



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA

**MODELO GENÉTICO DE LA HERENCIA DEL
COLOR PLATA EN LA TILAPIA ROCKY
MOUNTAIN (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*)**

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

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A :
ABRAHAM RAMSÉS CABRERA MEDEL

ASESORES: GERMÁN MUÑOZ CÓRDOVA

MARIO GARDUÑO LUGO



MÉXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

MODELO GENÉTICO DE LA HERENCIA DEL COLOR PLATA EN LA TILAPIA
ROCKY MOUNTAIN (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*)

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

Cabrera Medel Abraham Ramsés
MPA. Germán Muñoz Córdova
Dr. Mario Garduño Lugo

MÉXICO, D.F., 2004

DEDICATORIA

Dedico primero a Dios por vivir que hay tantos que mueren al nacer. Gracias por ponerme en este camino que hay tantos perdidos. Gracias por darme un hogar cuando hay tanto que no tienen a donde regresar. Y gracias principalmente por estar siempre conmigo en todo momento.

A mi Padre

Roberto Cabrera Cabrera

Por darme ese ejemplo de gente responsable y sobre todo por compartir conocimientos que por muy pequeños que fueran para ti fueron muy importantes para mí. Gracias por ser un buen modelo y ser una persona muy importante en mi vida.

A mi Madre

Francisca Medel Salomón

Por ser la persona que me enseñó que la gente que lucha logra sus objetivos. Gracias por ser un ejemplo muy difícil de igualar y por enseñarme el valor que tiene uno como persona.

A mi Hermano

Roberto Israel Cabrera Medel

Por estar siempre conmigo y enseñarme que los buenos amigos están en las buenas y las malas y saber que cuento contigo como amigo y como hermano gracias por esa gran amistad. Sabes carnalito te quiero mucho y le doy gracias a Dios por cada momento que pasamos juntos e inolvidables.

A toda mi familia que de una u otra forma estuvo siempre al pendiente de mí gracias: Faby, Tía Estrella, Ira, Miguel, Tom, Adela, Tío chino, Tía Guadalupe, Tío Enrique, Panchito, Mon.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por acogerme durante una parte de mi vida estudiantil.

A Germán y Al Doc. Mario por la confianza que me brindaron y me dieron en la realización de este trabajo.

A mi querida Eloisa por estar conmigo y hacerme los momentos más bonitos durante mi estancia en el Clarín, le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de conocerla.

A mis cuates del Clarín que me hicieron esta estancia muy agradable: Felipe, Uri, Angeles, Nestor, Sheila, Sahara, Elvia, Jorge, Alfredo, Rafa, Altamiro (Peter, Ana, Armando y Marco).

Al Centro de Enseñanza , Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), Rancho el Clarín, y al personal que ayudo tanto en mi trabajo, como en mi estancia en el centro: Carlitos (Don charly), Oscarin, Hilario, Inocencio, Julio, Jaime, Chico, Hector, Vicky, Popochas y Doña Gloria gracias a todos y por su bella amistad.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1.0 INTRODUCCIÓN	1
2.0 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Mecanismos genéticos determinantes de la coloración en tilapia.....	3
2.1.1 <i>Oreochromis mossambicus</i>	3
2.1.2 <i>Oreochromis niloticus</i>	5
2.1.3 Tilapia taiwanesa.....	8
2.1.4 Tilapia filipina.....	11
2.1.5 Tilapia rocky mountain.....	12
3.0 HIPÓTESIS	14
4.0 OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
5.0 MATERIAL Y MÉTODOS	15
5.1 Localización geográfica.....	15
5.2 Animales experimentales.....	15
5.3 Reproducción.....	18
5.4 Colecta de crías.....	19
5.5 Alimentación de reproductores y crías.....	19
5.6 Relación del número de crías por peso de hembra.....	20
5.7 Medición y manejo de la calidad del agua.....	21

5.8 Análisis Estadístico.....	22
6.0 RESULTADOS.....	23
6.1 Proporción de colores.....	23
6.2 Relación de número de crías por peso de hembra.....	23
6.3 Características fisicoquímicas del agua.....	26
7.0 DISCUSIÓN.....	30
8.0 CONCLUSIONES.....	34
9.0 LITERATURA CITADA.....	35

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Página</u>
1. Cruzamientos y proporción de colores en diferentes cruzas con <i>Oreochromis mossambicus</i>	5
2. Modelo propuesto para la heredabilidad de la coloración roja y gris en <i>Oreochromis mossambicus</i>	5
3. Cruza de ejemplares de <i>Oreochromis niloticus</i> gris y dorado.....	6
4. Modelo propuesto para la coloración rosa en <i>Oreochromis niloticus</i> originaria del lago Manzala, Egipto.....	7
5. Número y porcentaje de crías rosas en la crusa de ejemplares rosas y grises de <i>Oreochromis niloticus</i>	8
6. Cruzas utilizadas para postular el modelo de heredabilidad del color en la tilapia taiwanesa.....	8
7. Segregación del color en la progenie producto del cruce de progenitores rojos, blancos, marrón y grises de tilapia taiwanesa.....	10
8. Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en la tilapia taiwanesa.....	11
9. Modelos genéticos para la determinación del color en cuatro grupos genéticos de tilapia.....	13
10. Longitud y peso promedio de los reproductores de la tilapia rocky mountain al inicio del experimento.....	16
11. Cruzamientos de reproductores de rocky mountain.....	18
12. Peso y longitud promedio de los reproductores de la tilapia rocky mountain de color plata y gris al finalizar el experimento.....	19
13. Análisis químico proximal del alimento consumido por las crías.....	20
14. Análisis químico proximal del alimento consumido por los reproductores..	20
15. Frecuencia y método o instrumento con que se llevó a cabo la medición de las principales variables fisicoquímicas del agua.....	21

16.	Porcentaje de coloración plata esperada según el modelo de dominancia completa propuesto para la determinación del color en la tilapia rocky mountain	22
17.	Número de crías de color gris y plata en la progenie de la cruce de reproductores de la tilapia rocky mountain.....	24
18.	Relación entre el número de crías y el peso de la hembra en la tilapia rocky mountain.....	25
19.	Características fisicoquímicas del agua durante los 265 días del experimento.....	26

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1.	Mapa de localización del CEIEGT.....	15
2.	Ejemplar de rocky mountain de color plata.....	17
3.	Ejemplar de rocky mountain de color gris.....	17
4.	Tanques de reproducción del módulo de producción acuico del CEIEGT.....	18
5.	Oxígeno disuelto del agua de los estanques utilizados en el estudio.....	27
6.	Temperatura del agua de los estanques utilizados en el estudio.....	27
7.	Transparencia del agua de los estanques utilizados en el estudio.....	28
8.	Amonio (NH ₄) disuelto en el agua de los estanques utilizados en el estudio.....	28
9.	Valores de pH del agua de los estanques utilizados en el estudio.....	29
10.	Temperatura ambiental registrada durante el estudio.....	29

1.0 INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos de origen acuático para consumo humano no aumentará debido a la sobre-pesca y contaminación de las aguas, de manera tal que un aumento en la producción de este tipo de alimento dependerá que se cultiven en granjas.¹ Dentro de las diversas especies acuáticas que se producen mundialmente, destaca la tilapia, pez apropiado para su desarrollo en climas tropicales y subtropicales debido a las siguientes características: buena capacidad de adaptación a diferentes sistemas de cultivo, rápido crecimiento, resistencia a enfermedades, tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, capacidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto y en un intervalo amplio de salinidad y a su capacidad de alimentarse de una gran diversidad de productos naturales y artificiales en comparación con otras especies tropicales susceptibles a ser cultivadas.^{2,3}

El cultivo de la tilapia se inicio en México en 1964, con la importación de las especies: *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *Tilapia rendalli*, procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama, EUA. Estos ejemplares se ubicaron en la estación piscícola de Temascal, Oaxaca.⁴ En 1978 se introdujo *O. niloticus* al mismo sitio, procedente de Panamá y en 1981 se importó *O. urolepis hornorum* de Estados Unidos a través de la empresa Natural Systems, ubicada en Palmeto, Florida; dicha especie se distribuyó en los centros acuícolas de Zacatepec y el Rodeo, Morelos.³ La introducción de la tilapia a México ha sido amplia, principalmente en las zonas cálidas de los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Michoacán, Veracruz y Sinaloa.³ La producción de mojarra tilapia en el año 2001 fue de 74,031 toneladas, siendo el mayor volumen de pescado obteniendo en aguas interiores.⁵

A pesar de los atributos que tiene la tilapia no se le ha dado la importancia debida ya que para su cultivo existe el desconocimiento de su manejo zootécnico y genético, causante de producciones antieconómicas y desmotivación por invertir en este rubro.⁶ El importante crecimiento del cultivo de tilapia en el mundo se ha relacionado con la calidad de su carne, la cual es blanca, firme, con escasas espinas intermusculares y ligero olor a pescado.⁷⁻⁹

Uno de los factores primordiales para el desarrollo del cultivo de la tilapia en el país es la obtención de especies genéticamente mejoradas en sus variables productivas y su apariencia. Actualmente la tilapia cultivada tiene mayor preferencia por el consumidor y por tal motivo alcanzan precios superiores a la capturada, debido a su presentación basada principalmente en colores distintos al tipo silvestre (gris),¹⁰⁻¹² y a que difícilmente presentan sabor a fango, característica que le confiere su alimentación basada en hongos ficomicetos y algas verdes-azules.¹³

La tilapia “Rocky mountain” es una población híbrida producto del cruzamiento entre *O. niloticus* con *O. aureus* y su característica distintiva es su coloración plata y resistencia al frío,¹⁴⁻¹⁶ lo que le confiere aceptación en los mercados y una alternativa más de producción en el ámbito de la tilapicultura en zonas con bajas temperaturas en ciertos periodos del año. Sin embargo, se ha detectado que en las poblaciones de rocky mountain presentes en México se producen ejemplares de color gris; siendo la proporción de este color diferente entre las granjas que manejan este grupo genético de tilapia. Esta situación ha generado cierto descontento y desconfianza entre los productores de rocky mountain en diversas granjas de México.

2.0 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Mecanismos genéticos determinantes de la coloración en tilapia

En varios grupos genéticos de tilapia, se han obtenido algunos patrones de coloración diferentes al gris o tipo silvestre tales como el rojo, naranja, dorado o rosa, en especies como: *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*,^{16,17} y en híbridos como la tilapia taiwanesa, tilapia roja de Filipinas y tilapia roja de Florida.^{10,18,19} Los colores rojos o diferentes al gris frecuentemente son preferidos por el consumidor y pueden llegar a obtener mayores precios en el mercado.^{10,11,12} Actualmente se cultivan tilapias rojas en países como: México, Israel, India, Estados Unidos, Taiwán, Tailandia, China, Costa Rica, Ecuador y Bahamas entre otros.^{1,20}

La determinación de los patrones de coloración esta asociada con mecanismos de acción génica de tipo mendeliano como la dominancia completa e incompleta.²¹ A continuación se presentan los diferentes modelos determinantes de la coloración en algunos grupos genéticos de tilapia de los que se han obtenido variantes de colores distintos al silvestre.

2.1.1 *Oreochromis mossambicus*

Es una especie nativa de los sistemas dulce acuícolas de la costa este de África. Su cultivo se inició en Indonesia y Java en 1939, extendiéndose posteriormente por el sudeste de Asia y Sudamérica. Se introdujo a México en 1964 a la Estación Piscícola de Temascal Oaxaca, de donde se distribuyó a otras presas y lagos en regiones tropicales de nuestro país.³ En 1981 se importó una variedad roja de *O. mossambicus* procedente de la empresa Natural Systems ubicada en Palmeto, Florida, EUA. Los ejemplares se ubicaron en la estación piscícola de “El Rodeo” de la Secretaría de Pesca, en el estado de Morelos. El objetivo fue obtener crías de color rojo con un porcentaje de 100% de machos, mediante el cruzamiento de hembras de esa especie con machos de *O. urolepis hornorum*. En 1987 se introdujo otro lote de ejemplares rojos de la misma especie,³ y en el año 2000, se importó al centro Acuícola de Jala en el estado de Colima, un lote de *O. mossambicus* roja procedente

de California, EUA, bajo el nombre de “Mosambica golden” (Comunicación personal del Biólogo Joaquín Campos Arciniega).

Pruginin²² efectuó un estudio en donde cruzaron hembras y machos rojos de *O. mossambicus* y observó que todas las crías fueron del mismo color. Estos autores cuando cruzaron *O. mossambicus* roja con *O. niloticus* gris, el 100% de las crías fueron grises, de manera tal que infirieron que el color rojo de *O. mossambicus* correspondía a una acción monogénica de dominancia completa. Posteriormente Wohlfarth *et al.*,¹⁶ al efectuar una serie de cruza entre machos rojos de *O. mossambicus* con hembras de color gris de *O. niloticus* y *O. aureus*, obtuvieron en la F₁ crías de color silvestre (100 %) llegando a la misma conclusión que Pruginin²² en donde deducen que el color gris esta representado por un alelo dominante “R” y el color rojo por el alelo recesivo “r”. En ese mismo estudio se efectuaron retrocruzas individuales con ejemplares F₁ machos (*O. niloticus* gris x *O. mossambicus* rojo). Al cruzar seis hembras *O. mossambicus* (rr) con seis machos F₁ (Rr) obtuvieron un promedio del 56% de crías rojas, por lo que el modelo para la determinación del color correspondió a una acción génica de dominancia completa en donde el color gris de *O. niloticus* esta representado por el genotipo RR y el rojo de *O. mossambicus* por el genotipo rr. Lo mismo ocurrió con las retrocruzas de *O. mossambicus* roja con las F₁ de *O. mossambicus* roja x *O. aureus* gris, en donde se obtuvo un 32% de crías de color rojo. Los autores realizaron también dos cruza entre hembras de tilapia roja taiwanesa (P₁P₂) con machos de *O. mossambicus* roja (P₁P₁) y obtuvieron un 40% de crías rojas, mientras que el valor esperado era de un 50%. Las diferencias entre los valores esperados y obtenidos, se atribuyeron a una sobrevivencia menor de las crías rojas. En el Cuadro 1 se observa el trabajo elaborado por Wohlfarth *et al.*,¹⁶ en *O. mossambicus*. En el Cuadro 2 se presenta la segregación de colores en los distintos genotipos determinantes del color en *O. mossambicus*.

Cuadro 1

Cruzamientos y proporción de colores en diferentes cruzas con *Oreochromis mossambicus*

Padres ♂ x ♀	Genotipos	No. promedio de crías		No de progenies	Proporción de rojos	
		Gris	Rojo		Observado	Esperado
(N x M) x M	Rr x rr	237	296	6	56%	50%
(A x M) x (A x M)	Rr x Rr	220	105	8	32%	25%
M x T	P ₁ P ₁ x P ₁ P ₂	50	34	2	37%	50%

M = *O. mossambicus* roja; N = *O. niloticus* gris; A = *O. aureus* gris; T = Tilapia roja taiwanesa. Wohlfarth *et al.*¹⁶

Cuadro 2

Modelo propuesto para la heredabilidad de la coloración roja y gris en *Oreochromis mossambicus*

Grupo genético	Modelo propuesto	Genotipo propuesto	Fenotipo
<i>O. mossambicus</i>	Dominancia completa	RR	Gris
		Rr	Gris
		rr	Rojo

Wohlfarth *et al.*¹⁶

2.1.2 *Oreochromis niloticus*

Esta especie se importó a México en 1978 procedentes de Panamá situándose en la Estación Acuícola de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, trasladándose posteriormente a la estación tropical de Temascal, Oaxaca. En 1986 se introducen ejemplares de color rosa de esta especie al Centro de Investigaciones y Estudios avanzados del IPN, unidad Mérida y de aquí se distribuyó a varios centros acuícolas de la entonces Secretaria de Pesca.³

Scott *et al.*,²³ trabajaron con ejemplares de *O. niloticus* grises originarios del lago Manzala, Egipto; ellos cruzaron a estos ejemplares entre si observando que en algunas cruzas la progenies eran 100 % grises y en otras se observó el 75 % de ejemplares de ese color y el resto presentaban una coloración a la que denominaron Blond (Blond es una palabra inglesa cuyo significado en español es “rubio”, sin embargo se referirá en lo sucesivo a dicho color con el termino de “dorado”), por lo que los autores realizaron las

siguientes cruza: ♂ grises x ♀ doradas y ♂ dorados x ♀ grises y ♂ dorados con ♀ del mismo color. Los autores concluyeron que la coloración gris estaría representada por los genotipos: Bl Bl y Bl bl, mientras que el fenotipo dorado estaría determinado por el genotipo: bl bl. En el Cuadro 3 se observa el trabajo elaborado por Scott *et al.*²³

Cuadro 3

Cruza de ejemplares de *Oreochromis niloticus* gris y dorado

Cruza (♀ x ♂)	Repeticiones	No. de Crías	% de crías grises	% de crías doradas	% esperado de crías doradas
Gris x Gris (Bl bl x Bl bl)	6	1779	77	23	25
Gris x Gris (Bl bl x Bl Bl)	3	626	100	---	0
Gris x Dorado (Bl bl x bl bl)	2	388	49	51	50
Dorado x Gris (bl bl x Bl Bl)	1	176	100	---	0
Dorado x Gris (bl bl x Bl bl)	1	145	45	55	50
Dorado x Dorado (bl bl x bl bl)	1	162	---	100	100

Scott *et al.*²³

Mires *et al.*,²⁴ observaron que los ejemplares de *O. niloticus* de una línea originaria de Uganda presentaban coloraciones claras y grises mientras los de una línea de Ghana de la misma especie eran de color gris. Los autores cruzaron ejemplares de Ghana de coloración gris con los de color clara de Uganda, resultando progenies de color gris por lo que los autores concluyeron que la coloración gris esta representada por los genotipos homocigoto dominante y heterocigoto, mientras que la coloración clara esta representada por el genotipo homocigoto recesivo.

McAndrew *et al.*,¹⁷ y Koren *et al.*,²⁵ llegaron a la conclusión de que la determinación del color rosa de una línea de *O. niloticus* originaria del lago Manzala, Egipto esta

controlada por el mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen dominante. Dichos autores realizaron una serie de cruzamientos en los que se incluían hembras rosas cruzadas con machos de color gris y machos rosas con hembras de color gris. Estos cruzamientos produjeron únicamente especímenes de color rosa, lo que confirmó la naturaleza dominante de esta mutación, así como la homocigosidad de los ejemplares utilizados. Los genotipos que proponen los autores se encuentran representados en el Cuadro 4.

Cuadro 4

Modelo propuesto para la coloración rosa en *Oreochromis niloticus* originaria del lago Manzala, Egipto

Grupo Genético	Modelo propuesto	Genotipo propuesto	Fenotipo
<i>O. niloticus</i>	Dominancia completa	RR	Rosa
		Rr	Rosa
		rr	Gris
McAndrew <i>et al.</i> ¹⁷ y Koren <i>et al.</i> ²⁵			

Garduño-Lugo *et al.*,¹² realizaron una selección masal de *O. niloticus* tendiente a la obtención de ejemplares de color rosa y con baja presencia de manchas negras en la piel. Después de cuatro generaciones de selección obtuvieron poblaciones 100 % de color rosa y la prueba de progenie realizada en los ejemplares de esa generación indicaron que se había alcanzado la homocigosidad del genotipo RR. El Cuadro 5 muestra los resultados de la prueba de progenie en ese estudio.

Cuadro 5

Número y porcentaje de crías rosas en la cruce de ejemplares rosas y grises de *Oreochromis niloticus*

♂ Color	♀ Color	Número de crías	Crías rosas (%)
Rojo	Gris	562	100
Rojo	Gris	428	100
Rojo	Gris	56	100
Rojo	Gris	304	100
Gris	Rojo	651	100
Gris	Rojo	595	100
Gris	Rojo	835	100
Gris	Rojo	1656	100

Garduño-Lugo *et al.*¹²

2.1.3 Tilapia taiwanesa

La tilapia taiwanesa de color rojo fue reportada por primera vez por un acuicultor en el sur de Taiwán y se desarrollo a partir de un lote de peces del Instituto de Investigaciones Pesqueras de Taiwán.²⁶ Estos peces se reportaron como híbridos producto del cruce de un mutante rojo de *O. mossambicus* con *O. niloticus*.²⁷

Huang *et al.*,²⁰ propusieron un modelo monogénico para la determinación del color en tilapia taiwanesa con una proporción fenotípica de 3:1 entre el cruzamiento de dos heterocigotos. El Cuadro 6 muestra los resultados obtenidos por estos autores.

Cuadro 6

Cruzas utilizadas para postular el modelo de heredabilidad del color en la tilapia taiwanesa

Cruza	Progenies	No. total de crías	No. de crías rosas	No. de crías rojos	No. de crías grises
Rosa x Rosa	2	235	235	----	----
Rosa x Rojo	2	247	97	85	----
Rosa x Gris	5	1,123	----	1,123	----
Gris x Rosa	2	634	----	634	----
Rojo x Rojo	7	2,731	----	2,056	675
Rojo x Gris	5	2,194	----	1,106	1,088
Gris x Rojo	1	482	----	284	234
Gris x Gris	3	682	----	682	----

Huang *et al.*²⁰

Con base en estos resultados los autores concluyeron que los ejemplares rosas y grises son homocigotos y tienen un genotipo P_2P_2 y P_1P_1 respectivamente, mientras que los individuos rojos son heterocigotos (P_1P_2). Los resultados indicaron que el color de la tilapia taiwanesa muestra una dominancia incompleta. Los investigadores mencionaron que existieron pequeñas variaciones dentro del grupo de individuos rojos, ya que algunos de estos ejemplares mostraron manchas de melanina en el cuerpo y en aletas, de manera tal que el color rojo no fue uniforme dentro de una misma progenie. Los individuos de color rosa mostraron ser menos vigorosos y en algunos casos presentaron deformidades por lo que sugirieron que el gen P_2 podría tener un efecto pleiotrópico en la viabilidad, vitalidad y en la variación del color.

Kuo y Tsay²⁸ realizaron 11 cruzamientos que incluyeron seis cruzas de tilapia taiwanesa de color rojo x rojo, dos cruzas de rojo x blanco y tres cruzas de gris x gris. Incluyeron en su estudio un fenotipo “marrón” considerado como una desviación del rojo, pero bajo el mismo genotipo. Con dos excepciones, la segregación del color observada en la progenie de estos cruzamientos coincide con el modelo de dominancia incompleta. Las dos excepciones consistieron en la ausencia de individuos blancos en uno de los cruzamientos y la ausencia de grises y blancos en otros. Esto lo atribuyen a la baja viabilidad de los individuos blancos. Los resultados de estos cruzamientos son presentados en el Cuadro 7.

Cuadro 7

Segregación del color en las progenies producto de los cruces de progenitores rojos, blancos, marrón y grises de tilapia taiwanesa.

Cruza	Padres		Segregación del color en la progenie (%)				Comentarios
	♀	♂	Gris (P ₁ P ₁)	Marrón (P ₁ P ₂)	Rojo (P ₁ P ₂)	Blanco (P ₂ P ₂)	
1	Rojo (P ₁ P ₂)	Rojo (P ₁ P ₂)	44	 52		4	Excedente de grises; falta de blancos
2	Rojo (P ₁ P ₂)	Rojo (P ₁ P ₂)	29	34	28	9	Falta de blancos
3	Marrón (P ₁ P ₂)	Marrón (P ₁ P ₂)	18	53		28	Falta de grises
4	Rojo (P ₁ P ₂)	Rojo (P ₁ P ₂)			100		Ausencia de grises y blancos
5	Marrón (P ₁ P ₂)	Marrón (P ₁ P ₂)	33	52	 15		Excedente de grises
6	Rojo (P ₁ P ₂)	Rojo (P ₁ P ₂)	28		66	6	Excedente de rojos; falta de blancos
7	Marrón (P ₁ P ₂)	Blanco (P ₂ P ₂)		73	27		Ausencia de blancos
8	Rojo (P ₁ P ₂)	Blanco (P ₂ P ₂)		55	31	14	Falta de blancos
9	Gris (P ₁ P ₁)	Gris (P ₁ P ₁)	100				
10	Gris (P ₁ P ₁)	Gris (P ₁ P ₁)	100				
11	Gris (P ₁ P ₁)	Gris (P ₁ P ₁)	100				

Kuo y Tsay²⁸

Wohlfarth *et al.*,⁹ evaluaron 14 progenies provenientes de reproductores rojos de tilapia taiwanesa, observando que en 13 progenies hubo un promedio del 73% de peces de color rojo y el resto fueron ejemplares de color gris y solo en una progenie el 29% de los animales fueron de color rojo y el 71% fueron de color gris. Los ejemplares rojos y grises fueron cruzados entre sí, observando que en cuatro progenies hubo un promedio del 50% de peces de color rojo y el otro 50% fueron grises y en una quinta progenie únicamente el 18% de las crías fueron de color rojo y el resto grises. Realizaron también cuatro cruces control entre ejemplares grises entre sí, obteniendo progenies grises. Los autores concluyeron que la coloración roja de la tilapia taiwanesa esta representada por un genotipo heterocigoto (P_1P_2) y la coloración rosa y gris por los genotipos homocigotos: P_2P_2 y P_1P_1 respectivamente, por lo que en esta especie el mecanismo genético que rige su coloración es de dominancia incompleta (Cuadro 8).

Cuadro 8

Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en la tilapia taiwanesa

Grupo genético	Modelo propuesto	Genotipo propuesto	Fenotipo
Tilapia taiwanesa	Dominancia parcial	P_1P_1	Gris
		P_1P_2	Rojo
		P_2P_2	Blanco y Rosa

Wohlfarth *et al.*,⁹ Huang *et al.*,²⁰ Kuo Tsay.²⁸

El modelo de dominancia parcial o incompleta como mecanismo genético en la determinación del color rojo en tilapia taiwanesa ha sido confirmado por las diversas investigaciones expuestas. El modelo implica que los individuos rojos de esta tilapia no son una variedad verdadera, ya que es un heterocigoto, y por lo tanto, para producir progenies de color rojo, se requiere del cruzamiento entre individuos grises con blancos o rosas.

2.1.4 Tilapia filipina

La tilapia filipina es un híbrido producto del cruzamiento de hembras híbridas de *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum* procedentes de Singapur, con machos de *O. niloticus* procedentes de Japón.^{25, 29} La progenie de esa cruce produjo la siguiente segregación de

colores: rojo, gris y rojo-naranja-rosa, esta proporción ha ido cambiando eventualmente siendo en sus inicios de 2:1:2 hasta llegar a una proporción de 4:5:1 en el mismo orden.²⁵

Reich *et al.*,²⁹ realizaron una serie de cruzamientos entre ejemplares grises y rojos de tilapia filipina. En la cruce de ejemplares rojos con grises se observó en todas las progenies una relación 1:1 (rojo:gris). En una cruce de ejemplares grises entre si, obtuvieron el 100 % de peces de color gris. Los autores concluyeron que la tilapia filipina roja tiene un genotipo heterocigoto (Rr) y homocigoto dominante (RR) y que la coloración gris esta representada por un genotipo homocigoto recesivo (rr); por lo que el modelo de la herencia del color rojo en tilapia filipina es de dominancia completa.

En un estudio posterior, Koren *et al.*,²⁵ realizaron una serie de cruzamientos entre los fenotipos rojo, blanco y gris de tilapia filipina e incluyeron además a *O. niloticus* y *O. aureus* de color gris bajo el genotipo P₁P₁; analizaron 20 familias de hermanos completos producto de dichas cruces. Sus resultados coincidieron con el modelo de dominancia incompleta propuesto para la determinación del color en tilapia taiwanesa. Los autores atribuyeron las discrepancias con lo reportado por Reich *et al.*,²⁹ a que las poblaciones de tilapia Filipina utilizadas en esos estudios fueron de diferente origen.

2.1.5 Tilapia rocky mountain

Esta variedad se originó en Colorado, EUA, posiblemente producto de la hibridación de *Oreochromis aureus* con *O. niloticus*. Su coloración es plata y no existe información sobre el modelo genético que rige esa coloración característica de este grupo genético.¹⁸

Muñoz⁶ observó que en las crías obtenidas de reproductores rocky mountain de color plata, el 1.5% fueron de color gris, posteriormente Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo,¹⁴ llevaron a talla de reproductores a esos ejemplares grises, los cuales, cuando se aparearon entre sí, dieron crías de color gris, lo que sugirió a los autores que la coloración plata de rocky mountain posiblemente estaba controlada por un mecanismo monogénico de dominancia completa, en donde los peces de color plata rocky mountain, podrían ser homocigotos dominantes (PP) y heterocigotos (Pp), mientras que la coloración gris estaría representada por los homocigotos recesivos (pp), lo que explicaría la presencia de peces

grises en las progenies provenientes de ejemplares de color plata de rocky mountain, reportados por Muñoz,⁶ también se explicaría el hecho de que la cruce entre ejemplares grises produzca un 100% de crías del mismo color.

A continuación se muestra en el Cuadro 9 los modelos genéticos determinantes del color en los diferentes grupos genéticos de tilapias estudiados.

Cuadro 9

Modelos genéticos para la determinación del color en cuatro grupos genéticos de tilapia

Grupo genético	Colores	Modelos	Fuente
<i>O. mossambicus</i>	Rojo Gris	Dominancia Completa	Prugining 1987, Wohlfarth <i>et al.</i> 1990
<i>O. niloticus</i>	Gris Rosa Dorado Naranja	Dominancia Completa	Mires <i>et al.</i> 1988, McAndrew <i>et al.</i> 1988, Scott <i>et al.</i> 1987, Koren <i>et al.</i> 1994, Garduño-Lugo <i>et al.</i> 2004
Tilapia Filipina	Rojo Rosa Blanco Gris	Dominancia Incompleta Dominancia completa	Koren <i>et al.</i> 1994 Reich <i>et al.</i> 1990
Tilapia Taiwanesa	Rojo Rosa Blanco Gris	Dominancia Incompleta	Huang <i>et al.</i> 1988, Kuo Tsay <i>et al.</i> 1988, Wohlfarth <i>et al.</i> 1990

3.0 HIPÓTESIS

El color plata y gris de la tilapia rocky mountain, esta regulado por un modelo monogénico de dominancia completa, en donde los peces con los genotipos PP y Pp, presentan el color plata en la piel, mientras que los homocigóticos recesivos pp, son de color gris.

4.0. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el modelo genético que rige la coloración plata y gris en tilapia rocky mountain.

4.2 Objetivos específicos

Determinar la proporción de crías de color plata y gris en la cruce de machos de color gris con hembras de color plata de la tilapia rocky mountain.

Determinar la proporción de crías de color plata y gris en la cruce de machos de color plata con hembras de color gris de la tilapia rocky mountain.

Determinar la proporción de crías de color plata y gris en la cruce de machos de color plata con hembras del mismo color de la tilapia rocky mountain.

Determinar la proporción de crías de color plata y gris en la cruce de machos de color gris con hembras del mismo color de la tilapia rocky mountain.

5.0 MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Localización geográfica

El estudio se realizó en el módulo de Producción Acuícola del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 5.5 de la carretera federal Martínez de la Torre - Tlapacoyan, municipio de Tlapacoyan, Veracruz a 20°4' latitud norte, 97°3' longitud oeste, y una altura de 151 msnm (Figura 1). Los promedios de temperatura y precipitación pluvial anuales son de 23.4 °C y 1991 mm respectivamente. El clima es de tipo Af(m)w”(e), cálido húmedo con lluvias todo el año, sin estación seca definida.³⁰



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

5.2 Animales experimentales

Los reproductores se obtuvieron de un lote de tilapias rocky mountain ubicadas en el CEIEGT-FMVZ-UNAM. La tilapia rocky mountain se introdujo al CEIEGT en 1998, procedente de la granja acuícola “La Rayana”, ubicada en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Los ejemplares utilizados se han mantenido aislados de otros grupos

genéticos de tilapia, por lo que se consideran libres de introgresiones genéticas con otras tilapias.

Se emplearon 64 reproductores de la tilapia rocky mountain, 32 machos y 32 hembras, de color plata y gris (Figuras 2 y 3), los cuales presentaron los pesos iniciales y longitudes que se muestran en el Cuadro 10. Antes de su apareamiento, se mantuvieron separados por sexo durante quince días para su observación, para ello, se utilizaron jaulas de metal recubiertas de plástico de 1.2 m x 1.2 m x 0.60 m, dentro de un estanque rústico de 10.0 m x 10.0 m, con un volumen de 100 m³, habilitado con un sistema de aireación del agua.

Cuadro 10

Longitud y peso promedio de los reproductores de la tilapia rocky mountain al inicio del experimento

Sexo	Color	Longitud (cm)	Peso (g)
Macho	Platas	23.2 ± 1.2	200 ± 47.8
	Grises	23.8 ± 1.8	236 ± 65
Hembra	Platas	22.6 ± 1.2	189 ± 34
	Grises	21 ± 1.3	167 ± 31.9

Los ejemplares que se aparearon, fueron aquellos que no presentaron lesiones o defectos físicos evidentes reproductivamente aptos, para tal efecto, se revisaron que las hembras presentaran su papila genital bien definida, también se eligieron hembras y machos de buena condición corporal. A los machos se les daba un masaje en la parte ventral y eran escogidos los que expulsaban semen.

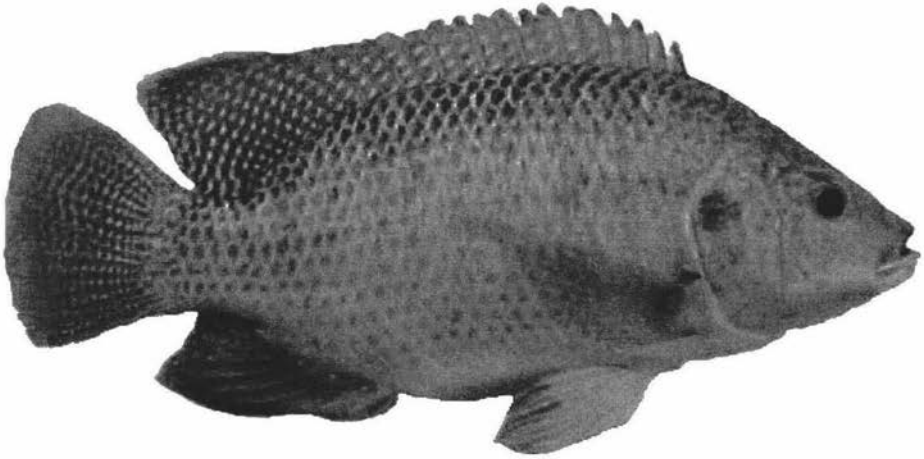


Figura 2. Ejemplar de rocky mountain de color plata

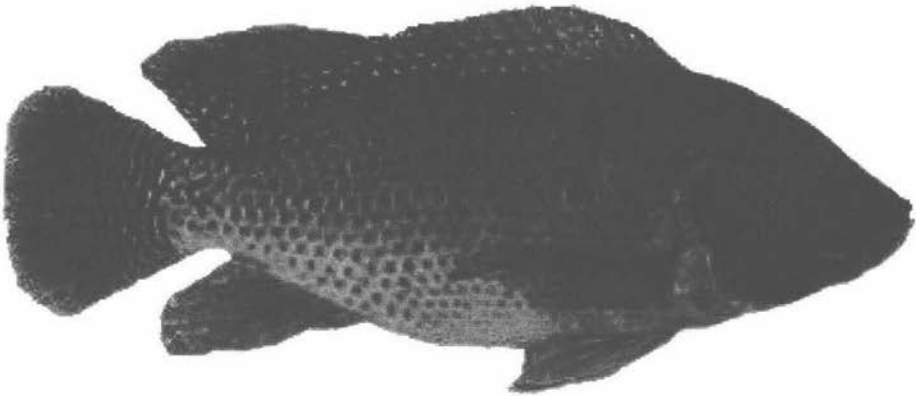


Figura 3. Ejemplar rocky mountain de color gris

5.3 Reproducción

El 21 de junio del 2003, los reproductores se colocaron en los tanques de reproducción. Se realizaron cuatro tipos de cruzamientos según el color de machos y hembras (Cuadro 11), por lo cual se ubicó una pareja de reproductores (macho y hembra) en cada tanque de reproducción.

Cuadro 11

Cruzamientos de reproductores de rocky mountain

Color ♂	Color ♀	Número de parejas
Plata	Gris	8
Gris	Plata	8
Plata	Plata	8
Gris	Gris	8
Total		32

Los tanques de reproducción eran de polietileno de 1.70 m de diámetro con 0.47 m de profundidad, con un volumen de 1 m³. Los tanques se encontraban bajo un sistema de aireación continua del agua mediante un aireador de turbina de un caballo de fuerza. La Figura 4 muestra los tanques utilizados para la reproducción en el presente estudio.



Figura 4. Tanques de reproducción del Módulo de Producción Acuícola del CEIEGT

5.4 Colecta de las crías

La observación de crías en los tanques de reproducción inicio a partir del 15 de Junio del 2003 y finalizó el 9 de diciembre del mismo año. Cuando se detectaban las crías se removían los reproductores, los cuales fueron pesados y medidos (Cuadro 12). Las crías permanecieron en los tanques de reproducción durante un periodo de 15 a 60 días, al final del cual eran contadas y se determinaba su coloración. Los meses donde se observaron más tinas con crías fueron del 7 de julio al 15 de agosto.

Cuadro 12

Peso y longitud promedio de los reproductores de la tilapia rocky mountain de color plata y gris al finalizar el experimento

Sexo	Color	Peso (g)	Longitud (cm)
Macho	Plata	235 ± 36.9	24 ± 1.3
	Gris	263 ± 45.5	25.65 ± 1.5
Hembra	Plata	171 ± 33.5	22 ± 1.44
	Gris	151 ± 35.1	22 ± 1.57

5.5 Alimentación de reproductores y crías

El alimento a los reproductores se les proporcionaba dos veces al día siendo un alimento comercial flotante (Silver Cup, Toluca estado de México). Las partículas de alimento tenían un tamaño de 5.5 mm de diámetro. A las crías se les ofrecía alimento cuatro veces al día siendo un alimento comercial molido y tamizado. El análisis químico proximal de los dos tipos de alimentos se observan en los Cuadros 13 y 14. El porcentaje de proteína se encontró dentro de los rangos adecuados según lo recomendado por Olvera-Novoa y Olivera-Castillo.³¹

Cuadro 13

Análisis químico proximal del alimento consumido por las crías

Componentes	Porcentaje
Materia seca	91.90
Proteína cruda	48.7
Grasa	12.02
Fibra	1.11
Ceniza	12.6
Elementos libres de nitrógeno	22.4

Cuadro 14

Análisis químico proximal del alimento consumido por los reproductores

Componentes	Porcentaje
Materia seca	91.90
Proteína cruda	34.82
Grasa	2.4
Fibra	3.94
Ceniza	6.54
Elementos libres de nitrógeno	44.22

5.6 Relación del número de crías por peso de hembra

Se obtuvo una relación entre el número de crías y el peso de la hembra, mediante la expresión:

$$RCH = NC / PH$$

En donde

RCH = Relación del número de crías por peso de hembra

NC = Número de crías

PH = Peso de la hembra (g)

Dicha relación se obtuvo por separado para hembras platas y grises.

5.7 Medición y manejo de la calidad del agua

Se midieron las principales variables fisicoquímicas del agua con la frecuencia y método e instrumento correspondiente, tal y como se muestra en el Cuadro 15. Cuando la calidad del agua no era la apropiada para los peces, se cambiaba del 65 a 75% del agua y se limpiaban las tinas mediante el cepillado de las paredes para remover los desechos orgánicos.

Cuadro 15

Frecuencia y método o instrumento con que se llevó a cabo la medición de las principales variables fisicoquímicas del agua

Variable	Frecuencia	Horario (h)	Método y/o instrumento
Temperatura ambiente (°C)	Cada tercer día	7:00 y 16:00	Termómetro digital (modelo YSI 55)
Temperatura del agua (°C)	Cada tercer día	7:00 y 16:00	Termómetro digital (modelo YSI 55)
Oxígeno disuelto (mg/l)	Cada tercer día	7:00 y 16:00	Termómetro digital (modelo YSI 55)
pH	Quincenal	7:00	Tiras reactivas (Neutralit pH, Merck)
Transparencia (cm)	Quincenal	12:00	Disco de Secchi
Amonio (mg/l)	Quincenal	7:00	Juego colorimétrico basado en la reacción de Nessler (Aquaquant NH ₄ , Merck)

5.8 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico del porcentaje de crías de color gris y/o plata, se partió de la consideración de que la proporciones de colores esperadas en las cruzas mostradas en el cuadro 11, sería la que se muestra en el Cuadro 16 y que están basadas en un modelo monogénico de dominancia completa, el cual supone que los individuos de color plata presentan un genotipo PP y Pp, mientras que los de color gris presentarían el genotipo pp. Para probar la hipótesis de que no existirían diferencias entre el porcentaje de peces de color plata y gris, supuestos y observados, se aplicó la prueba no paramétrica de ji cuadrada (χ^2).³²

$$\chi^2 = \sum_i (O_i - E_i)^2 / E_i$$

en donde:

O_i = Media general observada del porcentaje de crías de color plata y gris

E_i = Media general esperada del porcentaje de crías de color plata y gris según se muestra en el Cuadro 16.

La hipótesis nula se rechazó cuando el valor de la χ^2 calculado fue mayor al valor de χ^2 de tablas a $P \leq 0.05$ ($\chi^2_{1.05} = 3.841$).

Cuadro 16

Porcentaje de coloración plata esperada según el modelo de dominancia completa propuesto para la determinación del color en la tilapia rocky mountain

Color ♂	Color ♀	Porcentaje esperado de peces de color plata
Plata	Gris	50% ó 100%
Gris	Plata	50% ó 100%
Plata	Plata	75 % ó 100%
Gris	Gris	0 %

6.0 RESULTADOS

6.1 Proporción de colores

La proporción de colores de las crías en los cuatro tipos de cruzamientos se observa en el Cuadro 17. Solo se obtuvieron crías de 23 parejas de un total de 32.

De las cruces en donde los machos fueron de color plata con hembras del mismo color se obtuvieron progenies de cuatro parejas; en donde las crías fueron en su totalidad de color plata. En las parejas en donde los machos fueron de color gris y las hembras de color plata, se obtuvieron crías producto de siete parejas, de las cuales, el color de las crías producto de una pareja, fue en una proporción diferente a lo que se esperaba según el modelo propuesto para la herencia del color en la rocky mountain. En las cruces de machos platas con hembras grises se obtuvieron seis cruces, todas ellas con progenies de colores que se encontraron dentro de lo esperado. En las cruces de machos grises con hembras del mismo color, en ninguno de los casos se obtuvo una proporción distinta a la esperada.

6.2 Relación de numero de crías por peso de hembra.

Se observó una relación 1.24 crías por gramo de hembra gris y de 1.57 crías por gramo de hembra plata, mientras que el promedio general fue de 1.40 crías por gramo de hembra (Cuadro 18).

Cuadro 17

Número de crías de color gris y plata en la progenie de la cruce de reproductores de la tilapia rocky mountain

Cruza (♂ x ♀)	Número de crías obtenidas			Porcentaje observado de crías de color plata	Porcentaje esperado de crías de color plata	χ^2
	Total	Plata	Gris			
Plata x Plata	305	305	0	100	100 o 75	-
Plata x Plata	181	181	0	100	100 o 75	-
Plata x Plata	303	303	0	100	100 o 75	-
Plata x Plata	200	200	0	100	100 o 75	-
Gris x Plata	246	246	0	100	100 o 50	-
Gris x Plata	164	164	0	100	100 o 50	-
Gris x Plata	136	69	67	51	100 o 50	0.03 _{NS}
Gris x Plata	371	217	154	59	100 o 50	10.7*
Gris x Plata	374	184	190	49	100 o 50	0.10 _{NS}
Gris x Plata	417	417	0	100	100 o 50	-
Gris x Plata	358	191	167	53	100 o 50	1.61 _{NS}
Plata x Gris	205	108	97	53	100 o 50	0.59 _{NS}
Plata x Gris	200	88	112	44	100 o 50	2.88 _{NS}
Plata x Gris	217	106	111	49	100 o 50	0.12 _{NS}
Plata x Gris	124	124	0	100	100 o 50	0.14 _{NS}
Plata x Gris	68	36	32	53	100 o 50	0.24 _{NS}
Plata x Gris	97	97	0	100	100 o 50	-
Gris x Gris	246	0	246	0	0	-
Gris x Gris	396	0	396	0	0	-
Gris x Gris	222	0	222	0	0	-
Gris x Gris	388	0	388	0	0	-
Gris x Gris	33	0	33	0	0	-
Gris x Gris	71	0	71	0	0	-

 Desviación significativa ($P < 0.05$) de la proporción de color plata esperada cuando Ji-cuadrada > 3.841 .

NS = No significativo. * Desviación significativa

 χ^2 = Valor de Ji cuadrada de tablas

En las cruces donde se obtuvo un 100% de crías de color plata o gris no fue necesario realizar la prueba de la Ji - Cuadrada

Cuadro 18
Relación entre el número de crías y el peso de la hembra en la tilapia rocky mountain

Cruza (♂ x ♀)	Peso ♂	Peso ♀	Número de Crías	Relación numero de cría / peso de hembra
Plata x Gris	247	130	205	1.58
Gris x Gris	272	174	71	0.41
Gris x Gris	220	130	396	3.05
Gris x Gris	198	136	222	1.63
Plata x Gris	208	124	200	1.61
Gris x Gris	304	170	388	2.28
Plata x Gris	200	154	217	1.41
Plata x Gris	242	112	124	1.11
Gris x Gris	264	114	33	0.29
Gris x Gris	216	214	71	0.33
Plata x Gris	240	114	68	0.60
Plata x Gris	235	160	97	0.61
Promedio	237.36	144	174	1.24
Gris x Plata	292	210	246	1.17
Gris x Plata	345	192	164	0.85
Gris x Plata	276	216	136	0.63
Plata x Plata	252	158	305	1.93
Gris x Plata	320	134	371	2.77
Plata x Plata	322	142	181	1.27
Gris x Plata	210	182	374	2.05
Gris x Plata	270	110	417	3.80
Gris x Plata	208	160	303	1.89
Plata x Plata	196	200	199	.99
Plata x Plata	232	180	358	1.98
Promedio	265.73	171.27	277.64	1.57
Promedio general	251.44	157.63	225.82	1.40

6.3 Características fisicoquímicas del agua.

Los promedios, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de las variables fisicoquímicas del agua de los tanques se encuentran representados en el Cuadro 19.

Cuadro 19
Características fisicoquímicas del agua durante los 265 días del experimento

Variables	Promedio ± D.E.	Valor mínimo	Valor máximo	Rango óptimo
Temperatura del agua (°C)	28.97 ± 2.6	19.8	37.6	24-29
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.89 ± .72	5.03	10.40	Nivel mínimo crítico < 1
Amonio NH ₄ (mg/l)	0.13 ± .08	0.03	0.15	<0.1
pH	6.66 ± .44	6.66	7.25	6.5-7.5
Transparencia (cm)	26.13 ± 10.5	13.2	47	35-45
Temperatura ambiente (°C)	28.14 ± 2.9	23.70	38.50	--

La Figura 5 muestra el comportamiento promedio del oxígeno disuelto en el agua en los estanques utilizados en este trabajo, mientras que la figura 6 muestra el comportamiento de la temperatura del agua, en donde se observa un descenso en esta variable al final del estudio, debido a la presencia en la región de los llamados “nortes”, caracterizados por un descenso de la temperatura ambiente.

Los valores de la transparencia fueron bajos en la mayor parte del estudio (Figura 7), indicando con ello una densidad alta de la comunidad fitoplanctónica, no obstante que los estanques estaban protegidos de la incidencia de luz solar.

El amonio a lo largo del estudio se mantuvo en concentraciones bajas (Figura 8), lejos del valor a partir del cual hay una influencia negativa en el crecimiento de las tilapias (1 mg/l) según lo reportado por la Secretaria de Pesca.²

La Figura 9, muestra el comportamiento del pH a lo largo del estudio, en donde generalmente se observaron valores ligeramente por abajo de 7, lo que corresponde a un agua ligeramente ácida.

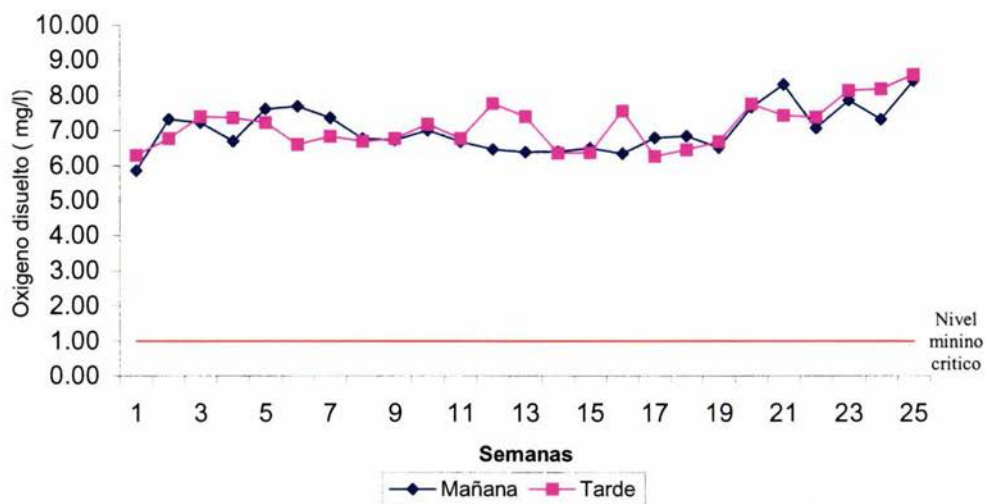


Figura 5. Oxígeno disuelto del agua de los estanques utilizados en el estudio.

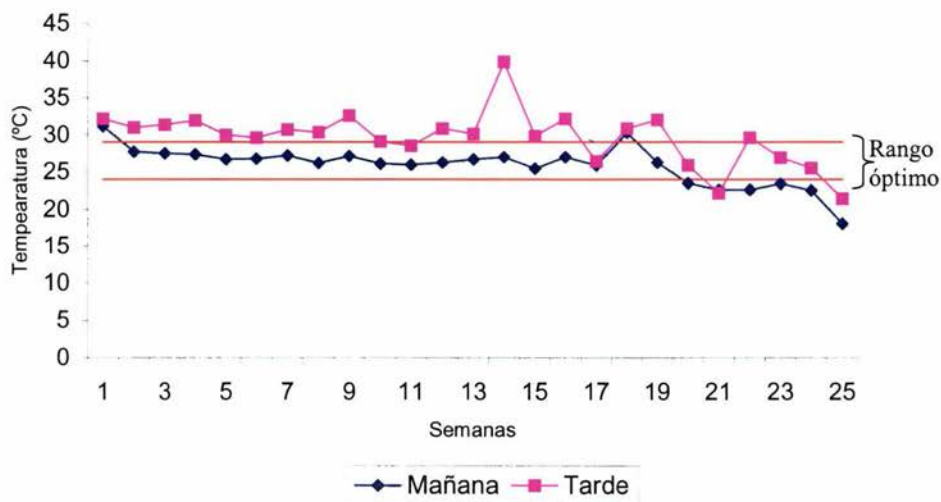


Figura 6. Temperatura del agua de los estanques utilizados en el estudio.

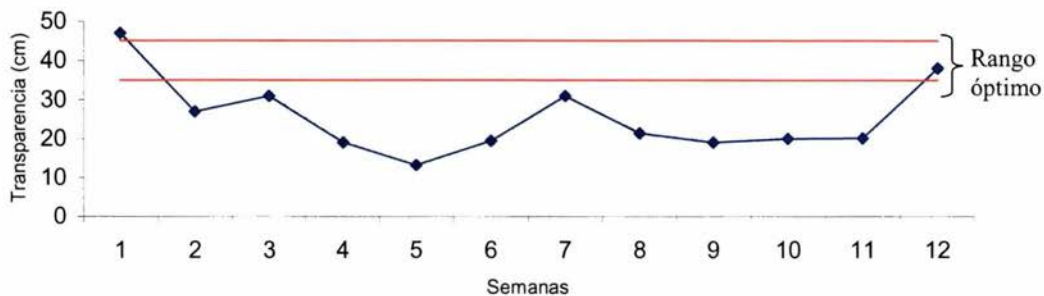


Figura 7. Transparencia del agua de los estanques utilizados en el estudio.

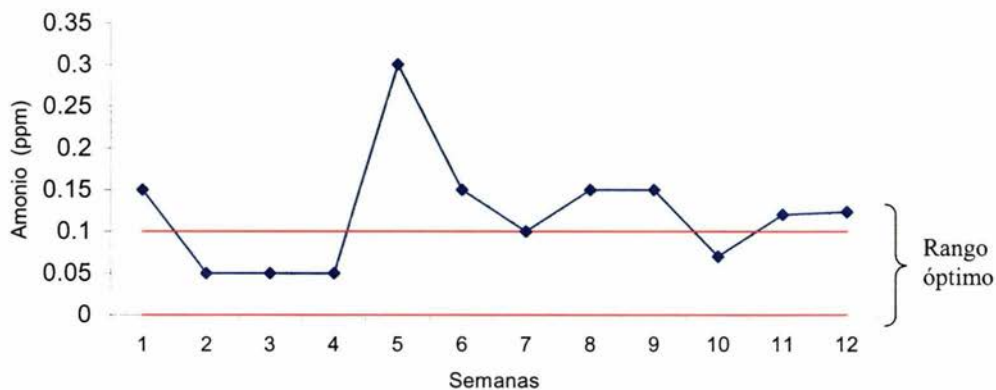


Figura 8. Amonio (NH_4) disuelto en el agua de los estanques utilizados en el estudio.

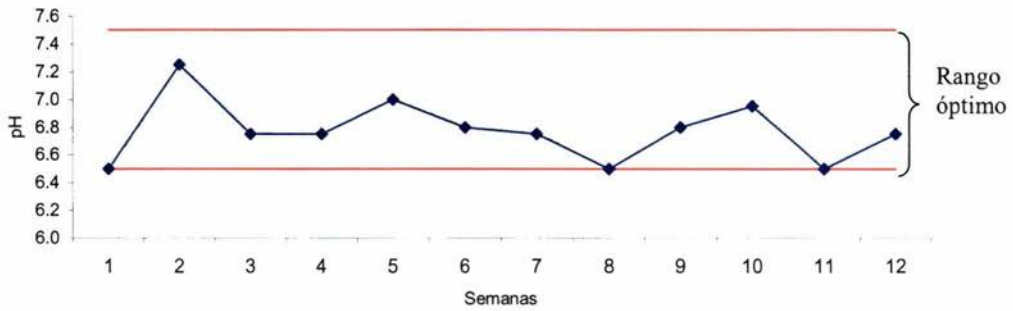


Figura 9. Valores de pH del agua de los estanques utilizados en el estudio

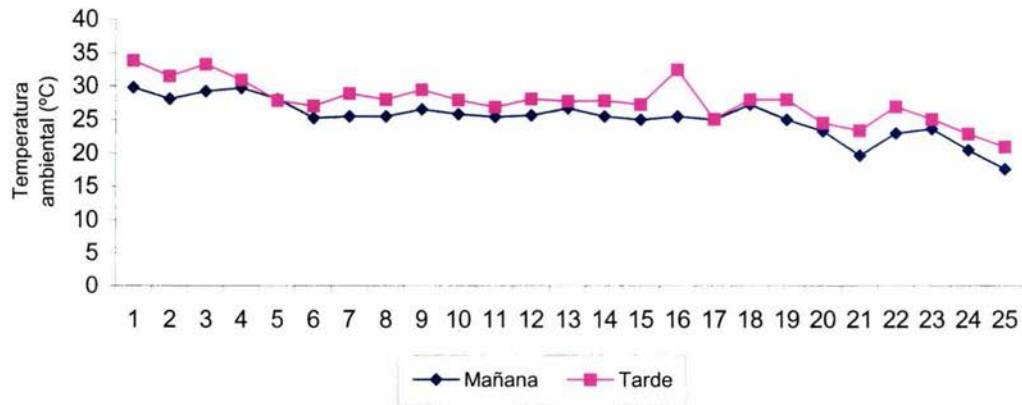


Figura 10. Temperatura ambiental registrada durante el estudio

7.0 DISCUSIÓN

En un estudio realizado por Muñoz,⁶ se reportó la presencia de 1.4% de crías de color gris, resultantes de la cruce de ejemplares rocky mountain de color plata, por lo que el autor sugirió que dicho evento podría deberse a que la coloración plata de rocky mountain estaría controlada por un mecanismo de dominancia completa en donde individuos con genotipo PP y Pp, serían de color plata, mientras que los grises tendrían genotipo pp; con esa hipótesis se explicaba la presencia del pequeño porcentaje de crías grises producto del lote de reproductores de color plata. Los resultados del presente estudio confirman la hipótesis de Muñoz,⁶ deduciendo que en la población de tilapia rocky mountain estudiada, existen dos genotipos para la determinación del color plata: homocigoto dominante (PP) y heterocigoto (Pp), mientras que el genotipo homocigoto recesivo (pp) da como resultado el fenotipo gris.

En el presente estudio, hubo un caso en el que el porcentaje de crías de color plata fue estadísticamente diferente al porcentaje esperado según el modelo propuesto, y fue el caso de la cruce de un macho gris con una hembra plata, en donde se obtuvo un 59% de crías de color plata, cuando lo esperado correspondía a un 50% de crías de ese color. En algunos estudios, sesgos similares entre porcentajes de crías observados y esperados para ciertos colores, se atribuyeron a efectos pleiotrópicos, tal es el caso de la baja viabilidad de crías de color blanco en la tilapia taiwanesa,^{16,28} y a una mayor viabilidad de las crías de color rojo para el caso de *O. mossambicus*;¹⁶ sin embargo en este estudio dado a que solo en un caso se encontró un sesgo significativo de lo esperado, debido al exceso de crías de color plata, se podría atribuir dicha situación a un evento aleatorio, no habiendo suficiente evidencia para dar una explicación biológica a dicho sesgo.

Debido a que el color plata en la tilapia rocky mountain esta sustentado en un mecanismo monogénico, en donde ese color presenta los genotipos: homocigoto dominante y heterocigoto, se debe considerar la factibilidad de poder obtener mediante programas de selección poblaciones de rocky mountain de color plata y sin la presencia de peces de color

gris, los cuales presentan un menor valor económico en el mercado. Para lograr ese objetivo sería necesaria la implementación de un programa de selección masal.

Según Tave,²² el número de generaciones para obtener una población homocigota para el color deseado, depende básicamente del mecanismo de acción génica que actúa sobre la determinación del color, mientras que Mather *et al.*,³³ mencionan que la reducción de manchas de melanina en la piel en tilapia depende de la presión de selección que sea ejercida. Sin embargo, si la presión de selección es alta, el índice de consanguinidad también será elevado y con ello la posibilidad de presentarse una depresión por endogamia en características de interés comercial.²²

Garduño-Lugo *et al.*,¹¹ al realizar este tipo de selección para la obtención de ejemplares de *Oreochromis niloticus* homocigotos dominantes de color rosa, lograron dicho objetivo en cuatro generaciones de selección, una menos de lo esperado según Tave,²¹ por lo que posiblemente en un lapso de entre cuatro y cinco generaciones se podría lograr la obtención de una población homocigota dominante para el color plata en la tilapia rocky mountain.

Las poblaciones de tilapia rocky mountain presentes en México, al no estar sujetas a un programa de selección para el mejoramiento del color, producirán siempre individuos de color plata y gris, al menos que se aplique el programa de selección aquí sugerido, el cual consistiría de realizar cruzamientos durante cuatro o cinco generaciones, entre individuos de color plata y eliminar del programa reproductivo a los ejemplares de color gris.

En el fenotipo plata de rocky mountain no se presentaron manchas de melanina en la piel, lo cual ha sido reportado en las denominadas tilapias rojas.¹⁴ Estas manchas confieren al pez un aspecto que impacta negativamente en su precio en el mercado y esta controlado por los llamados genes modificadores o por la acción de un solo gen con dos alelos, B y b, donde B es responsable de la presencia de manchas y b suprime la presencia de estas.^{17,22} Al parecer, el alelo P en la rocky mountain podría tener un efecto negativo en la manifestación de manchas de melanina, de la misma manera que lo hace el alelo R de *O. niloticus* según McAndrew *et al.*¹⁷

Muñoz-Córdova y Garduño-Lugo,¹⁴ informaron que en la cruce de rocky mountain con *O. niloticus* homocigota dominante (RR) de color rosa, se obtiene una progenie híbrida

de un color denominado perla, sin manchas de melanina, sin embargo dedujeron que para la obtención de ese color en dicha cruce, los ejemplares de rocky mountain deberían ser homocigotos dominantes (PP), de manera tal que la progenie resultante en esa hibridación fuese heterocigota (PR), genotipo que determina la coloración perla. Por tal motivo, si el productor esta interesado en obtener ejemplares híbridos de color perla (rocky mountain x *O. niloticus* rosa) es necesario en primer termino poseer individuos homocigotos dominantes (PP) de rocky mountain. Cabe mencionar que dicho híbrido además de su interesante color desde un punto de vista comercial, ha demostrado mejores características productivas en comparación con otros grupos genéticos de tilapia.^{6,34,35}

Los resultados de este estudio mostraron evidencias de que el mecanismo genético que determina la coloración plata en la tilapia rocky mountain es de tipo monogénico, en donde el fenotipo plata tiene dos genotipos: PP y Pp, mientras que el fenotipo gris presenta el genotipo: pp, por lo tanto para obtener poblaciones de rocky mountain a través del tiempo en forma constante se deberán realizar cruzamientos entre individuos homocigotos dominantes (PP). Se sugiere continuar una segunda fase del presente estudio, en donde se realicen cruzamientos entre las progenies con genotipo Pp, para obtener un segunda generación (F₂), en donde se esperaría obtener progenies con una segregación de colores esperada de 75% de peces de color plata y 25% de peces de color gris, resultados que darían un sustento adicional al mecanismo genético de la herencia del color en la tilapia rocky mountain, que aquí se propone.

Respecto a la relación del número de crías con el peso de la hembra, Galman *et al.*,¹⁸ observo que hay una fuerte relación entre estas dos variables, en dicho estudio los autores emplearon ejemplares rojos de tilapia filipina con una edad de cuatro meses hasta cinco años, obteniendo de 300 hasta 1,300 crías por hembra, presentando índices (Número de crías / peso de la hembra) de 1.5 a 2.5. Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los encontrados por Galman *et al.*,¹⁸ no obstante que los ejemplares ocupados en este estudio fueron de pesos inferiores a los utilizados en las investigación mencionada, lo que supondría que una parte importante del comportamiento reproductivo como la relación número de crías y peso de la hembra, en la tilapia rocky mountain fue normal bajo las condiciones ambientales del presente estudio.

En términos generales las variables fisicoquímicas del agua: temperatura, oxígeno disuelto y pH se encontraron dentro del rango adecuado para la reproducción y crecimiento de la tilapia.² Mientras que el amonio se encontró en valores que sobrepasaron el rango considerado como adecuado, sin embargo no llegó a niveles que causaran un efecto negativo en la reproducción y crecimiento de las crías.²

8.0 CONCLUSIONES

La herencia del color plata en la tilapia rocky mountain esta determinado por un mecanismo monogénico de dominancia completa en donde el fenotipo plata esta determinado por los genotipos: PP (homocigoto dominante) y Pp (heterocigoto) y el genotipo gris por el genotipo: pp (homocigoto recesivo).

9.0 LITERATURA CITADA

1. Rana KJ. Aquatic Environments and use of species groups. In: FAO Fisheries Department editor. Reviews of the state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular, No. 886, Rev. 1. Rome: FAO, 1997.
2. Secretaria de Pesca. Piscicultura de Agua dulce. México (DF): Secretaria de Pesca, 1986.
3. Arredondo-Figueroa JL, Lozano-Gracia S. 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 Univ. Nal. Aut. de Mex., 1996: 7-18.
4. Morales A. El cultivo de la tilapia en México. Datos biológicos. México (DF): Instituto Nacional de la Pesca 1974.
5. SAGARPA. Serie histórica de la producción de mojarra en peso vivo según entidad federativa. 1991-2001. Anuario 2001 (serie en línea) 2003 disponible en: URL: <http://www.sagarpa.gob.mx/pesca>.
6. Muñoz G. Heterosis, habilidad combinatoria, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especie de tilapia (tesis de maestría). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Univ. Nal. Aut. de Mex., 2000.
7. Wohlfarth GW, Hulata G. Applied genetics of tilapias. ICLARM Studies and Reviews Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resource and Management. 1983.

8. DeWandel R. Avances en la acuicultura de las tilapias en aguas salobres. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia; 1996 junio 20-22; México (DF) México. México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Univ. Nal. Aut. de Mex., 1996: 225-231.

9. Fitzsimons K. Marketing of tilapia in the USA. (serial online) 1996. available from: URL: hyperlink <http://ag.arizona.edu/azaqua/tilapia/tjailand/paper.htm>.

10. Fitzgerald WJ. The red-orange tilapia a hybrid that could become a world favourite. Fish Farming International 1979; 6: 25-29.

11. Garduño-Lugo M, Granados-Álvarez I, Olvera-Novoa MA, Muñoz-Córdova G. Compararison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia x Stirling red *O. niloticus*) males. Aquaculture Research 2003; 34: 1023-1028.

12. Garduño-Lugo M, Muñoz-Córdova G, Olvera-Novoa MA. Mass selection for red colour in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Aquaculture Research 2004; 35: 340-344.

13. Boyd C. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama, USA: Auburn University Press, 1979.

14. Muñoz-Córdova G, Garduño-Lugo M. Mejoramiento genético en tilapia. Sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos en la determinación del color. 1ª ed. Veracruz (Veracruz): Sistema de Investigación del Golfo de México y Univ. Nal. Aut. de Mex. 2003.

15. Behrends LL, Smitherman RO. Dvelopment of a cold-tolerant population of red tilapia through introgressive hybridization. *Journal of World Mariculture Society* 1984; 15: 172-178.

16. Wohlfarth GW, Rothbard S, Hulata G, Szweigman D. Inheritance of red body coloration in taiwanese tilapia and *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture* 1990; 84: 219-234.

17. McAndrew BJ, Roubal FR, Roberts RJ, Bullock AM, McEwen IM. The genetics and histology of red, blond and associated colour variants in *Oreochromis niloticus*. *Genetica* 1988; 76: 126-137.

18. Galman OR, Moreau J, Avtalion RR. Breeding Characteristics and Growth performance of philippine red tilapia. The Second International Symposium on Tilapias in Aquaculture; 1988 march 16-20; Bangkok. Manila: Department of fisheries, Bangkok Thailand and International Center for Living Aquatic Resource Management, 1988: 169-175.

19. Watanabe WO, Clark JH, Dunham JB, Wicklund RI, Olla BL. Culture of Florida red tilapia in marine cages: the effect of stocking density and dietary protein on growth. *Aquaculture* 1990; 90: 123 – 134.

20. Huang CM, Chang SL, Cheng HJ, Liao IC. Single gene inheritance of red body coloration in taiwanese red tilapia. *Aquaculture* 1988; 74: 227-232.

21. Tave D. *Genetics for Fish Hatchery Managers*. Connecticut: AVI, 1986.

22. Pruginin Y. The possibility of intensive tilapia culture, using geothermal waters in the Araba Valley and various fish species. (MSc. Thesis). Israel: Tel Aviv University, 1987.

23. Scott AG, Mair GC, Skibinski DOF, Beardmore JA. "Blond": a useful new genetic marker in the tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture and Fisheries Management* 1987;18: 159-165.

24. Mires D. The inheritance of black pigmentation in two African strains of *Oreochromis niloticus*. The Second International Symposium on Tilapias in Aquaculture; 1988 march 16-20; Bangkok. Manila: Department of fisheries, Bangkok Thailand and International Center for Living Aquatic Resource Management, 1988; 76: 237-241.

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

26. Kuo H. Notes on the hybridization of tilapia. *JCRR Fish Ser* 1969; 8: 116-117.

27. Liao IC, Chen TP Status and prospects of tilapia culture in Taiwan. *Proceedings of the 1st International Symposium on Tilapia in Aquaculture*; 1983 May 8-13; Nazareth, Israel. Tel Aviv University 1983: 588-598

28. Kuo H, Tsay T. Study on the genetic improvement of red tilapia. Crossbreeding of red tilapia and its growth. *Bull taiwanese fish res inst* 1988; 44: 151-165.

29. Reich L, Don J, Avtalion RR. Inheritance of red color in tilapias. *Genetica* 1990; 80: 195-200.

30. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2da reimpression. México (DF): Instituto de Geografía, Univ. Nal. Aut. de Mex. 1981

31. Olvera-Novoa MA, Olivera-Castillo L. Nutrición y alimentación de la tilapia. *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 Univ. Nal. Aut. de Mex., 1996: 158-180.

32. Daniel W. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 3ª ed. México (DF): Limusa 1996.
33. Mather PB, Lal SN, Wilson J. Experimental evaluation of mass selection to improve red body colour in fijan hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). Aqua Res 2001; 32: 329-336.
34. Jiménez A. 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 de licenciatura). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Univ. Nal. Aut. de Mex, 2002.
35. Cano X. Mejoramiento genético de rasgos productivos en tres especies de tilapia: *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757), *O. mossambicus* (Peters, 1852) y *O. aureus* (Steindachner, 1864), mediante cruzamientos terminales, en la zona centro-norte del estado de Veracruz. Xalapa (Veracruz) México: Facultad de Biología. Univ. Veracruzana, 2002.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA