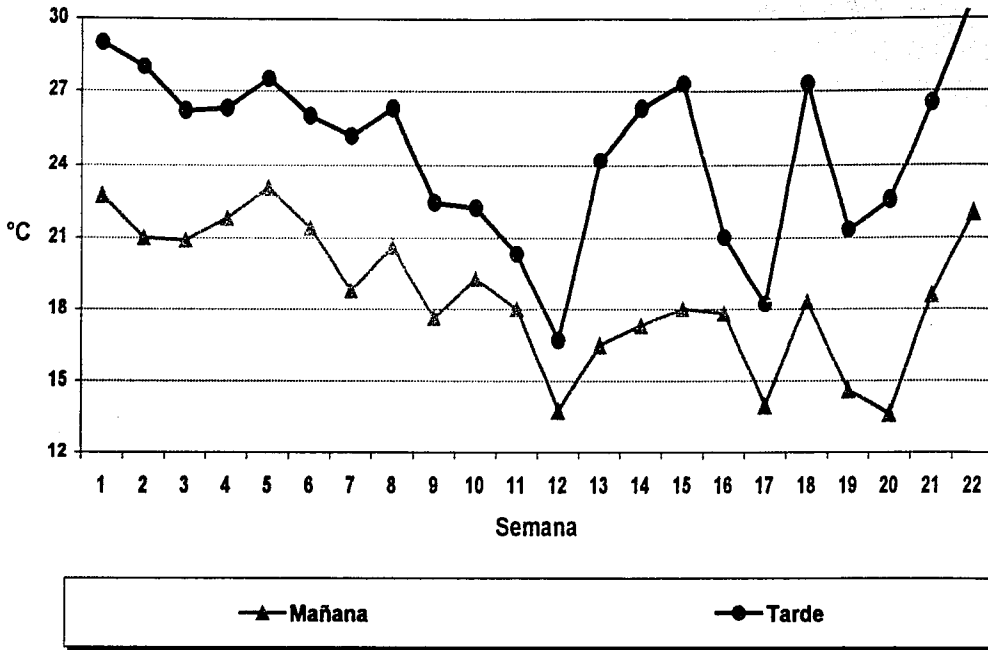


Figura 20.- Temperatura ambiental (°C) durante la fase de crianza.

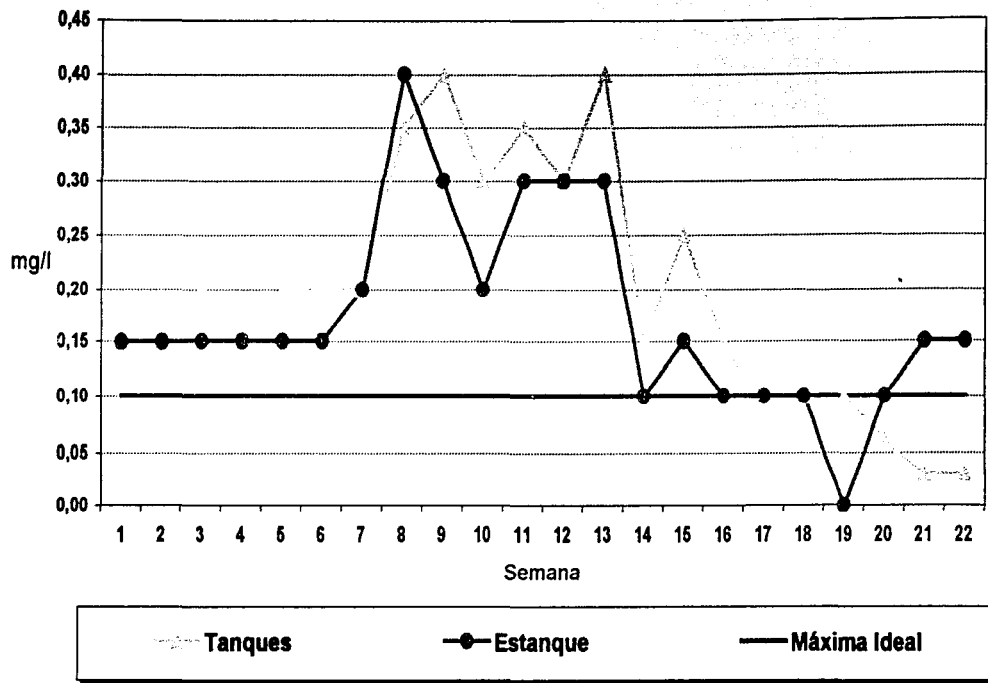


Figura 21.- Amonio (NH₄) disuelto en el agua (mg/l) durante la fase de crianza.

Nota: Los valores del estanque corresponden a los datos registrados en el sistema de recirculación del agua de los tanques de crianza formado por un estanque de tipo rústico de 120m³.

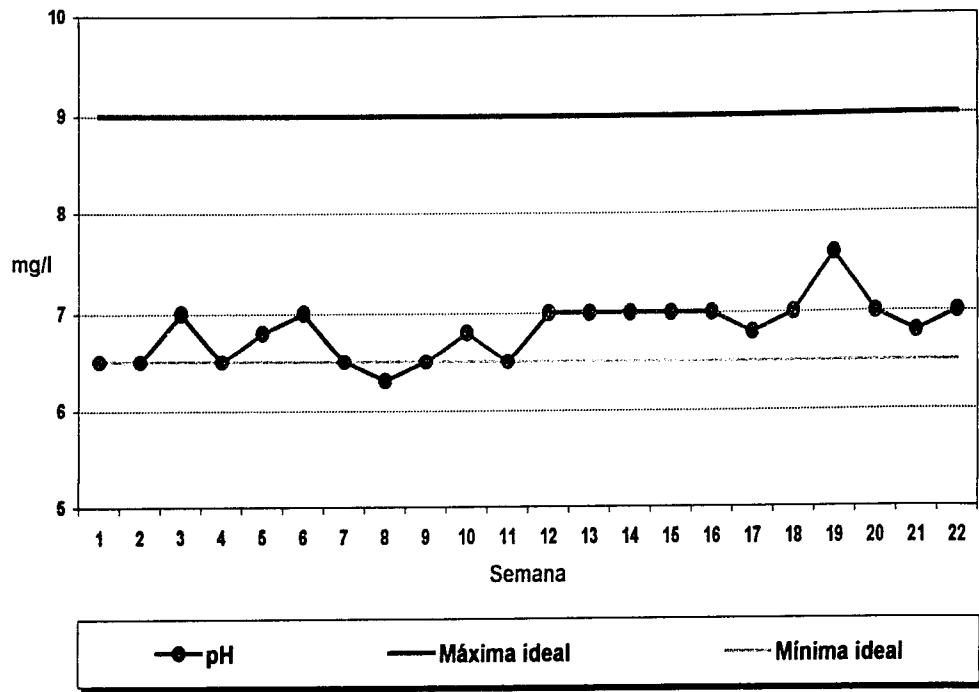


Figura 22.- pH del agua durante la fase de crianza.

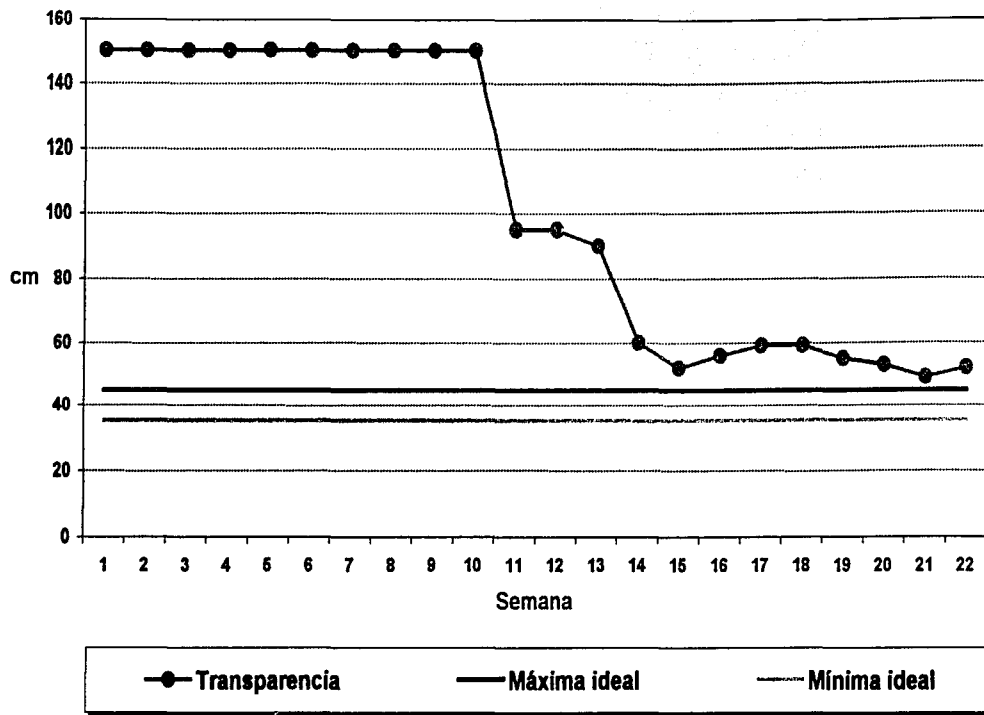


Figura 23.- Transparencia del agua (cm) durante la fase de crianza.

Nota: La transparencia del agua fue medida en el estanque de tipo rústico que funcionó como sistema de recirculación del agua de los tanques de crianza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN