

01673



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

HETEROSIS, HABILIDAD COMBINATORIA, PROPORCION DE SEXOS
Y SEGREGACION DEL COLOR ROJO EN UN CRUZAMIENTO
DIALELICO COMPLETO DE TRES ESPECIES DE TILAPIA (*Oreochromis
niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*)

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN PRODUCCION ANIMAL

P R E S E N T A:

GERMAN MUÑOZ CORDOVA

273101

ASESORES: MSc. Pedro Ochoa Galván
M. en C. Mario Garduño Lugo

MEXICO. D. F.

2000



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.

El autor da consentimiento a la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, para que la tesis esté disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario

Germán Muñoz Córdova

Con Amor para ti abuelita

Agradecimientos

A ti Adriana, por tu amor y por hacer de este episodio de mi vida, algo especial.

A mi madre, Sra. Rosa Córdova de Muñoz, a mi padre Sr. Germán Muñoz Reyes y a mis hermanos, Miguel, Omar, Jair y Rosita de quienes recibí apoyo constante desde el primer día en que decidí realizar estudios de posgrado y sobre todo por el cariño que me brindan.

A mi director de tesis, Dr. Pedro Ochoa Galván por su amistad y por haber aceptado dirigir este modesto trabajo.

A mi asesor de tesis, Dr. Mario Garduño Lugo por su apoyo en el trabajo experimental y sus apreciables sugerencias, pero sobre todo por la amistad y confianza que me ha brindado en todo momento.

Al Dr. Angel Martínez Garza, quien me brindo todo su apoyo en el procesamiento estadístico de la información.

Al Dr. Andrés Aluja Shunemann, Director Técnico del CEIEGT, por el apoyo recibido en la realización de este trabajo en las instalaciones del CEIEGT y su interés en la finalización de este documento.

A mis compañeros del CEIEGT-FMVZ-UNAM, por su amistad y confianza.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, que me brindo la oportunidad de realizar estudios de maestría y de quien recibí una beca para la realización del trabajo experimental mediante el Programa de Apoyo a la Investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo en el otorgarme una beca para la realización de estudios de maestría.

Al Sindicato de trabajadores de la Industria Azucarera y Similares de la República Mexicana, por apoyarme económicamente en mis estudios de posgrado.

Al personal de la Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 90 de Nautla, Ver., por permitirme ser parte de ellos y por su valioso apoyo en la realización del trabajo experimental.

A la Granja Piscícola "EL Quetzal" por la donación de peces para la investigación.

A mis amigos, por su confianza y aliento necesario para seguir adelante.

Gracias al comité revisor de tesis: Dr. Carlos Sosa Ferreira, Dr. Raúl Ulloa Arvizu y al Dr. Raúl Pineda López, por sus apreciables comentarios y sugerencias a este trabajo

Agradezco infinitamente a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de superarme académicamente y por permitirme estar a su servicio.

INDICE

| | Página |
|--|--------|
| 1.- INTRODUCCION | 1 |
| 2.- REVISION DE LITERATURA | 3 |
| 2.1.- Comparación de rasgos productivos entre diferentes grupos genéticos de tilapias | 3 |
| 2.2.- Origen de las tilapias rojas y mecanismos genéticos en la determinación del color rojo | 7 |
| 2.2.1.- Tilapia taiwanesa | 8 |
| 2.2.2.- Tilapia filipina | 10 |
| 2.2.3.- <i>Oreochromis mossambicus</i> | 10 |
| 2.2.4.- <i>Oreochromis niloticus</i> | 12 |
| 2.3.- Mecanismos en la determinación del sexo en tilapia | 13 |
| 2.4.- El diseño dialélico y la estimación de parámetros genéticos de cruzamiento en peces | 15 |
| 3.- MATERIAL Y METODOS | 24 |
| 3.1.- Localización del CEIEGT | 24 |
| 3.2.- Especies utilizadas en el estudio | 24 |
| 3.3.- Cruzamiento dialélico | 26 |
| 3.4.- Control y medición de la calidad del agua | 29 |
| 3.5.- Determinación de rasgos productivos | 29 |
| 3.5.1.- Supervivencia | 30 |
| 3.5.2.- Ganancia diaria de peso (GDP) | 30 |
| 3.5.3.- Tasa de conversión de alimento (TCA) | 30 |
| 3.6.- Análisis estadístico de los rasgos productivos | 31 |
| 3.7.- Determinación de efectos genéticos | 31 |
| 3.7.1.- Heterosis | 31 |
| 3.7.2.- Habilidad combinatoria general | 32 |
| 3.7.3.- Habilidad combinatoria específica | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 3.7.4.- Efectos maternos | 33 |
| 3.8.- Análisis estadístico de los efectos genéticos | 33 |
| 3.8.1.- Modelo estadístico | 33 |
| 3.8.2.- Componentes de varianza | 34 |
| 3.9.- Determinación de la segregación de colores | 36 |
| 3.10.- Determinación del porcentaje de sexos | 37 |
| 3.10.1.- Análisis estadístico del porcentaje de sexos | 37 |
| 4.- RESULTADOS | 39 |
| 4.1.- Características fisicoquímicas del agua | 39 |
| 4.2.- Rasgos productivos | 40 |
| 4.3.- Efectos genéticos | 47 |
| 4.3.1.- Heterosis | 47 |
| 4.3.2.- Habilidad combinatoria general | 48 |
| 4.3.3.- Habilidad combinatoria específica | 48 |
| 4.3.4.- Efectos maternos | 50 |
| 4.3.5.- Componentes de varianza | 51 |
| 4.4.- Segregación de colores | 53 |
| 4.5.- Proporción de sexos | 56 |
| 5.- DISCUSION | 58 |
| 6.- LITERATURA CITADA | 71 |
| ANEXO. Cuadros de análisis de la varianza de los efectos genéticos de cruzamiento: habilidad combinatoria general, habilidad combinatoria específica, efectos maternos y el efecto recíproco para cada uno de los rasgos productivos estudiados | 84 |

INDICE DE CUADROS

| | Página | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1 | Genotipos propuestos para la determinación del color rojo en tilapia taiwanesa. | 8 |
| Cuadro 2 | Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en tilapia taiwanesa. | 9 |
| Cuadro 3 | Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en <i>Oreochromis mossambicus</i> . | 12 |
| Cuadro 4 | Modelo propuesto para la herencia de la coloración rosa en <i>Oreochromis niloticus</i> originaria del lago Manzala, Egipto. | 13 |
| Cuadro 5 | Heredabilidad (h^2) (\pm error estándar) para varias características en <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>O. aureus</i> , <i>O. mossambicus</i> y tilapia tailandesa | 21 |
| Cuadro 6 | Pesos promedio (g) (\pm desviación estándar) de los reproductores de las tres especies utilizadas en el sistema de cruzamiento. | 26 |
| Cuadro 7 | Cruces intra e interespecíficos de las tres especies de tilapias. | 26 |
| Cuadro 8 | Composición químico proximal del alimento suministrado durante la fase de engorda. | 28 |
| Cuadro 9 | Medición de las principales características fisicoquímicas del agua. | 29 |
| Cuadro 10 | Modelos cromosómicos propuestos en diferentes especies de tilapias para la determinación del sexo. | 38 |
| Cuadro 11 | Características fisicoquímicas del agua durante los 60 días de la fase de crecimiento de los nueve grupos genéticos. | 39 |
| Cuadro 12 | Rasgos productivos de machos y hembras en conjunto de los nueve grupos genéticos para las características peso final, ganancia diaria de peso y talla final. | 41 |
| Cuadro 13 | Rasgos productivos de machos de los nueve grupos genéticos. | 44 |
| Cuadro 14 | Rasgos productivos de hembras de los nueve grupos genéticos. | 45 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 15 | Valores porcentuales de heterosis en los tres tipos de híbridos. | 47 |
| Cuadro 16 | Habilidad combinatoria general de las tres especies para las características en estudio. | 48 |
| Cuadro 17 | Habilidad combinatoria específica en los nueve grupos genéticos para los rasgos en estudio. | 49 |
| Cuadro 18 | Diferencias de efectos maternos entre las diferentes especies utilizadas en el estudio. | 50 |
| Cuadro 19 | Componentes de varianza para los rasgos en estudio. | 51 |
| Cuadro 20 | Componentes de la varianza fenotípica, genotípica y ambiental y el índice de herencia para los rasgos en estudio. | 52 |
| Cuadro 21 | Segregación del color en los nueve grupos genéticos. | 53 |
| Cuadro 22 | Porcentajes de sexos observados en los nueve grupos genéticos comparados con los porcentajes esperados de 50% para machos y 50% para hembras. | 56 |
| Cuadro 23 | Porcentajes de sexos observados en cuatro de los nueve grupos genéticos comparados con los porcentajes esperados bajo el sistema XY y WZ. | 57 |
| Cuadro 24 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final general de los nueve grupos genéticos. | 84 |
| Cuadro 25 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso general de los nueve grupos genéticos. | 85 |
| Cuadro 26 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final de machos de los nueve grupos genéticos. | 85 |
| Cuadro 27 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final de hembras de los nueve grupos genéticos. | 86 |
| Cuadro 28 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso de machos de los nueve grupos genéticos. | 86 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 29 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso de hembras de los nueve grupos genéticos. | 87 |
| Cuadro 30 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en sobrevivencia de los nueve grupos genéticos. | 87 |
| Cuadro 31 | Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en conversión alimenticia de los nueve grupos genéticos. | 88 |

RESUMEN

HETEROSIS, HABILIDAD COMBINATORIA, PROPORCION DE SEXOS Y SEGREGACION DEL COLOR ROJO EN UN CRUZAMIENTO DIALELICO COMPLETO DE TRES ESPECIES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*). TESIS DE MAESTRIA EN PRODUCCION ANIMAL (GENETICA), UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. GERMAN MUÑOZ CORDOVA. 1999. ASESORES: MSC. PEDRO OCHOA GALVAN Y MC. MARIO GARDUÑO LUGO.

Se realizó un cruzamiento dialélico completo entre *Oreochromis niloticus* rosa (N), *O. mossambicus* roja (M) y *O. aureus* línea "Rocky Mountain White" (A), con el objeto de determinar el efecto de heterosis, la habilidad combinatoria general y la habilidad combinatoria específica para los rasgos: peso final (PF), ganancia diaria de peso (GDP), tasa de conversión de alimento y sobrevivencia, así como la segregación del color rojo y la determinación de la proporción de sexos en los cruces interespecíficos. Adicionalmente se estimó la heredabilidad (h^2) de los cuatro rasgos productivos mencionados. El peso inicial promedio de los peces varió entre 3.1 a 4.8g y estos fueron colocados en 27 tinas de plástico de 750 litros cada una. Se utilizaron tres tinas para cada grupo genético con una densidad de 100 peces por tina. El periodo de evaluación fue de 60 días, durante el cual se agregó *ad libitum* alimento con 43% de proteína cruda. La cruce que presentó valores importantes de heterosis fue $N\sigma \times A\phi$ para los rasgos de PF (38.8%) y GDP (44.1%). No se encontró un nivel significativo ($P>0.05$) en los efectos de habilidad combinatoria general, ni en efectos maternos. Sin embargo hubo un efecto significativo ($P\leq 0.05$) en la habilidad combinatoria específica para todos los rasgos en estudio. El valor mas alto de heredabilidad fue de 0.19 para la sobrevivencia, mientras que en el resto de los rasgos fue de 0 a 0.002. Los híbridos con un alto porcentaje de peces rojos fueron: $M\sigma \times N\phi$ (100%) y $N\sigma \times M\phi$ (99.65%). Además de la coloración de las líneas progenitoras, en las progenies de todos los cruzamientos aparecieron uno o tres colores adicionales y en diferentes proporciones: gris, dorado claro y blanco. La proporción de sexos encontrada en los híbridos no fue consistente con el modelo cromosómico para la determinación del sexo (sistema XY y WZ). Los grupos genéticos que presentaron los mejores valores productivos, así como también patrones de coloración atractivos para el mercado fueron: $A\sigma \times N\phi$; $M\sigma \times N\phi$; $N\sigma \times M\phi$ y $N\sigma \times N\phi$ por lo que se sugieren cultivar a escala comercial. La significancia en el efecto de habilidad combinatoria específica y los valores bajos de heredabilidad sugieren una cualidad no aditiva de las contribuciones de los progenitores al valor fenotípico de la descendencia.

Palabras clave: tilapias, *Oreochromis*, cruzamiento dialélico, heterosis, habilidad combinatoria, heredabilidad.

1.-INTRODUCCION

México cuenta con las condiciones necesarias en recursos climáticos, geográficos e hídricos para su aprovechamiento en actividades de producción acuícola, sin embargo, actualmente la producción de dicho sector ha sido mínima no obstante el gran potencial que el país tiene para su desarrollo.

La explotación piscícola en México esta basada en diversas especies introducidas, dentro de las que destacan los cíclidos Africanos denominados tilapias, por ocupar el primer lugar en la captura pesquera epicontinental en México, con 100 mil toneladas anuales, representando con esto una fuente importante de alimento y empleos (Arredondo *et al.*, 1994).

Desde 1964 se han importado en México, cinco especies de tilapias (tribu tilapiini), siendo éstas: *Oreochromis aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. urolepis hornorum* y *Tilapia rendalli* (Arredondo y Guzmán, 1985). Actualmente la distribución de estas tilapias comprende toda la República Mexicana en donde se desarrollan cultivos extensivos, semiintensivos e intensivos (Morales, 1991).

Se han cumplido ya 34 años desde su primera introducción y a pesar de haberse constituido como una actividad importante desde el punto de vista económico y en la producción de alimento de alto valor biológico y sin la necesidad de realizar un análisis profundo se puede afirmar que la evolución zootecnica de las tilapias en el país ha sido mínima. Por tal motivo el potencial productivo de dichos peces no se ha manifestado plenamente debido en gran medida al desconocimiento de su manejo zootecnico y genético, lo que ha resultado en cruces ínter e intraespecíficos indeseables, provocando bajas producciones, seguido de desmotivación por invertir en este rubro (Garduño, 1996).

Dentro de los factores prioritarios para el desarrollo del cultivo de tilapia en el país, se encuentran: la caracterización productiva de las especies y líneas de tilapias presentes en México, el acceso a especies genéticamente mejoradas en sus variables productivas y en su apariencia, así como estrategias confiables y sencillas en la obtención de poblaciones monosexo (sólo machos).

El mejoramiento genético en peces tiene una historia corta en comparación con lo realizado en la agricultura y en los animales domésticos; sin embargo existe actualmente un amplio consenso en el

hecho de que la genética aplicada y en especial la genética cuantitativa pueden tener un gran impacto positivo en la acuicultura (Gjedrem, 1985).

Las diferencias entre distintos grupos genéticos, ya sean líneas, razas, especies etc., son una fuente importante de mejoramiento genético el cual esta dado por: a) la combinación de características deseables de dos o más tipos genéticos, b) la explotación del vigor híbrido o heterosis, c) la absorción de animales hacia un genotipo superior y d) el desarrollo de nuevas razas (Dickerson, 1969; Herrera, 1985; Falconer, 1989).

Las tilapias se caracterizan por alcanzar su madurez sexual mucho antes de obtener un tamaño comercial lo que provoca una sobrepoblación en estanques de engorda, con la consecuente disminución de la talla, por lo que cruces interespecíficos en tilapia se han orientado principalmente a obtener poblaciones monosexuales, ya que la hibridación interespecífica entre el cruzamiento de algunas especies de este grupo de peces puede resultar en progenies de solo machos (Wohlfarth y Hulata, 1983; López y Toro, 1990;), sin embargo pocos estudios han sido enfocados a la evaluación del desempeño productivo de híbridos y de las especies parentales de estos (Wohlfarth y Hulata, 1983).

Son limitados los trabajos de investigación sobre especies acuícolas que incluyan estudios avanzados para la determinación de programas de mejoramiento genético, como son la estimación de parámetros en cruzamientos entre los que se encuentran: los efectos de heterosis, habilidad combinatoria general, habilidad combinatoria específica y los efectos maternos. En este aspecto los experimentos de cruza dialélicas ofrecen la oportunidad para la estimación de parámetros de cruzamiento y la consecuente evaluación de grupos genéticos que tiendan al planteamiento de mejores programas de mejoramiento genético animal.

2.-REVISION DE LITERATURA

2.1.-Comparación de rasgos productivos entre diferentes grupos genéticos de tilapias

Rasgos productivos entre diferentes especies de tilapias. La capacidad de crecimiento es una de las características más importantes en la elección de una especie determinada 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 (Wohlfarth y Hulata, 1983; Muñoz y Garduño, 1994a). Los resultados en sistemas de cultivo pueden ser muy diferentes, dadas las condiciones imperantes, como: densidad de población, calidad y cantidad del alimento, calidad del agua, manejo y demás factores que afectan directamente el crecimiento de los peces (Wohlfarth y Hulata, 1983). Otras características que deben considerarse en la elección de la especie a cultivar son: la tasa de conversión alimenticia y la sobrevivencia (López-Fanjul, 1987).

O. niloticus y *O. aureus* son las especies que presentan las mejores características productivas dentro del grupo de las tilapias que se cultivan (Payne y Collinson, 1983; Pullin, 1983; Zimmermann, 1995) 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 (Zimmermann, 1995).

Con base en una comparación en el crecimiento de *O. aureus* y *O. mossambicus* bajo diferentes tipos de manejo, Bowman (1977) 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).

Eguiar *et al.* (1982) 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). Llevaron a cabo también una evaluación en estanques rústicos, en donde *O. niloticus* mostró superioridad (0.98 a 1.2 g/día) sobre *O. mossambicus* (0.84 a 0.64 g/día) y *T. rendalli* (0.30 a 0.88 g/día).

Landa *et al.* (1994) no encontraron diferencias en el peso final ni en la sobrevivencia entre *O. mossambicus* roja (45g y 91.3%) y *O. niloticus* rosa (58.8g 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/d) a *O. mossambicus* (181.3 g y 0.98 g/d). Igual situación encontraron con la

sobrevivencia la cual fue de 100% y 95% en el mismo orden. Respecto a la conversión alimenticia encontraron que *O. mossambicus* fue menos eficiente (2.8) con respecto a *O. niloticus* (2.0). Sánchez *et al.* (1995) realizaron esta misma comparación a escala comercial en la fase de desarrollo, en donde *O. niloticus* obtuvo mayores ganancias de peso (0.45 g/d) con respecto a *O. mossambicus* (0.34 g/d); reportaron también mejor conversión alimenticia en la primera especie (0.98) con respecto a la segunda (1.27). Las sobrevivencias fueron de 96 y 90% en el mismo orden.

Rasgos productivos de tilapias rojas. Un aspecto de relevancia en los últimos años ha sido la selección de peces de colores atractivos para el consumidor. Sin embargo, Gamal El *et al.* (1988), consideran que antes de recomendar la producción comercial de dichos fenotipos, deben ser identificados los efectos pleiotrópicos negativos asociados a la coloración que pudiesen estar incidiendo en la producción, ya que no son bien conocidos los efectos pleiotrópicos de los genes que producen las coloraciones diferentes del tipo silvestre (gris), sobre rasgos productivos como crecimiento y sobrevivencia. El mismo autor encontró baja sobrevivencia en las etapas embrionaria, de crianza y engorda en ejemplares híbridos (*O. aureus* x *O. niloticus*) de coloración roja sobre aquellos de color gris.

Fitzgerald (1979) informó del bajo crecimiento y la alta susceptibilidad a enfermedades y estrés de un mutante albino de tilapia taiwanesa y destacó que los peces rojos de esta tilapia mostraban bajas tasas de crecimiento. Visiedo *et al.* (1984) encontraron un mejor rendimiento en ejemplares grises (443 a 1078 kg/ha) con respecto a los rojos (296 a 929 kg/ha) en híbridos de *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum*. Matricia *et al.* (1989) encontraron resultados similares a Visiedo *et al.* (1984) en diferentes especies e híbridos de tilapia bajo diferentes sistemas de explotación en granjas piscícolas de Indonesia.

Teichert-Coddington *et al.* (1990) realizaron un estudio comparativo entre tilapias rojas y grises, ambas producto de varias generaciones de retrocruzas de *O. mossambicus* roja x *O. niloticus* gris procedentes de Alabama, E.U., e informaron que no encontraron diferencias en su crecimiento (252 g para la gris y 253 para la roja), no siendo así para la sobrevivencia, en donde para la primera fue de 37% y para la segunda de 83%, en donde atribuyeron estas diferencias a una mayor depredación por aves hacia los peces rojos.

Johansen (1994), comparó el crecimiento de la línea rosa (pintos) de *O. niloticus* con respecto a la gris (color silvestre) y observó que en la fase de engorda, la primera fue superior (342.4g y

2.3 g/d) a la segunda (306.8g y 2.0g/d); la sobrevivencia en ambas líneas fue de 95 y 97.5% respectivamente. Sin embargo, los autores mencionaron que los ejemplares de *O. niloticus* rosa, consistían de ejemplares manchados, es decir, peces con áreas pigmentadas de color negro en el cuerpo. En un trabajo posterior, Muñoz y Garduño (1994b) separaron los peces rojos de esa especie, en tres diferentes coloraciones: rojo, rosa y pinto y compararon su crecimiento junto con peces de color normal (gris) durante la fase de crianza (70 días), no se encontraron diferencias entre los peces de las distintas coloraciones en las características de ganancia diaria de peso (0.44 a 0.55 g/día) y sobrevivencia (83 a 92%), mientras que en la fase de finalización a talla comercial no existieron diferencias entre las coloraciones pinta (243.0 g y 1.3 g/día) y gris (222.0 g y 1.2 g/día), ni entre la gris y roja (199.0 g y 1.0 g/día), sin embargo los peces pintos fueron superiores a los rojos. Los peces rosas (154.0 g y 0.70 g/día) fueron inferiores al resto. En los cuatro fenotipos reportaron una sobrevivencia del 100% y conversiones alimenticias de 1.9 a 3.1.

Rasgos productivos de híbridos de tilapias. La ventaja en crecimiento de híbridos en el género *Oreochromis*, ha sido atribuida al efecto de vigor híbrido (Avault y Shell, 1968, Hopher y Pruginin, 1985), aunque existen autores que cuestionan la importancia de dicho efecto (Yashou y Halevy, 1967; Krasznai, 1987).

Muñoz y Garduño (1994a) 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 se encontraron diferencias de pesos finales entre el híbrido (276.4 g y 1.37 g/d) y *O. niloticus* (239.6 g y 1.27 g/d), ni entre éste último con *O. mossambicus*, sin embargo hubo diferencias entre el híbrido y *O. mossambicus*; las sobrevivencias encontradas fueron de 100, 90.6 y 87.5% en el híbrido, *O. niloticus* y *O. mossambicus* respectivamente. Debido al color rojo de *O. mossambicus*, fue desde el punto de vista económico, la más rentable. Por otro lado, Avault y Shell (1968) encontraron que el híbrido de la misma cruce, creció mejor que cualquiera a de los progenitores, misma situación fue reportada con el híbrido *O. niloticus* x *O. hornorum* (FAO/UN, 1965).

Wohlfarth *et al.* (1983) 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

* En lo sucesivo, para la representación de ejemplares híbridos se optará por mencionar primero a la especie paterna y en segundo término a la especie materna.

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 sobrevivencias aceptables (>90%) con excepción de NH con sólo el 30% de sobrevivencia, este híbrido mostró también la más baja producción de crías.

Hulata *et al.* (1995) evaluaron durante las fases de crianza y engorda, el crecimiento 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 fué de 100% roja, no así para el segundo híbrido. La cruce Nr x A 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.

Siddiqui y Al-Harbi (1995) compararon algunos rasgos productivos durante cuatro fases de crecimiento de las siguientes 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 desde 1.24 (*O. niloticus*) hasta 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) 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 la línea egipcia en comparación con las otras tilapias.

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. Por otro lado las coloraciones diferentes al tipo silvestre (gris), como lo son las tilapias rojas, naranjas, blancas, etc. han mostrado baja sobrevivencia respecto a las grises, debido a una fácil depredación por aves o por efectos pleiotrópicos negativos asociados al color.

Las pocas comparaciones productivas entre especies e híbridos dejan ver la falta de interés en la detección de los efectos genéticos que pudiesen estar incidiendo en el buen desempeño de algún grupo genético, por lo que se hace necesaria la implementación de diseños experimentales que permitan la detección de aquellos grupos más productivos y la determinación de la causa de dicho comportamiento.

2.2.- Origen de las tilapias rojas y mecanismos genéticos en la determinación del color rojo

Ha sido de importancia comercial el aislamiento de patrones de coloración diferentes al gris (color silvestre), encontrados en algunas especies de tilapia; tal es el caso de las coloraciones roja, naranja, dorada y rosa, aisladas en las especies *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus* (Wohlfarth *et al.*, 1990) así como en híbridos (Galman y Avtalion, 1983), confiriéndoles mayor preferencia por los consumidores y alcanzando un mayor precio en el mercado (Fitzgerald, 1979), por lo que actualmente se cultivan a escala comercial en Israel, Estados Unidos, Taiwan, Tailandia, Filipinas, India, Bahamas y otros (Huang *et al.*, 1988).

Tilapias rojas es un nombre común con el que se designa a peces del género *Oreochromis* que presentan una gran variedad de coloraciones como el rojo, naranja, dorado, rosa, blanco y que pueden o no presentar diversos grados de pigmentación de melanina en el cuerpo (manchas negras). La gran mayoría de líneas de tilapias rojas desarrolladas en diversas partes del mundo presentan los diferentes patrones de coloración ya mencionados (Galman *et al.*, 1988; Koren *et al.*, 1994).

La historia de las tilapias rojas no está bien documentada pero se sabe que su origen fue en Taiwan y Filipinas y al parecer los primeros peces conocidos como Tilapias rojas son híbridos producto de tres especies: *O. mossambicus*, *O. urolepis hornorum* y *O. niloticus* (Reich *et al.*, 1990).

Wohlfarth *et al.* (1990) mencionan que las primeras tilapias rojas fueron aisladas en Taiwan a partir del cruce entre *O. mossambicus* de color rojo y *O. niloticus* de color silvestre, dando origen a la tilapia roja taiwanesa, la cual no es considerada como una variedad verdadera y la producción de especímenes de color rojo en la totalidad de las progenies requiere de entender el mecanismo hereditario que rige la determinación de ese color.

A continuación se presenta información referente a la determinación del color rojo en algunas tilapias y se muestran los modelos hereditarios para dicha característica, los cuales son los más

consistentes según la literatura para tilapia taiwanesa, tilapia filipina, *O. mossambicus* y *O. niloticus*.

2.2.1.- Tilapia taiwanesa

La tilapia taiwanesa de color rojo fue reportada por primera vez por un acuacultor en el sur de Taiwan y se desarrolló a partir de un lote de peces del Instituto de Investigaciones Pesqueras de Taiwan (Kuo, 1969). Estos peces se reportaron como híbridos producto del cruce de un mutante rojo de *O. mossambicus* con *O. niloticus* (Liao y Chen, 1983).

Huang *et al.* (1988) propusieron el modelo de un gen único en la herencia del color de la tilapia taiwanesa con una proporción fenotípica de 3:1 entre el cruzamiento de dos heterocigotos. El cuadro 1 muestra los genotipos propuestos por estos autores para el color en tilapia taiwanesa.

Cuadro 1.- Genotipos propuestos para la determinación del color rojo en tilapia taiwanesa.

| Padres | | Progenie | |
|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Fenotipo (color) | Genotipo | Fenotipo (color) | Genotipo |
| Rosa x Rosa | $P_2P_2 \times P_2P_2$ | Todos rosas | P_2P_2 |
| Rosa x Rojo | $P_2P_2 \times P_1P_2$ | Rosas y rojos | P_2P_2, P_1P_2 |
| Rosa x Gris | $P_2P_2 \times P_1P_1$ | Todos rojos | P_1P_2 |
| Rojo x Rojo | $P_1P_2 \times P_1P_2$ | Rosas, rojos y grises | P_2P_2, P_1P_2 y P_1P_1 |
| Rojo x Gris | $P_1P_2 \times P_1P_1$ | Rojos y grises | P_1P_2 y P_1P_1 |
| Gris x Gris | $P_1P_1 \times P_1P_1$ | Todos grises | P_1P_1 |

Tomado de Huang *et al.* (1988), con modificaciones.

El modelo propuesto en el cuadro 1 esta basado en la evaluación de 27 grupos de crías (hermanos completos) de reproductores de tilapia taiwanesa de coloraciones: rosa, rojo y gris. Dicho estudio se realizó en el Laboratorio Marino de Tungkang en Taiwan.

Con base en esos 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 autores mencionan 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 tal manera 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 sugieren que el gen P_2 podría tener un efecto pleiotrópico en la viabilidad, vitalidad y en la variación del color. El efecto pleiotrópico de un gen dominante asociado con el patrón de coloración amarillo-claro ha sido reportado en la carpa japonesa (Katasanov, 1973), así como también se ha informado del bajo crecimiento y baja sobrevivencia en tilapias de color no silvestre (Gamal El, 1988; Muñoz y Garduño, 1994b).

Wohlfarth *et al.* (1990) coinciden con lo informado por Huang *et al.* (1988), sobre la determinación genética de la coloración roja con la única variante de añadir el fenotipo “blanco” bajo el genotipo P_2P_2 (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en tilapia taiwanesa.

| Grupo genético | Modelo de propuesto | Genotipo propuesto | |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------|
| Tilapia taiwanesa | Dominancia parcial | P_1P_1 | Gris |
| | | P_1P_2 | Rojo |
| | | P_2P_2 | Blanco y rosa |

Tomado de Wohlfarth *et al.* (1990).

El estudio de esos autores consistió en la evaluación de 19 progenies de hermanos completos hijos de reproductores de colores rojo y gris. En la segregación de colores en las crías no se separaron las coloraciones roja, rosa y blanca, por la dificultad que ello representaba, por tal motivo como color rojo se incluyeron las coloraciones rosas y blancas.

En algunos casos se encontraron desviaciones de la proporción de rojos esperada. Los autores atribuyeron este hecho a la baja viabilidad de los individuos blancos, considerando que la progenie rojo x rojo (P_1P_2 x P_1P_2) fue el promedio de dos terceras partes de rojos verdaderos y una tercera parte de blancos, la baja sobrevivencia de este último ya se mencionó con anterioridad en el trabajo de Huang *et al.* (1988).

Kuo y Tsay (1988), encontraron similitud con el modelo propuesto anteriormente. Dichos autores llevaron a cabo 11 cruzamientos que incluyeron seis cruzas de rojo x rojo, dos cruzas de rojo x blanco y tres cruzas de gris x gris. Incluyeron en su estudio una coloración denominada “marrón” la cual se consideró como una desviación del rojo, pero bajo el mismo genotipo. Con dos excepciones, la segregación del color observada en la progenie de estos cruzamientos coinciden con

el modelo de dominancia parcial. Las dos excepciones consisten de la ausencia de individuos blancos en uno de los cruzamientos y la ausencia de grises y blancos en otro. De hecho, en varias progenies la frecuencia de blancos estuvo por abajo de la proporción esperada. Esto podría ser explicado por la baja viabilidad de los individuos blancos.

El modelo de dominancia parcial como mecanismo genético en la determinación del color rojo en tilapia taiwanesa es apoyado por las diversas investigaciones expuestas e implica la aseveración de que los individuos rojos de esta tilapia no son una verdadera variedad, ya que es un heterocigoto, y por lo tanto, generalmente para producir progenies de color rojo, se requiere del cruzamiento entre individuos grises con blancos o rosas (Huang *et al.* 1988).

2.2.2.- Tilapia filipina

En Filipinas se realizó el cruzamiento entre hembras cruzadas de *O. mossambicus* x *O. urolepis hornorum* obtenidas de Singapur con machos de una línea japonesa de *O. niloticus*. Dando origen a la tilapia filipina. Dicho cruzamiento produjo en su progenie una segregación de 3 grupos de coloraciones: a) gris, b) rojo-naranja-rosa y c) blanco (Galman y Avtalion, 1983; Koren, *et al.* 1994); el porcentaje de colores ha cambiado con el tiempo debido a programas de selección genética, siendo aproximadamente de 40%:20%:40% en sus inicios hasta alcanzar un porcentaje de 40%:50%:10% para las coloraciones gris, rojo-naranja-rosa y blanco respectivamente (Pruginin, 1987).

Koren *et al.* (1994) 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 P_1P_1 ; analizaron 20 familias de hermanos completos producto de dichas cruza. Sus resultados coincidieron con el modelo de dominancia parcial propuesto para la determinación del color en tilapia taiwanesa.

2.2.3.- *Oreochromis mossambicus*

O. mossambicus de color rojo al parecer tiene su origen en Taiwan. Los primeros trabajos sobre la obtención de esta variedad se atribuyen a Ho Kuo del Instituto de Investigación Pesquera de Taiwan, quien la obtuvo a través de un programa de selección durante más de nueve años y de ahí fueron llevadas a Florida en donde se continuaron los trabajos de selección por parte de Natural Systems (Cabrera *et al.* 1987).

En 1981 la Dirección General de Acuicultura de la entonces Secretaria de Pesca compró un “paquete tecnológico” a la compañía Natural Systems Inc. de Palmeto, Florida el cual incluyó reproductores y juveniles de *O. mossambicus* de color rojo y ejemplares de *O. urolepis hornorum*, (color silvestre) con el objeto de producir híbridos 100% machos y de color rojo en las instalaciones del Centro Piscícola del Rodeo, Morelos. Las tilapias rojas presentes en México derivan en su gran mayoría de estos peces y de envíos posteriores de Palmeto, Florida. Por lo tanto estas tilapias rojas consisten de híbridos de la cruce *O. urolepis hornorum* x *O. mossambicus* y de organismos de línea pura (Cabrera *et al.*, 1987; Arredondo *et al.*, 1994). A través del tiempo la característica deseable de la coloración roja en estos ejemplares se transformó en una coloración con una amplia incidencia de manchas oscuras en el cuerpo, debido al descontrol de dichas líneas (Cabrera, *et al.*, 1987).

Con la población de Palmeto, distribuida en la región de centro - norte del estado de Veracruz, el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, en 1988 inició un programa de selección genética hacia la selección de ejemplares de *O. mossambicus* completamente rojos, lográndose dicho objetivo después de siete generaciones. Esos especímenes se explotan comercialmente en los estados de Veracruz, Puebla, Tabasco y Chiapas (Muñoz, 1992).

Wohlfarth y colaboradores (1990), con base en la evaluación de 14 familias de hermanos completos producto del cruce de ejemplares de *O. mossambicus* roja y de híbridos de color silvestre *O. niloticus* x *O. mossambicus* y *O. aureus* x *O. mossambicus*, llegaron a la conclusión de que la determinación del color rojo en *O. mossambicus* esta controlado por un mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen recesivo. Los genotipos para el color en *O. mossambicus* que proponen los autores se encuentran representados en el cuadro 3.

Con excepción de una familia, en todas se encontró un excedente de individuos rojos, las desviaciones estadísticas respecto a la proporción esperada se pudo deber a una mejor sobrevivencia de los individuos rojos. Esto es contrario a lo encontrado en tilapia taiwanesa ya que en esta última las desviaciones de las proporciones esperadas en la segregación del color rojo se explicaron por una baja sobrevivencia de ejemplares rojos.

Cuadro 3.- Modelo propuesto para la herencia de la coloración roja en *Oreochromis mossambicus*.

| Especie | Modelo de propuesto | Genotipo propuesto | |
|-----------------------|---------------------|--------------------|------|
| <i>O. mossambicus</i> | Dominancia completa | GG | Gris |
| | | Gg | Gris |
| | | gg | Rojo |

Tomado de Wohlfarth *et al.*(1990), con modificaciones.

Pruginin (1987) en Israel realizó cruzamientos intraespecíficos de ejemplares rojos de *O. mossambicus* y obtuvo progenies de color rojo y cuando se realizó cruzamientos con ejemplares de color gris de *O. niloticus*, la progenie fue de color gris.

Los resultados obtenidos en estos estudios indican que la coloración roja en *O. mossambicus* presenta un mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen recesivo. Esto significa que progenies rojas pueden ser obtenidas cruzando ejemplares rojos.

2.2.4.-- *Oreochromis niloticus*

En 1986 los primeros ejemplares de color rosa de la especie *O. niloticus* llegan a México, procedentes de la Universidad de Stirling, Escocia. Esta línea rosa de *O. niloticus* es originaria del lago Manzala, Egipto. En México se introdujeron primeramente al Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida (CINVESTAV-IPN-Mérida), de donde fue distribuida a varios centros acuícolas de la entonces Secretaría de Pesca (ahora Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP) (Arredondo y Lozano-Gracia, 1996). En 1990 el CEIEGT, adquirió en donación por parte del CINVESTAV ejemplares de *O. niloticus* de color gris y algunos con tendencias a color rosa y con gran cantidad de manchas negras en el cuerpo. Con éstos ejemplares se inició una selección genética logrando un alto grado de avance en la obtención de una población de color rosa en esta especie (Garduño, 1996).

La coloración rosa en *O. niloticus* está controlada por diferentes sistemas genéticos (Wohlfarth, *et al.* 1990). El color rosa de un mutante de esta especie se determinó que estaba controlado por un gen recesivo (Scott *et al.*, 1987). Posteriormente, un alelo recesivo para esta misma coloración fue aislado a partir de un lote africano de *O. niloticus* (Mires, 1988). No se tiene

conocimiento de que se hayan realizado cruzamientos entre estas dos líneas rosas con el objeto de determinar si esta coloración esta controlada por diferentes sistemas genéticos en ambas especies.

McAndrew *et al.* (1988) y Koren *et al.* (1994), llegaron a la conclusión de que la determinación del color rosa de una la línea de *O. niloticus* originaria del lago Manzala, Egipto, esta controlado por el mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen dominante. Dichos autores realizaron una serie de cruzamientos en los que se incluía 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 la cuadro 4.

Cuadro 4.- Modelo propuesto para la herencia de la coloración rosa en *Oreochromis niloticus* originaria del lago Manzala, Egipto.

| Grupo genético | Modelo de propuesto | Genotipo propuesto | |
|---------------------|---------------------|--------------------|------|
| <i>O. niloticus</i> | Dominancia completa | RR | Rosa |
| | | Rr | Rosa |
| | | rr | Gris |

Basado de datos de McAndrew *et al.* (1988) y Koren *et al.* (1994).

En esta especie al igual que en *O. mossambicus*, lo que los autores consideran como rosa, en realidad consiste de una serie de coloraciones que va desde un rosa intenso hasta peces de color blanco.

2.3.-Mecanismos en la determinación del sexo en tilapia

Uno de los tópicos que más ha acaparado la atención de los investigadores en el cultivo de tilapias es el concerniente a los mecanismos que determinan el sexo en esas especies debido a que los efectos negativos de la reproducción descontrolada de las tilapias en los estanques de engorda son una seria limitante para su cultivo (Hulata *et al.*, 1983), debido a ello, se ha recurrido a diversos métodos que permiten solucionar dicha problemática, dentro de los cuales destacan la hibridación inter-específica con la cual se logra la obtención de poblaciones con un alto porcentaje de machos,

que además de evitar la reproducción en los estanques de crecimiento contribuye a aumentar la producción debido a que los machos presentan un mayor crecimiento con respecto a las hembras (Mair *et al.*, 1995). Por tal motivo en el cultivo de tilapia, la hibridación ha tenido como principal objetivo la obtención de progenies con un alto porcentaje de machos a raíz de los trabajos de Hickling (1960) con los cruces de *O. urolepis hornorum* (♂) x *O. mossambicus* (♀). La explicación de este fenómeno esta dada en el hecho de que algunas especies de tilapia los machos son heterogaméticos y las hembras son homogaméticas (sistema de determinación del sexo XY), mientras que en otras especies los machos son homogaméticos y las hembras heterogaméticas (sistema WZ), de tal forma que la combinación que produce peces únicamente machos es por la hibridación de hembras XX con machos ZZ (Tave, 1986; Trombka y Avtalion, 1993) (figura 1).

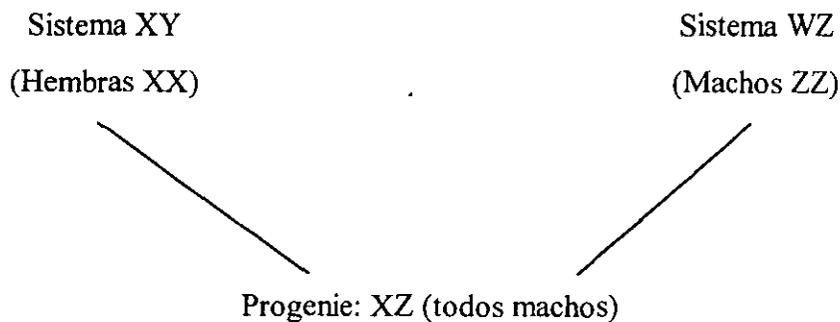


Figura 1.- Sistema de determinación del sexo XY y WZ en tilapia .

En los últimos 30 años se han producido 25 diferentes híbridos de tilapias, seis de esas cruces inter-específicas producen altos porcentajes de machos (Wohlfarth *et al.* 1983) como lo demostraron los trabajos de Chen (1969) y Wohlfarth *et al.* (1983) con *O. urolepis hornorum* x *O. mossambicus*; Fishelson (1966) con *O. aureus* x *O. niloticus*; Jalabert *et al.* (1971) con *O. macrochir* x *O. niloticus*, García-Pinto (1982) con *O. urolepis hornorum* x *O. aureus* y *O. urolepis hornorum* x *O. niloticus* y Wohlfarth *et al.* (1983) con *O. hornorum* x *O. niloticus*; sin embargo en cruces similares llevados a cabo por otros autores un porcentaje variable de la progenie han resultado ser hembras en cruces interespecíficas (Pruginin *et al.* 1975; Hulata *et al.* 1983; Wohlfarth *et al.* 1983; Majumdar y McAndrew, 1983; Mair *et al.* 1991b, Wohlfarth, 1994) y en cruces intraespecíficas (Shelton *et al.*, 1983; Wohlfarth y Wedekind, 1991; Garduño, 1996). A partir de dichas inconsistencias se han

propuesto otros mecanismos que determinan el sexo en tilapia entre los que destacan los factores autosomales (Mair *et al.* 1991a,b; Wohlfarth y Weedeckind, 1991), factores multifactoriales (Lester *et al.* 1989) y factores ambientales (Baroiller *et al.* 1995).

Lester *et al.* (1989) indicaron que no existe un modelo satisfactorio para la determinación del sexo en tilapias. Estos autores llevaron a cabo un estudio tendiente a determinar la herencia del sexo en *O. niloticus*, sus resultados indicaron que la herencia del sexo en dicha especie es consistente con el patrón observado para las características genéticas umbrales (características discontinuas basadas en variables genéticas cuantitativas) y sugieren que factores ambientales podrían tener una fuerte influencia en la varianza fenotípica (varianza de la proporción de sexos). Los autores sugieren que las tendencias a producir altos porcentajes de machos en cruza interespecíficas esta dado por altas concentraciones de testosterona y receptores sensibles a andrógenos, obtenidos en la progenie híbrida.

Baroiller *et al.* (1995) mostraron que altas temperaturas tienen un efecto en la proporción de sexos en *O. niloticus*. Encontraron que temperaturas de 34 a 36 °C incrementaron la proporción de machos (porcentajes extremos: 69 - 91% de machos) mientras que temperaturas de 19 a 23 °C no afectaron dicha proporción. Por otro lado, en una línea de tilapia roja de Florida, una temperatura de 36 °C incrementó la proporción de machos (porcentajes extremos: 60-97%).

En la actualidad los métodos más utilizados para producir altos porcentajes de machos en tilapia son: la reversión sexual mediante la utilización de estrógenos en la alimentación durante los primeros treinta días después de la eclosión (Wohlfarth, 1994; Hulata, 1995) y la hibridación interespecífica (Rhotbard, 1996). En Israel, las especies más utilizadas para la producción de poblaciones de solo machos son *O. aureus* (♂) y *O. niloticus* (♀), con los cuales se obtienen porcentajes de machos cercanos al 100% (Hulata, 1995; Rhotbard, 1996).

2.4.- El diseño dialélico y la estimación de parámetros genéticos de cruzamiento en peces

El diseño dialélico. Se conoce como diseño de cruza dialélicas a las cruza simples que pueden lograrse entre los miembros de un conjunto básico de líneas progenitoras (Martínez, 1996) y se denominan experimentos dialélicos a aquellos experimentos que ensayan un cierto conjunto de cruza dialélicas dentro de los cuales existen dos clases: a) experimentos dialélicos parciales y b)

experimentos dialélicos completos (Martínez, 1983). Los primeros se caracterizan porque se ensaya el experimento con un subconjunto del conjunto total de $p(p-1)/2$ cruzaas simples posibles, derivadas de p líneas progenitoras, por lo que no todas las cruzaas posibles se planean sino solo un grupo de cruzaas del total de cruzaas posibles (Kempthorne y Curnow, 1961; Martínez, 1983). Los experimentos dialélicos completos fueron introducidos por Griffing (1956a) y (1956b) y comprenden el ensayo de todas las cruzaas simples que pueden realizarse entre p líneas progenitoras en donde hay un máximo de p^2 cruzaas posibles, las cuales pueden clasificarse en tres grupos:

a) el grupo de las p cruzaas intraespecíficas, b) el grupo de $p(p-1)/2$ cruzaas F_1 , y c) el grupo de las $p(p-1)/2$ cruzaas recíprocas de las F_1 . A partir de estos grupos Griffing (1956b) propone cuatro tipos de experimentos de cruzaas dialélicas:

Tipo 1.- Comprende las p cruzaas intraespecíficas, un grupo de cruzaas F_1 y las cruzaas recíprocas de las F_1 . En total, p^2 cruzaas diferentes.

Tipo 2.- Comprende las p cruzaas intraespecíficas y un solo conjunto de cruzaas F_1 . En total se ensayan $p(p+1)/2$ cruzaas

Tipo 3.- Se ensayan un conjunto de cruzaas F_1 y sus recíprocas, pero no se incluyen las cruzaas intraespecíficas. Se ensayan un total de $p(p-1)$ cruzaas diferentes.

Tipo 4.- Comprende solo un conjunto de cruzaas F_1 . Un total de $p(p-1)/2$ cruzaas.

La utilización de este tipo de experimentos se empleó inicialmente en el campo agronómico, en donde resultaba hasta cierto punto práctico el manejo del material experimental, sin embargo al extrapolar estos diseños a experimentos con animales aparecen problemas de índole práctico, ya que cuando el número de líneas, razas o especies (p) se ve incrementado, el ensayar un número tan grande de tratamientos, es casi imposible, sobre todo para los experimentos dialélicos de tipo 1 y 2. Es por ello que, de acuerdo a Kempthorne y Curnow (1961), G.W. Brown propuso los esquemas parciales de cruzaas dialélicas, los cuales no pertenecen a ninguno de los cuatro tipos básicos propuestos por Griffing (1956b).

Parámetros genéticos de cruzamiento. Los diseños dialélicos completos se emplean para poder estimar los llamados efectos genéticos de cruzamiento tales como: heterosis, habilidad combinatoria general, habilidad combinatoria específica y efectos maternos, conceptos que a continuación se describen.

Heterosis. Los componentes no aditivos del genotipo conforman la respuesta conocida como **heterosis** o **vigor híbrido** (Griffing, 1956a) y fue propuesto por Schull en 1942, quien lo definió como el vigor extra o excedente que muestra la progenie cuando se aparean dos diferentes líneas, razas, especies o líneas consanguíneas (Sheridan, 1981) y es una de las vías conocidas para mejorar la productividad en acuicultura (Pillay, 1990; Tave, 1986).

Frahm (1975) definió la heterosis como la superioridad del comportamiento en ciertas características obtenidas por individuos cruzados sobre el comportamiento promedio de sus padres de raza pura, expresándose dicha superioridad en términos porcentuales por lo tanto para su estimación es necesario comparar las especies puras contra sus cruza (Becker, 1975). Sin embargo, no todas las características presentan el mismo grado de heterosis, normalmente se tiene un mayor grado de dicho efecto, en aquellas características de baja heredabilidad (h^2) (Cundiff, 1970; Frahm, 1975), de tal manera que cuando la heredabilidad es baja, la hibridación es a menudo la única vía para mejorar la productividad, ya que la selección sería ineficiente (Tave, 1986).

Las estimaciones del efecto de heterosis en peces se han enfocado básicamente a salmónidos en donde en algunas investigaciones se han encontrado valores indicativos de vigor híbrido para características como peso a talla comercial (Gall, 1975; Refstie y Gjedrem 1975; Refstie, 1983; Ayles y Baker; 1983; Gjerde, 1988), resistencia a enfermedades septicémicas (Ord *et al.*, 1976) y sobrevivencia (Edwards y Gjedrem, 1979); mientras que en carpas, Wohlfarth *et al.* (1975) señalaron la existencia de heterosis en cruces de carpas de líneas europeas y una china.

Poco se ha investigado en detectar el efecto del vigor híbrido en tilapias, todo parece indicar que el enfoque que se da a los cruzamientos interespecíficos es hacia encontrar aquellos cruces que producen un alto porcentaje de machos o un mayor rendimiento, sin llegar a realizar diseños dialélicos completos que generen información de efectos genéticos de cruzamiento como la heterosis.

Jayaprakas *et al.* (1988) evaluaron el crecimiento mediante el peso y talla final a 60 días de dos líneas de *O. niloticus* (línea de Egipto y de Ghana) y sus F_1 , F_2 y las retrocruzas. Encontraron que la línea egipcia tuvo un mejor crecimiento que la línea de Ghana, y que los híbridos fueron superiores respecto a las especies progenitoras e informaron para el rasgo peso final, heterosis de 28.3%, 36.1.8% y 32.1% en la F_1 , F_2 y en la retrocruza respectivamente y sugirieron que tanto la F_2 y los

híbridos producto de la retrocruza tuvieron un mejor crecimiento debido a un efecto de heterosis materna.

Rodríguez *et al.* (1995) compararon el crecimiento de *O. mossambicus* roja (M) y *O. niloticus* rosa (N) así como los híbridos resultantes de ambos cruzamientos: M (♂) x N (♀), (H₁); y N (♂) x M (♀), (H₂). En la fase de desarrollo, el híbrido H₁ presentó mayores ganancias de peso (0.71 g/d) en comparación con el resto de los tratamientos. Los otros tratamientos tuvieron las siguientes ganancias de peso: H₂, 0.60 g/d, N 0.57 g/d y M, 0.61 g/d. En este trabajo se reportó una heterosis para peso final de 14.4% , para ganancia diaria de peso de 11.0% y sobrevivencia de -1.6%.

Habilidad combinatoria general y Habilidad combinatoria específica. El cruzar cada grupo genético con otros (líneas, razas, especies, etc.) proporciona una medida adicional en el comportamiento de cada grupo en todas sus cruzas. Dicho comportamiento medio de un grupo genético, cuando se expresa como desviación con respecto a la media de todas las cruzas se llama **habilidad combinatoria general** del grupo genético, en otras palabras es el valor promedio de todas las F₁ que tienen a un grupo genético "A" como progenitor, expresado dicho valor como una desviación de la media general de todas las cruzas (Falconer, 1989) y se emplea para designar el comportamiento medio de un grupo genético en combinaciones híbridas (Martínez, 1996). Por otro lado, cualquier craza particular tiene un valor esperado, el cual es la suma de las habilidades combinatorias generales de sus dos grupos genéticos progenitores. La craza puede desviarse de este valor esperado en un grado mayor o menor, esta desviación es llamada **habilidad combinatoria específica** de los dos grupos genéticos en combinación (Falconer, 1989). Se emplea para designar aquellos casos en los que ciertas combinaciones lo hacen relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse, sobre la base del comportamiento promedio de las especies involucradas (Martínez, 1996).

Poco se ha hecho en tratar de estimar los efectos de habilidad combinatoria general y habilidad combinatoria específica en esquemas de cruzamiento en peces, en este sentido Wolters y Johnson (1995) estimaron los efectos del cruzamiento de tres líneas del bagre de canal *Ictalurus punctatus* sobre la resistencia a la septicemia entérica provocada por *Edwardsiella ictaluri*, encontrando un efecto significativo en el efecto de habilidad combinatoria general en dos de las líneas de bagre.

Efecto materno. En situaciones donde se sospecha que la cruce (A,B), con B hembra y A macho, no tiene el mismo desempeño productivo que la cruce recíproca (B,A), con A hembra y B macho, se tiene que suponer que existe un efecto de la madre en dicho comportamiento, a ello se le denomina **efecto materno**, los cuales no son de naturaleza genética, sino ambiental. Desde el punto de vista genético, la cruce (A,B) tiene la misma composición génica que su recíproca (B,A) (Martínez, 1996). La diferencia en cruzamientos recíprocos usualmente representa las diferencias en efectos maternos (Van Vleck *et al.*, 1987).

En salmónidos se han detectado efectos maternos importantes para rasgos como crecimiento y sobrevivencia (Susuki y Fukuda, 1971; Blanc y Poisson, 1983; Gjerde, 1988). Se ha sugerido que en este grupo de peces, el tamaño del ovulo y la herencia de material citoplasmático de la madre puede proveer un efecto materno importante que se refleja en el crecimiento y sobrevivencia de las crías (Gjerde, 1988).

Cabrera *et al.* (1987) reportó un efecto materno en la cruce de *O. mossambicus* roja x *O. urolepis hornorum* de color silvestre, ya que cuando utilizaron el macho rojo de *O. mossambicus* con hembra silvestre de *O. urolepis hornorum* la progenie fue de bajo crecimiento en comparación con su cruce recíproca.

Adicionalmente los diseños dialélicos conducen también a la estimación de la varianza aditiva y de dominancia, a partir de obtener la estimación de los componentes de varianzas de los efectos genéticos de cruzamiento. A partir de dichos elementos se llega a obtener una estimación de la heredabilidad (h^2) que es definida como la cantidad proporcional de varianza fenotípica que es controlada por la varianza aditiva y su estimación es importante con el objeto de predecir los efectos de un programa de selección sobre determinado rasgo (Tave, 1986). En un programa de selección si los padres son seleccionados sobre la base de valores fenotípicos sólo parcialmente determinados por el genotipo, entonces los valores fenotípicos medios de la progenie no serán iguales al valor fenotípico medio de los padres y la cantidad de “ganancia” observada es proporcional a la cantidad de varianza aditiva que esta en la población (Malecha, 1977).

Por lo tanto las estimaciones de heredabilidad son valiosas al reproductor de animales porque permiten una continua medición de la cantidad de varianza aditiva en los pies de cría y pueden ser utilizados para predecir cambios en la ganancia genética y beneficio/costo que podrían ser esperados bajo un esquema de selección genética (Cabrera, 1994).

Las estimaciones de heredabilidades en poblaciones de peces se han limitado a cinco especies: trucha arco iris, salmón, carpa, pez gato y tilapia (López-Fanjul,1987). Las estimaciones de heredabilidad para las características de peso y longitud en tilapias han resultado en valores bajos en términos generales. En el cuadro 5 se presentan los valores de heredabilidad para las especies *O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. aureus* y tilapia tailandesa para características de peso y longitud.

Las heredabilidades para crecimiento a 45 - 90 días en las líneas de Costa de Marfil y Ghana de la especie *O. niloticus* estudiada por Tave y Smitherman (1980), Teichert-Coddington (1983) y Hulata *et al.* (1986) fueron bajas, esto pudo ser debido según dichos autores al efecto de deriva genética en las poblaciones estudiadas.

Bondari *et al.* (1983) mejoraron la tasa de crecimiento por selección en *O. aureus*. Estos autores seleccionaron el 8% de los machos y hembras de mayor tamaño y después de una generación tuvieron un incremento significativo en peso y longitud a las 49 semanas; los ejemplares seleccionados y control fueron evaluados en Tifton, Georgia y Auburn, Alabama. La ganancia de peso mejoró un 15.5% en Tifton y 10.7% en Auburn. Ch'ang (1971) también mejoró el crecimiento mediante selección de *O. mossambicus*, seleccionando el 11% de los machos y hembras de mayor tamaño, mejorando en un 7% la ganancia de peso a 5 meses. Jarimopas (1986) realizó una selección masal del 10% de los peces más pesados en una línea denominada tilapia tailandesa y el crecimiento de los peces seleccionados se comparó con el de peces no seleccionados. El peso de los primeros fue 29.7% más alto que el de los peces no seleccionados después de dos generaciones de selección.

Cuadro 5.- Heredabilidad (h^2) (\pm error estándar) para varias características en *Oreochromis niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus* y tilapia tailandesa.

| Rasgo | h^2 (EE) | Método de estimación | Referencia |
|---|--------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1.- <i>Oreochromis niloticus</i> | | | |
| 1.1.- Línea Costa de Marfil | | | |
| Longitud a los 45 días | 0.10 (0.19) | Medios hermanos y hermanos completos | Tave y Smitherman (1980) |
| Incremento de longitud a los 58 días | -0.10 (0.02) | Heredabilidad realizada | Teichert-Coddington (1983) |
| Longitud a los 90 días | 0.06 (0.06) | Medios hermanos y hermanos completos | Tave y Smitherman (1980) |
| Peso a los 45 días | 0.04 (0.14) | Medios hermanos y hermanos completos | Tave y Smitherman (1980) |
| Peso a los 90 días | 0.04 (0.06) | Medios hermanos y hermanos completos | Tave y Smitherman (1980) |
| 1.2.- Línea de Ghana | | | |
| Incremento de peso a los 4 meses | 0 | Heredabilidad realizada | Hulata <i>et al.</i> (1986) |
| 2.- <i>Oreochromis aureus</i> | | | |
| 2.1.- Población de Tifton, Georgia | | | |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♀ | 0.38 (0.08) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♂ | 0.20 (0.09) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♂+♀ | 0.24 (0.07) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en longitud a las 49 semanas ♀ | 0.87 (0.20) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en longitud a las 49 semanas ♂ | 0.40 (0.19) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en longitud a las 49 semanas ♂+♀ | 0.53 (0.24) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| 2.1.- Población de Auburn, Alabama | | | |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♀ | 0.10 (0.06) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♂ | 0.27 (0.07) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| Incremento en peso a las 49 semanas ♂+♀ | 0.23 (0.05) | Heredabilidad realizada | Bondari <i>et al.</i> (1983) |
| 3.- <i>Oreochromis mossambicus</i> | | | |
| Incremento en peso a los 5 meses ♀ | .01 a 0.30 | Heredabilidad realizada | Ch'ang (1971) |
| Incremento en peso a los 5 meses ♂ | 0.10 a 0.76 | Heredabilidad realizada | Ch'ang (1971) |
| Incremento en peso a los 5 meses ♂+♀ | -0.01 a 0.33 | Heredabilidad realizada | Ch'ang (1971) |
| 3.- Tilapia tailandesa * | | | |
| Peso a las 12 semanas | 0.01 a 0.19 | Heredabilidad realizada | Jarimopas (1986) |

* Híbrido de *O. mossambicus* x *O. niloticus*

OBJETIVO GENERAL

Estimar el grado de heterosis, la habilidad combinatoria general y la habilidad combinatoria específica para algunas características productivas en los grupos genéticos producto de los cruces interespecíficos y recíprocos de *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus* así como comparar el efecto de dichas cruzas sobre la proporción de sexos y la segregación del color rojo en los seis híbridos obtenibles y las especies progenitoras.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ⇒ Estimar el grado de heterosis, la habilidad combinatoria general y la habilidad combinatoria específica de los híbridos producto de los cruces interespecíficos entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*, para las características: sobrevivencia, peso final, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia.
- ⇒ Estimar el porcentaje de la coloración roja en contraste con otros patrones de coloración obtenibles, en la progenie híbrida, producto del cruce interespecífico y recíproco de *O. niloticus* rosa, *O. mossambicus* roja y *O. aureus* línea “Rocky Mountain White”.
- ⇒ Estimar el efecto de los cruces interespecíficos y recíprocos entre *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*, sobre la proporción del sexo de los híbridos.

HIPOTESIS

- ⇒ El grado de heterosis, la habilidad combinatoria general y la habilidad combinatoria específica para las características: sobrevivencia, ganancia diaria de peso, peso final y conversión alimenticia en los híbridos, producto de los cruces interespecíficos de *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*, pueden mostrar valores de tal magnitud que pueden ser considerados para la implementación de esquemas de cruzamientos.

- ⇒ La proporción de sexos en los híbridos producto de algunos cruces interespecíficos pueden desviarse de la relación macho - hembra de 1:1.

- ⇒ Con los cruces interespecíficos de *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus* pueden obtenerse en la progenie un elevado porcentaje de peces distintos de la coloración tipo silvestre (gris).

3.-MATERIAL Y METODOS

3.1.- Localización del CEIEGT

El estudio se realizó en el 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, ubicado en el km. 5 de la carretera federal Martínez de la Torre - Tlapacoyan en el estado de Veracruz, el cual se localiza a 20° 04' de latitud norte y a 97° 03' de longitud oeste. La altitud es de 151 msnm; con temperatura promedio anual de 23.4 °C y precipitación pluvial media de 1980 mm, su clima corresponde al tipo Af(m)w”(e) cálido húmedo (García, 1973). La temperatura media es mayor de 18 °C durante todos los meses del año. La precipitación en los seis meses más húmedos (abril, junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre) es de 69.1 mm y en los tres meses menos húmedos (enero a marzo) es de 14.7mm. La oscilación térmica diaria puede ser entre 7 y 14° (CIEEGT, 1979).

3.2.-Especies utilizadas en el estudio

Se emplearon 63 ejemplares de cada una de las especies siguientes: *Oreochromis niloticus* de color rosa (var. Stirling); *O. mossambicus* de color rojo y *O. aureus* coloración plata (conocida como “Rocky Mountain White”) (figura 2). La primera especie se obtuvo de lotes de reproductores del CEIEGT-FMVZ-UNAM y de la Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 90 ubicada en el poblado de Nautla, municipio de Nautla, Ver., *O. mossambicus* se obtuvo de lotes del CEIEGT y de la granja piscícola “El Quetzal” ubicada en el poblado de Palmas de Abajo, municipio de Actopan, Ver., ambas especies son el resultado de trabajos de selección hacia color rojo, que el CEIEGT ha realizado desde 1988 (Muñoz, 1992). *O. aureus*, se obtuvo de la granja piscícola “La Rayana” ubicada en el municipio de Medellín de Bravo en el estado de Veracruz y corresponde a una línea de color “plata” conocida comúnmente como “Aurea blanca” o “Rocky Mountain White” este último nombre en inglés alude al lugar en donde se obtuvo dicha línea. Los pesos promedio de los reproductores de acuerdo al sexo y especie se muestran en el cuadro 6.



Figura 2.- Especies de tilapias utilizadas en el estudio. De arriba hacia abajo: *Oreochromis niloticus* rosa; *O. mossambicus* roja y *O. aureus* línea "Rocky Mountain White".

Cuadro 6.- Pesos promedio (g) (\pm desviación estándar) de los reproductores de las tres especies utilizadas en el sistema de cruzamiento.

| Especie | Machos | Hembras |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| <i>O. mossambicus</i> | 415.0 \pm 99.8 | 232.0 \pm 45.3 |
| <i>O. niloticus</i> | 708.3 \pm 117.3 | 347.1 \pm 104.1 |
| <i>O. aureus</i> | 346.6 \pm 45.5 | 238.0 \pm 87.4 |

Los reproductores seleccionados, se mantuvieron separados por sexo en estanques de 4 x 5m con 0.6m de profundidad en las instalaciones del CEIEGT y en la Escuela Secundaria Técnica Pesquera no. 90, por un periodo de acondicionamiento de 30 días.

3.3.- Cruzamiento dialélico

Se realizó un cruzamiento dialélico completo el cual consistió en realizar todos los posibles cruzamientos entre las tres especies. De tal forma que los cruces intra e interespecíficos dieron como resultado nueve grupos genéticos (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Cruces intra e interespecíficos de las tres especies de tilapias.

| Hembras \ Machos | <i>O. niloticus</i> (N) | <i>O. mossambicus</i> (M) | <i>O. aureus</i> (A) |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| <i>O. niloticus</i> (N) | NN | NM | NA |
| <i>O. mossambicus</i> (M) | MN | MM | MA |
| <i>O. aureus</i> (A) | AN | AM | AA |

Las letras dentro de paréntesis son las claves representativas de la especie. En las cruces, la primera letra corresponde al macho y la segunda a la hembra. Cruces intraespecíficos

Martínez (1996) denomina como cruza dialélicas a las cruza simples que pueden lograrse entre los miembros de un conjunto básico de líneas progenitoras, bajo este esquema de cruzamiento se estimaron los efectos de heterosis (H), habilidad combinatoria general (ACG), habilidad combinatoria específica (ACE) y efectos maternos (EM).

Entre el 22 y 26 de abril de 1998 se colocaron muestras aleatorias de reproductores de las tres especies en los estanques destinados a la reproducción. Los cruzamientos se llevaron acabo en las instalaciones de la Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 90 y en el CEIEGT, para tal efecto se utilizaron estanques de 20m² con una profundidad de 0.6m. Se colocaron 21 reproductores (7 machos y 14 hembras) por estanque para la obtención de cada grupo genético, los cuales consistieron de tres cruza intraespecíficas: NN, MM y AA; y las seis cruza posibles entre las especies utilizadas: NM, MN, NA, AN, M A y AM (Cuadro 7).

Entre el 11 y 18 de mayo de 1998 los estanques de reproducción fueron cosechados y muestras de 1500 a 2000 alevines fueron recolectadas de los diferentes cruzamientos con excepción del cruzamiento de *O. niloticus* x *O. aureus* en donde sólo se obtuvieron 360 alevines después del vaciado total de los tanques. De las crías cosechadas se volvieron a tomar muestras aleatorias de 600 crías por cada grupo genético (de la cruza *O. niloticus* x *O. aureus* se tomó el total de la muestra inicial) y se mantuvieron en adaptación, desarrollándose en 27 tinas de plástico de 750 litros (200 alevines por tina) durante un periodo de 12 a 19 días. Durante el periodo de adaptación y en el transcurso de la fase de desarrollo, los alevines se alimentaron con alimento comercial con 42.6% de proteína cruda (PC) (Cuadro 8) de acuerdo con Hephher (1988).

Cuadro 8.- Composición químico proximal del alimento suministrado durante la fase de engorda.

| Componentes | Porcentaje (base húmeda) |
|-------------------------------|---------------------------|
| Materia seca | 94.2 |
| Humedad | 5.8 |
| Proteína cruda | 42.6 |
| Grasa | 15.0 |
| Fibra cruda | 3.2 |
| Cenizas | 8.4 |
| Elementos libres de nitrógeno | 25.0 |

Finalizada la fase de adaptación, se mezcló toda la población de cada grupo genético y se tomó aleatoriamente una muestra de 300 ejemplares de cada grupo y se ubicaron nuevamente en las 27 tinas de plástico, de tal forma que se tuvieron tres tinas para cada grupo genético (100 crías por tina). Dichas tinas se mantuvieron bajo un sistema de recirculación de agua para que las condiciones hidrobiológicas fueron las mismas en todas las unidades experimentales. A partir del segundo mes de desarrollo se acondicionó aireación diaria a partir de las 17:00 h a las 9:00 h, y de las 12:00 h a las 15:00h. Los peces se mantuvieron en dichos tanques durante 60 días, del 30 de junio al 30 de agosto.

La biometría inicial consistió del pesaje en conjunto de todos los peces de cada tina, con el objeto de obtener el peso promedio de los peces y adicionalmente se tomaron los pesos y tallas de 15 individuos tomados al azar, con el objeto de estimar la talla promedio y desviación estándar de los peces de cada tina. Fue la misma situación para la biometría final con la particularidad de que se registraron tallas y pesos de 15 individuos para cada sexo. Se registraron quincenalmente los pesos en conjunto de 20 peces capturados al azar por tina, con la finalidad de registrar el ritmo de crecimiento de los peces durante el presente estudio.

Al final del experimento se efectuó un vaciado total de los tanques y se procedió a un conteo total de los peces, así como a su último análisis biométrico.

3.4.- Control y medición de la calidad del agua

Como rutina general del sistema de recirculación de las tinas de plástico, se llevó a cabo su aseo mediante cepillado y vaciado de tinas para remover los desechos. Durante la fase de desarrollo se realizaron dos cambios totales de agua debido a un aumento del nitrógeno amoniacal de la misma.

Se midieron las principales variables fisicoquímicas del agua de todos los estanques de plástico a las 7:00 AM con la frecuencia y método o instrumento que se mencionan en el cuadro 9.

Cuadro 9.- Medición de las principales características fisicoquímicas del agua.

| Variable | Frecuencia | Método y/o instrumento |
|---------------------------------------|------------|--|
| Temperatura (°C) | Semanal | Termómetro de mercurio |
| Oxígeno (mg/l) | Semanal | Oxímetro portátil |
| pH | Semanal | Varilla indicadora de pH |
| Nitrógeno Amoniacal (mg/l) * | Semanal | Método colorimétrico de la reacción Nessler, con un espectrofotómetro portátil |
| Dureza total CaCO ₃ (mg/l) | Quincenal | Método de valoración complexométrica con titriplex frente a un indicador mixto |

* Multiplicando los valores de nitrógeno amoniacal por 1.22 y 1.29 se obtuvieron los valores para amoniaco (NH₃) y para amonio (NH₄) respectivamente.

3.5.- Determinación de rasgos productivos

Los rasgos productivos que se evaluaron en este estudio fueron los siguientes: Peso final general, ganancia diaria de peso general, sobrevivencia y conversión alimenticia; rasgos que fueron tomados y determinados considerando la población de machos y hembras en conjunto en cada uno de los grupos genéticos.

Se consideraron también los rasgos peso final y ganancia diaria de peso para machos y para hembras por separado. Los registros de tallas se consideraron como un rasgo secundario y no se sometió al 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 sobrevivencia, ganancias diarias de peso y conversión alimenticia se realizaron con las siguientes fórmulas:

3.5.1.- Sobrevivencia

Estima el porcentaje de peces que vivieron al final del experimento (Garduño, 1995).

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

Donde:

S = Sobrevivencia.

N_f = Número de peces al finalizar el experimento.

N_i = Número inicial de peces.

100 = Constante para expresar el resultado en valor porcentual.

Dado que se considera que esta característica no tiene una distribución normal, se realizó la transformación arcoseno para su análisis estadístico (Zar, 1984).

3.5.2.- Ganancia diaria de peso (GDP)

Es el peso ganado por día en forma individual (g/día) y se expresa según Garduño (1995):

$$GDP = P_f - P_i / T$$

Donde:

GDP = Ganancia diaria de peso.

P_f = Peso final.

P_i = Peso inicial.

T = Tiempo en días.

3.5.3.- Tasa de conversión de alimento (TCA)

Es el alimento usado para producir una unidad de peso en un grupo genético (Garduño, 1995) y se expresa:

$$TCA = A_c / P_G$$

Donde:

TCA = Tasa de conversión de alimento

A_c = Alimento consumido (Peso húmedo).

P_G = Peso Ganado.

3.6.- Análisis estadístico de los rasgos productivos

En este estudio dado el arreglo de las unidades experimentales (tinas) se empleó un diseño de una vía para evaluar los rasgos productivos más importantes con el modelo:

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

En donde:

Y_{ij} = Valor fenotípico (peso final, ganancia diaria de peso, sobrevivencia y tasa de conversión de alimento) observado del grupo genético (j) en la unidad experimental (i).

μ = Media poblacional, un efecto común a todas las observaciones.

t_j = Efecto del grupo genético j .

E_{ij} = Efecto aleatorio del error de la unidad experimental (i) y del grupo genético (j) con distribución $N(0, \sigma^2)$.

Se realizó un análisis de covarianza para el análisis de los pesos finales, donde se incluyó como covariable al peso inicial. Para este caso se utilizó el modelo:

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

Donde:

X_{ij} = Covariable (peso inicial).

γ = Coeficiente de regresión lineal para peso inicial.

Las otras literales tienen los mismos significados que en el modelo anterior.

La prueba de comparación múltiple de medias se realizó mediante el procedimiento de Tukey (Steel y Torrie, 1985).

3.7.- Determinación de efectos genéticos

3.7.1.- Heterosis

La heterosis está dada en forma porcentual según Tave (1986) por la expresión:

$$H = [(\bar{X}_{F1} - \bar{X}_P) / \bar{X}_P] \times 100$$

3.7.4.- Efectos maternos.

La notación que refleja la comparación de efectos maternos en dos grupos genéticos está dada según Van Vleck *et al.* (1987) por:

$$M_A - M_B = BA - AB$$

En donde:

M_A = Efecto materno de la hembra de raza A.

M_B = Efecto materno de la hembra de raza B.

BA = Valor fenotípico del híbrido que incluye a la raza A como madre.

AB = Valor fenotípico del híbrido que incluye a la raza B como madre.

3.8.- Análisis estadístico de los efectos genéticos

3.8.1.- Modelo estadístico

Con el objeto de determinar diferencias estadísticas en los efectos genéticos de cruzamiento para los rasgos productivos en estudio en las cruzas obtenidas del diseño dialélico, se empleó el siguiente modelo lineal propuesto por Cockerham (1963):

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + M_i - M_j + R_{ij} + E_{ijk}$$

$$1 \leq i, j \leq 3, k = 1, 2, 3$$

En donde:

Y_{ijk} = Valor fenotípico observado (peso final, ganancia diaria de peso, sobrevivencia y tasa de conversión de alimento) para el promedio de la craza (i, j) en la k - ésima repetición del tratamiento.

μ = Media poblacional, un efecto común a todas las observaciones.

G_i = Efecto de la habilidad combinatoria general del progenitor i .

4.- RESULTADOS

4.1.- Características fisicoquímicas del agua

Los promedios, desviaciones estándar, valores máximos y mínimos de los parámetros fisicoquímicos del agua de los tanques de crecimiento se encuentran representados en el cuadro 11. Con excepción de los valores de amonio, amoniaco y nitrito, los valores se encontraron dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia (Balarin y Hatton, 1979). Es común que en sistemas de recirculación los niveles de nitrógeno amoniacal se encuentren elevados (Lighter *et al.*, 1988) sin embargo debido a los cambios totales del agua del sistema, los niveles de estos compuestos no llegaron a niveles peligrosos para los peces de este estudio.

Cuadro 11.- Características fisicoquímicas del agua durante los 60 días de la fase de crecimiento de los nueve grupos genéticos.

| Variable | Promedio \pm D.E. | Valor máximo | Valor mínimo |
|---------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Temperatura ambiente ($^{\circ}$ C) | 23.5 \pm 1.40 | 26.0 | 22.0 |
| Temperatura del agua ($^{\circ}$ C) | 27.5 \pm 1.10 | 29.0 | 25.0 |
| Oxígeno (mg/l) | 6.0 \pm 1.30 | 7.80 | 4.20 |
| pH | 6.58 \pm .150 | 6.80 | 6.50 |
| Nitrógeno amoniacal (mg/l) | 0.13 \pm 0.07 | 0.23 | 0.04 |
| Amoniaco NH ₃ (mg/l) | 0.15 \pm 0.08 | 0.28 | 0.04 |
| Amonio NH ₄ (mg/l) | 0.16 \pm 0.09 | 0.296 | 0.05 |
| Nitrito NO ₂ (mg/l) | .012 \pm .003 | 0.017 | 0.01 |
| Dureza total CaCO ₃ (mg/l) | 107.4 \pm 0.0 | 107.4 | 107.4 |

D.E = Desviación estándar

4.2.- Rasgos productivos.

Rasgos productivos generales (machos y hembras en conjunto). En el cuadro 12 se muestran los resultados de los rasgos productivos de los nueve grupos genéticos considerando la población en conjunto de machos y hembras, debe considerarse que los machos de tilapia presentan mayor crecimiento en comparación con las hembras.

El análisis de covarianza indicó que los pesos iniciales no influyeron en los resultados de los pesos finales ($P > 0.05$). Para esta última variable, el valor más alto se encontró en el híbrido NA, seguido de AN, MN y AM, entre los cuales no se encontraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$), en orden descendente le siguieron los pesos de MM, NM y NN, quienes no tuvieron diferencias con los híbridos MN y AM. Los menores pesos finales se encontraron en el híbrido MA y en AA, entre los cuales no existieron diferencias ($P > 0.05$). La ganancia diaria de peso mostró la misma tendencia que para los pesos finales.

Todos los grupos genéticos mostraron una conversión alimenticia por abajo de 1, lo que indicó la excelente transformación a peso vivo a partir del alimento balanceado agregado. Cabe destacar la conversión alimenticia de NA con un valor de 0.69, el cual fue diferente a MN (0.98), MA (0.96) y a NM (0.93) ($P \leq 0.05$).

Respecto a la sobrevivencia, el grupo que mostró el valor más bajo fue el de *O. mossambicus* (76.6%), la alta mortandad presentada en este grupo estuvo dada por una enfermedad septicémica provocada por *Pseudomona aeuroginosa*, la cual fue aislada de muestras de 15 hígados de peces afectados. La mayoría de las muertes encontradas en los diferentes grupos genéticos se atribuyeron a dicho agente, sin embargo como se aprecia en los valores de sobrevivencias en el cuadro 12, los otros grupos no fueron afectados tan severamente. Para esta variable el grupo de *O. mossambicus* mostró diferencias estadísticas con 5 de los 8 grupos genéticos ($P \leq 0.05$).

Este estudio no fue diseñado para evaluar la producción de crías en los diferentes cruzamientos, sin embargo, con excepción de la cruce *O. niloticus* x *O. aureus*, en todos los cruces se obtuvieron producciones por arriba de 2500 alevines. En la cruce antes mencionada se produjeron tan solo 360 alevines en total y según lo observado, los machos de *O. niloticus* no mostraron el comportamiento de cortejo característico en este grupo de peces, a pesar de que las hembras de *O. aureus* mostraban las características de estar sexualmente maduras.

Cuadro 12.- Rasgos productivos de machos y hembras en conjunto de los nueve grupos genéticos para las características peso final, ganancia diaria de peso y talla final.

| Variables | Grupo genético | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | N A | A N | M N | A M | M M | N M | N N | M A | A A |
| Peso inicial (g) ± D. E. | 4.8 ^a ± 1.0 | 4.7 ^a ± 2.1 | 4.6 ^a ± 1.5 | 3.1 ^b ± 1.2 | 3.9 ^{ab} ± 1.9 | 3.6 ^{ab} ± 1.8 | 3.1 ^b ± 1.2 | 3.2 ^b ± 1.1 | 3.2 ^b ± 1.2 |
| Peso final (g) ± D. E. | 50.6 ^a ± 14.5 | 45.9 ^b ± 12.9 | 42.5 ^{bc} ± 12.2 | 40.3 ^{bc} ± 13.5 | 40.3 ^c ± 12.0 | 38.1 ^c ± 13.3 | 37.0 ^{cd} ± 10.4 | 32.7 ^{de} ± 12.4 | 32.5 ^e ± 12.7 |
| Talla inicial (cm) ± D. E. | 6.4 ± 0.4 | 6.4 ± 0.8 | 6.2 ± 0.7 | 5.5 ± 0.7 | 5.9 ± 0.8 | 5.5 ± 0.8 | 5.4 ± 0.6 | 5.5 ± 0.6 | 5.6 ± 0.6 |
| Talla final (cm) ± D. E. | 13.9 ± 1.1 | 13.6 ± 1.1 | 12.6 ± 1.4 | 12.2 ± 1.4 | 13.0 ± 1.2 | 12.6 ± 1.3 | 12.3 ± 1.2 | 11.7 ± 1.5 | 11.6 ± 1.3 |
| Ganancia diaria de peso (g/día) | 0.77 ^a | 0.70 ^b | 0.64 ^{bc} | 0.60 ^{bc} | 0.60 ^c | 0.57 ^c | 0.55 ^{cd} | 0.48 ^{de} | 0.47 ^{de} |
| Sobrevivencia (%) | 89.6 ^{bc} | 98.0 ^{ab} | 97.6 ^{ab} | 91.3 ^{abc} | 76.6 ^c | 99.0 ^a | 98.0 ^{ab} | 93.6 ^{ab} | 97.3 ^{ab} |
| Conversión alimenticia | 0.69 ^c | 0.83 ^{abc} | 0.98 ^a | 0.81 ^{abc} | 0.79 ^{abc} | 0.93 ^{ab} | 0.86 ^{abc} | 0.96 ^a | 0.75 ^{bc} |

Medias con el mismo superíndice no son diferentes ($P > 0.05$). M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*. D.E. = Desviación estándar.

En la figura 3 se presenta la gráfica de crecimiento en peso promedio de los nueve grupos genéticos, en donde se observa que todos los grupos continuaban ganando peso, sin registrarse un estancamiento en el rendimiento.

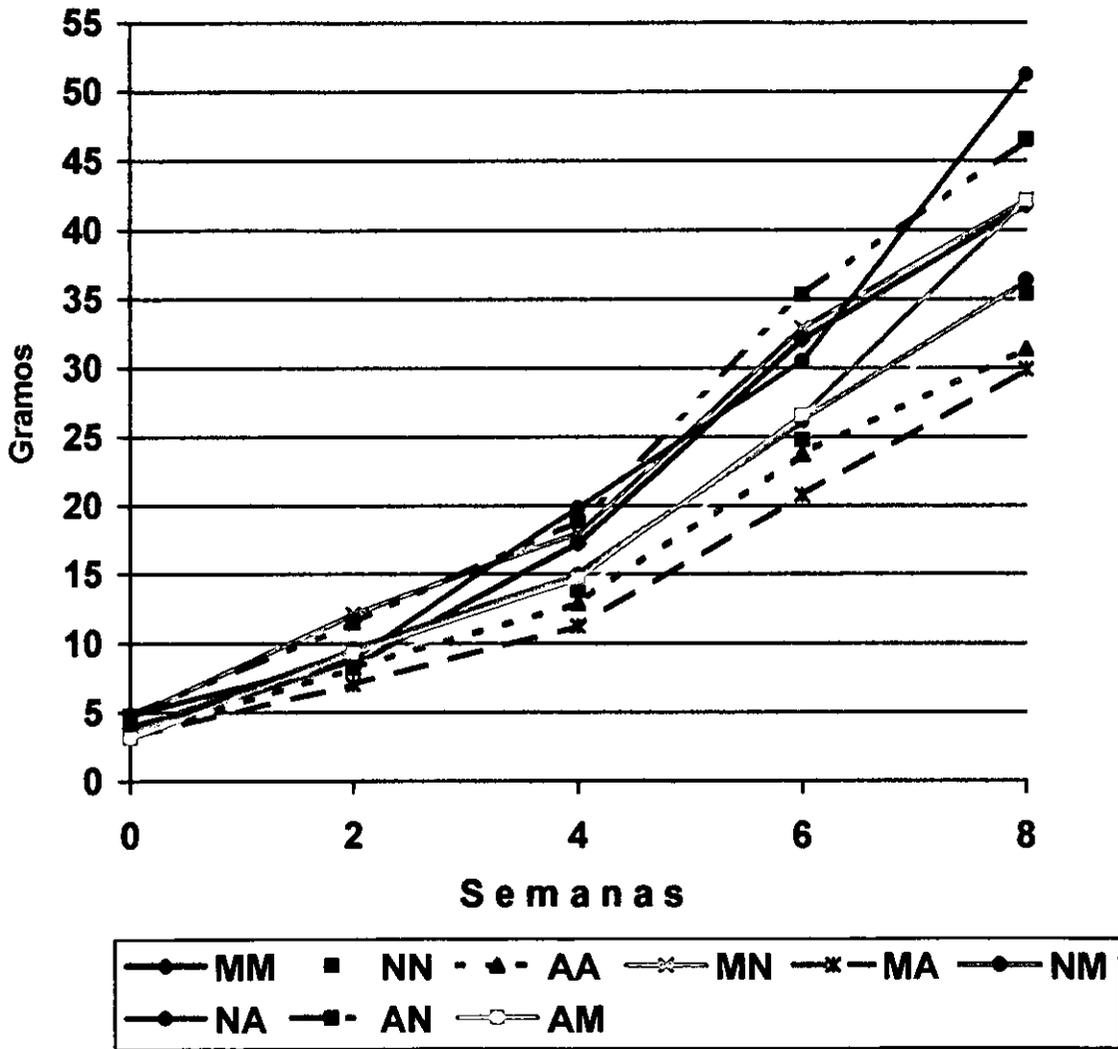


Figura 3.- Crecimiento de los nueve grupos genéticos durante el ciclo de crianza (60 días).

La figura 4 muestra la sobrevivencia de los grupos genéticos al final de la fase de crianza, en donde puede observarse la gran diferencia de este valor en *O. mossambicus*, con respecto al resto de los grupos.

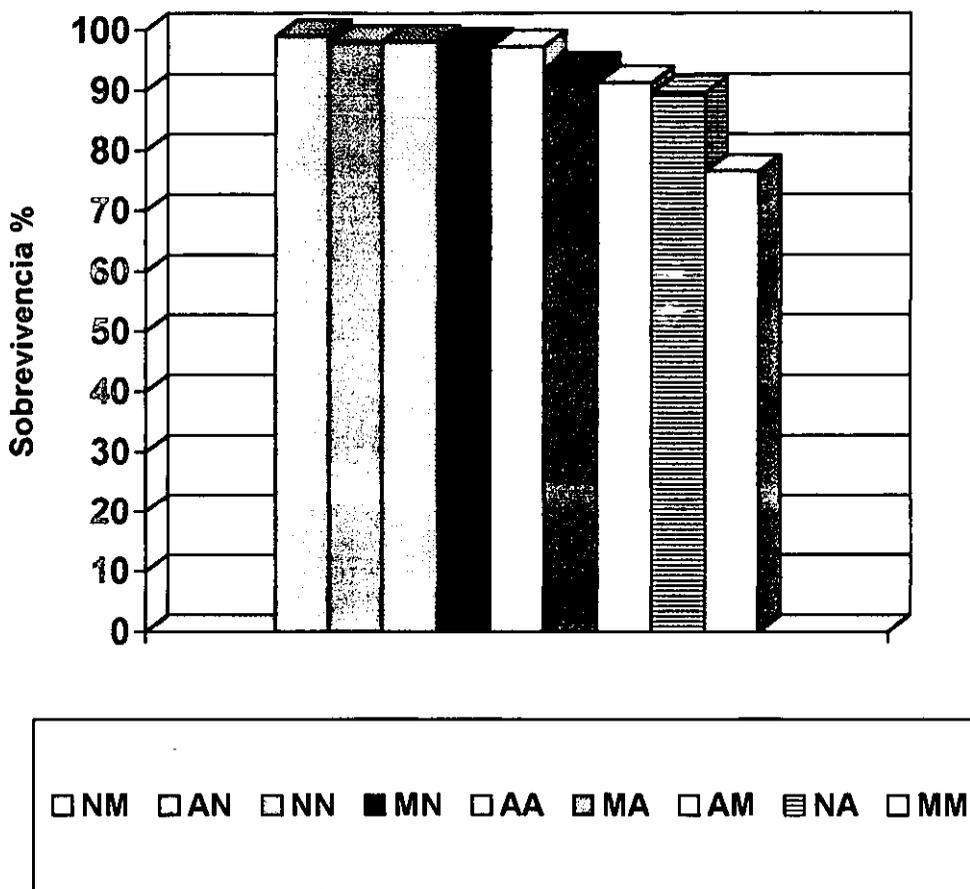


Figura 4.- Valores porcentuales de sobrevivencia de los grupos genéticos durante la fase de crianza (60 días).

Rasgos productivos en machos. El cuadro 13 presenta los resultados de los rasgos productivos de machos de los nueve grupos genéticos. Debe señalarse que estos son los resultados de desempeño productivo de mayor utilización práctica, ya que los machos de estos peces tienen un crecimiento superior a las hembras, por tal razón en el cultivo de estos cíclidos, las engordas se realizan con machos. El valor más alto para peso final se encontró en los híbridos NA, AM y AN, los cuales no fueron diferentes entre si ($P > 0.05$), seguidos de, MN, MM, NN y NM, los cuales fueron similares a los híbridos AM y AN ($P > 0.05$), pero menores al híbrido AN ($P \leq 0.05$). Los pesos finales de valor más bajo fueron para MA y AA, sin diferencias entre ellos, ni con AN, MN, MM, NN y MA, solo tuvieron diferencias estadísticas con los híbridos NA y AM ($P \leq 0.05$).

Para el caso de la ganancia diaria de peso se observó una tendencia similar; el valor más alto se encontró en el híbrido NA, el cual no fue diferente a los grupos AM, AN ni a MN, ($P > 0.05$), pero fue diferente a los grupos MM, NN, NM, MA y AA ($P \leq 0.05$). En el resto de los grupos genéticos no se encontraron diferencias estadísticas entre ellos ($P > 0.05$).

Cuadro 13.- Rasgos productivos de machos de los nueve grupos genéticos.

| Variables | Grupo genético | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | NA | AM | AN | MN | MM | NN | NM | MA | AA |
| Peso inicial (g) | 4.8 ^a | 3.1 ^b | 4.7 ^a | 4.6 ^a | 3.9 ^{ab} | 3.1 ^b | 3.6 ^{ab} | 3.2 ^b | 3.2 ^b |
| ± D. E. | ±1.0 | ±1.2 | ±2.1 | ±1.5 | ±1.9 | ±1.2 | ±1.8 | ±1.1 | ±1.2 |
| Peso final (g) | 59.0 ^a | 48.1 ^{ab} | 51.4 ^{abc} | 47.6 ^{bc} | 44.9 ^{bc} | 41.4 ^{bc} | 40.9 ^{bc} | 38.8 ^c | 38.3 ^c |
| ± D. E. | ± 13.1 | ± 13.0 | ± 11.7 | ± 11.1 | ± 10.5 | ± 9.8 | ± 12.0 | ± 12.0 | ± 11.9 |
| Talla inicial (cm) | 6.4 | 5.5 | 6.4 | 6.2 | 5.9 | 5.4 | 5.5 | 5.5 | 5.6 |
| ± D. E. | ± 0.4 | ± 0.7 | ± 0.8 | ± 0.7 | ± 0.8 | ± 0.6 | ± 0.8 | ± 0.6 | ± 0.6 |
| Talla final (cm) | 14.6 | 12.88 | 14.1 | 13.2 | 13.4 | 12.7 | 12.9 | 12.6 | 12.4 |
| ± D. E. | ± 0.8 | ± 1.3 | ± 0.9 | ± 1.1 | ± 1.0 | ± 1.0 | ± 1.2 | ± 1.2 | ± 1.2 |
| Ganancia diaria de peso (g/día) | .91 ^a | .75 ^{ab} | .77 ^{ab} | .71 ^{ab} | .68 ^b | .64 ^b | .62 ^b | .59 ^b | .58 ^b |

Medias con el mismo superíndice no son diferentes ($P > 0.05$). M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*. D.E. = Desviación estándar.

Rasgos productivos en hembras. En el cuadro 14 se muestran los valores productivos de las hembras de los grupos genéticos estudiados. El peso final más alto se encontró en el híbrido NA, el cual no fue diferente a AN pero si al resto de los grupos genéticos ($P \leq 0.05$). Cabe destacar también que los valores más bajos y con diferencias con el resto de los grupos ($P \leq 0.05$) se encontró en MA y AA quienes entre si fueron iguales ($P > 0.05$).

En el caso de la ganancia diaria de peso se observó que el híbrido NA presentó nuevamente el valor más alto pero sin diferencias estadísticas con respecto a AN, MN y MM. Estos últimos grupos fueron a su vez diferentes a MA y AA ($P \leq 0.05$) y presentaron los valores más bajos y sin diferencias entre ellos ($P > 0.05$).

Cuadro 14.- Rasgos productivos de hembras de los nueve grupos genéticos.

| Variables | Grupo genético | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | NA | AN | MN | MM | NM | AM | NN | MA | AA |
| Peso inicial (g) | 4.8 ^a | 4.7 ^a | 4.6 ^a | 3.9 ^{ab} | 3.6 ^{ab} | 3.1 ^b | 3.1 ^b | 3.2 ^b | 3.2 ^b |
| ± D. E. | ± 1.0 | ± 2.1 | ± 1.5 | ± 1.9 | ± 1.8 | ± 1.2 | ± 1.2 | ± 1.1 | ± 1.2 |
| Peso final (g) | 43.4 ^a | 41.7 ^{abc} | 39.0 ^{cd} | 35.6 ^d | 34.8 ^{de} | 31.4 ^e | 31.0 ^e | 25.8 ^f | 25.6 ^f |
| ± D. E. | ± 11.7 | ± 12.3 | ± 12.4 | ± 11.8 | ± 14.0 | ± 11.1 | ± 9.5 | ± 8.1 | ± 6.9 |
| Talla inicial (cm) | 6.4 ± | 6.4 ± | 6.2 ± | 5.9 ± | 5.5 ± | 5.5 ± | 5.4 ± | 5.5 ± | 5.6 ± |
| ± D. E. | 0.4 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Talla final (cm) | 13.3 ± | 13.0 ± | 12.1 ± | 12.5 ± | 12.4 ± | 11.5 ± | 11.9 ± | 10.9 ± | 10.8 ± |
| ± D. E. | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.0 |
| Ganancia diaria de peso (g/día) | .64 ^a | .61 ^{ab} | .56 ^{abc} | .53 ^{abc} | .52 ^{bc} | .47 ^{cd} | .47 ^{cd} | .37 ^d | .37 ^d |

Medias con el mismo superíndice no son diferentes ($P > 0.05$). M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*. D.E. = Desviación estándar.

La figura 5 muestra la gráfica con los pesos finales promedio para machos y hembras de los nueve grupos genéticos y en donde se observa la superioridad de los machos en dicha característica, lo cual es un rasgo común en estos ciclidos.

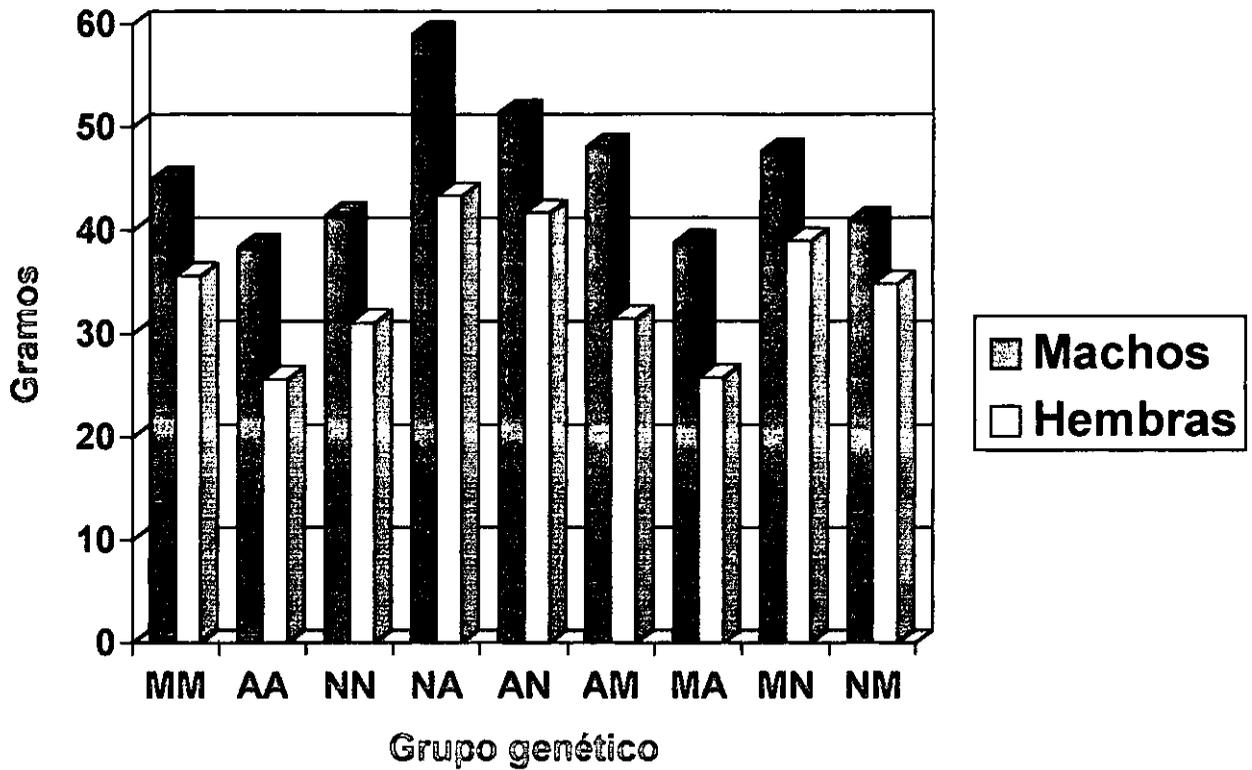


Figura 5.- Pesos finales de machos y hembras de los nueve grupos genéticos.

4.3.- Efectos genéticos

4.3.1.- Heterosis

El cuadro 15 muestra los valores de heterosis estimados para los tres híbridos (*O. mossambicus* x *O. niloticus*, *O. mossambicus* x *O. aureus* y *O. niloticus* x *O. aureus*), Los valores más altos se encontraron en el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* para las características peso final y ganancia diaria de peso tanto en términos generales como en machos y hembras mientras que valores bajos fueron encontrados en los híbridos *O. mossambicus* x *O. niloticus* y en *O. mossambicus* x *O. aureus*.

Cuadro 15.- Valores porcentuales de heterosis en los tres tipos de híbridos.

| Cruza | General* | | | | Machos | | Hembras | |
|-------|----------|------------|-------------------|-------|--------|------------|---------|------------|
| | PF (g) | GP (g/día) | Sobrevivencia (%) | CA | PF (g) | GP (g/día) | PF (g) | GP (g/día) |
| MN | 4.26 | 5.21 | 12.6 | -6.52 | 2.54 | 0.75 | 10.81 | 8.00 |
| MA | 0.27 | 2.80 | 6.32 | 2.31 | 4.44 | 6.34 | -6.53 | -6.66 |
| NA | 38.84 | 44.11 | -3.94 | -5.59 | 38.51 | 37.70 | 50.35 | 48.81 |

* Incluye machos y hembras. M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*.
PF = Peso final; GP = Ganancia de peso; CA = Conversión alimenticia.

4.3.2.- Habilidad combinatoria general

El cuadro 16 muestra los valores de la habilidad combinatoria general de *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en este efecto entre las tres especies ($P > 0.05$) (Cuadros del 24 al 31 de la sección de anexos), no obstante puede observarse una tendencia de *O. niloticus* a mostrar valores más altos con respecto a las otras dos especies.

Cuadro 16.- Habilidad combinatoria general de las tres especies para las características en estudio

| Especie | General** | | | | Machos | | Hembras | |
|-----------------------|-----------|------------|-------------------|--------|--------|------------|---------|------------|
| | PF (g) | GP (g/día) | Sobrevivencia (%) | CA | PF (g) | GP (g/día) | PF (g) | GP (g/día) |
| <i>O. niloticus</i> | 1.861 | 0.030 | 3.256 | -0.018 | 1.35 | 0.021 | 2.561 | 0.041 |
| <i>O. mossambicus</i> | -0.956 | -0.015 | -4.328 | 0.064 | -1.40 | -0.023 | -0.556 | -0.008 |
| <i>O. aureus</i> | -0.906 | -0.015 | 2.805 | -0.046 | 0.05 | 0.002 | -2.006 | -0.033 |
| Media General* | 39.98 | 0.60 | 93.44 | 0.84 | 45.60 | 0.69 | 34.25 | 0.50 |

Los valores de la habilidad combinatoria general se expresan como una desviación de la media general del rasgo* de todas las cruzas.

** Incluye machos y hembras. PF = Peso final; GP = Ganancia de peso; CA = Conversión alimenticia.

4.3.3.- Habilidad combinatoria específica

En el cuadro 17 se pueden observar los valores del efecto de la habilidad combinatoria específica de los nueve grupos genéticos. El análisis estadístico mostró que hubo un efecto significativo en este parámetro genético ($P \leq 0.01$) (Cuadros del 24 al 31 de la sección de anexos), lo que indicó que los valores productivos obtenidos fueron dependientes de la craza examinada. Por lo

que las comparaciones entre los diferentes rasgos en cada uno de los nueve grupos genéticos se analizaron bajo la prueba estadística de comparación múltiple de medias mediante el procedimiento de Tukey. Esto se muestra en los diferentes cuadros de la sección de desempeño productivo (4.2.).

Cuadro 17.-Habilidad combinatoria específica en los nueve grupos genéticos para los rasgos en estudio.

| Cruza (♂: ♀) | General* | | | | Machos | | Hembras | |
|-----------------|-----------|---------------|----------------------|--------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | PF (g) | GP (g/día) | Sobrevivencia (%) | CA | PF (g) | GP (g/día) | PF (g) | GP (g/día) |
| NN | -6.71 | -0.110 | -1.95 | 0.051 | -6.90 | -0.096 | -8.37 | -0.116 |
| MM | 2.22 | 0.030 | -8.18 | 0.008 | 2.10 | 0.031 | 2.45 | 0.041 |
| AA | -5.67 | -0.100 | 1.71 | -0.002 | -7.40 | -0.119 | -4.64 | -0.069 |
| NM | -2.79 | -0.045 | 6.62 | 0.039 | -4.65 | -0.072 | -1.46 | -0.017 |
| MN | 1.60 | 0.025 | 5.22 | -0.101 | 2.05 | 0.018 | 2.73 | 0.023 |
| AN | 4.95 | 0.085 | 0.22 | 0.049 | 4.40 | 0.053 | 6.88 | 0.098 |
| NA | 9.65 | 0.155 | -8.17 | -0.091 | 12.00 | 0.193 | 8.58 | 0.128 |
| AM | 2.17 | 0.050 | 1.11 | -0.052 | 3.85 | 0.076 | -0.29 | 0.006 |
| MA | -5.42 | -0.090 | 3.41 | 0.098 | -5.45 | -0.084 | -5.89 | -0.094 |

Los valores de la habilidad combinatoria específica se expresan como una desviación del valor fenotípico esperado que se obtiene mediante la suma de las habilidades combinatorias generales de las especies involucradas en la cruce y la media general del rasgo.

* Incluye machos y hembras. M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*.
PF = Peso final; GP = Ganancia de peso; CA = Conversión alimenticia.

4.3.4.- Efectos maternos

El cuadro 18 muestra los valores de las diferencias en efectos maternos en los diferentes tipos de cruzamientos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en este efecto en las diferentes cruza ($P > 0.05$) (Cuadros del 24 al 31 de la sección de anexos). A pesar de ello se puede apreciar una tendencia en obtener valores más altos en las variables peso final y ganancia diaria de peso generales y en machos y hembras cuando se utilizan hembras de *O. mossambicus* cruzadas con machos *O. aureus*.

Cuadro 18.- Diferencias de efectos maternos entre las diferentes especies utilizadas en el estudio.

| Diferencias entre efectos maternos* | General** | | | | Machos | | Hembras | |
|-------------------------------------|-----------|------------|-------------------|-------|--------|------------|---------|------------|
| | PF (g) | GP (g/día) | Sobrevivencia (%) | CA | PF (g) | GP (g/día) | PF (g) | GP (g/día) |
| $M_N - M_M$ | 4.4 | 0.07 | -1.4 | -0.14 | 6.7 | -0.11 | 4.2 | 0.04 |
| $M_A - M_N$ | 4.7 | 0.07 | -8.4 | -0.14 | 7.6 | -1.54 | 1.7 | 0.03 |
| $M_M - M_A$ | 7.6 | 0.14 | -2.3 | -0.15 | 9.3 | 1.14 | 5.6 | 0.10 |

* M = Efecto materno y el subíndice señala la especie: M_N = Efecto materno de *O. niloticus*; M_M = Efecto materno de *O. mossambicus*; M_A = efecto materno de *O. aureus*.

PF = Peso final; GP = Ganancia de peso; CA = Conversión alimenticia.

** Incluye machos y hembras.

4.3.5.- Componentes de varianza

En el cuadro 19 se muestran los componentes de varianza de la habilidad combinatoria general, habilidad combinatoria específica, efecto materno, efecto recíproco y del error para cada una de los rasgos en estudio.

Cuadro 19.- Componentes de varianza para los rasgos en estudio.

| Variables | σ^2_{ACG} | σ^2_{ACE} | σ^2_{EM} | σ^2_{ER} | σ^2_{Error} |
|-----------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Peso final | 0 | 165.0088 | 0 | 115.37162 | 9.44003 |
| Ganancia de Peso | 0 | 132.21387 | 0 | 104.84873 | 9.62670 |
| Peso final de machos | 0 | 144.08149 | 0 | 132.34393 | 22.11338 |
| Peso final de hembras | 0 | 143.53859 | 0 | 27.44265 | 5.57802 |
| Ganancia de Peso de machos | 0 | 114.44484 | 0 | 121.29771 | 21.36818 |
| Ganancia de Peso de hembras | 0 | 110.13736 | 0 | 22.05978 | 6.11404 |
| Sobrevivencia | 18.70501 | 114.17460 | 0 | 32 | 8 |
| Conversión alimenticia | 0.00004 | 0.01829 | 0 | 0.01199 | 0.00481 |

σ^2_{ACG} = Varianza de la habilidad combinatoria general, σ^2_{ACE} = Varianza de la habilidad combinatoria específica, σ^2_{EM} = Varianza del efecto materno, σ^2_{ER} = Varianza del efecto recíproco, σ^2_{Error} = Varianza del error.

En el cuadro 20 se muestran los valores de los componentes de varianzas: fenotípica, ambiental, genotípica, aditiva y de dominancia y el índice de herencia estimados para cada uno de los rasgos.

Cuadro 20.- Componentes de la varianza fenotípica, genotípica y ambiental y el índice de herencia para los rasgos en estudio.

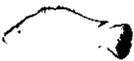
| VARIABLES | σ^2_F | σ^2_G | σ^2_A | σ^2_D | σ^2_{Am} | h^2 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------|
| Peso final general | 289.8204 | 165.0088 | 0 | 165.0088 | 124.8116 | 0 |
| Ganancia de peso general | 246.6893 | 132.2138 | 0 | 132.2138 | 114.4754 | 0 |
| Peso final de machos | 298.5388 | 144.0814 | 0 | 144.0814 | 154.4573 | 0 |
| Peso final de hembras | 176.5592 | 143.5385 | 0 | 143.5385 | 33.0206 | 0 |
| Ganancia de Peso de machos | 257.1107 | 114.4448 | 0 | 114.4448 | 142.6658 | 0 |
| Ganancia de Peso de hembras | 138.3119 | 110.1373 | 0 | 110.1373 | 28.1738 | 0 |
| Sobrevivencia | 191.5846 | 151.5846 | 37.4100 | 114.1746 | 40.00 | 0.1952 |
| Conversión alimenticia | 0.0351 | 0.0183 | 0.00009 | 0.0182 | 0.0168 | 0.0029 |

σ^2_F = Varianza fenotípica; σ^2_G = Varianza genotípica; σ^2_A = Varianza aditiva; σ^2_D = Varianza de dominancia; σ^2_{Am} = Varianza ambiental; h^2 = índice de herencia.

4.4.- Segregación de colores

En el cuadro 21 se muestra la segregación de colores que resultó de cada uno de los cruzamientos. Las coloraciones de los reproductores utilizados en el cruzamiento dialélico fueron tres:: a) rojo, presentado en los reproductores de *O. mossambicus*, b).- rosa, en los ejemplares de *O. niloticus* y c).- plata, en los reproductores de *O. aureus*. En la progenie de los diferentes cruzamientos aparecieron tres colores adicionales: dorado claro, gris y blanco.

Cuadro 21.- Segregación del color en los nueve grupos genéticos.

| Grupos genéticos | Colores (%) | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|--------|
| | Dorado-claro | Rosa | Rojo | Gris | Plata | Blanco |
| |  |  |  |  |  | |
| M*M | - | - | 99.7 | - | - | 0.3 |
| A*A | - | - | - | 1.4 | 98.6 | - |
| N*N | - | 99.7 | - | - | - | 0.3 |
| N*A | 90.0 | 10.0 | - | - | - | - |
| A*N | 64.0 | 36.0 | - | - | - | - |
| A*M | 43.4 | - | 36.0 | 16.8 | 3.7 | - |
| M*A | 34.6 | - | 26.7 | 32.1 | 6.5 | - |
| M*N | - | - | 100 | - | - | - |
| N*M | - | - | 99.7 | - | - | 0.3 |

M = *Oreochromis mossambicus*; N = *Oreochromis niloticus*; A = *Oreochromis aureus*.

En la figura 6 se muestran las seis diferentes coloraciones con sus respectivas variantes. Se observó la presencia de una amplia gama de coloraciones en los ejemplares que se consideraron como rojos, la cual iba de la coloración roja hasta peces de color naranja claro. Lo mismo sucedió con la coloración considerada como rosa ya que en este caso la coloración iba de una coloración rosa intenso hasta una coloración rosa claro. En los colores considerados como rojos y rosas también se observaron manchas de melanina en el cuerpo y áreas del cuerpo sin pigmento. La incidencia de manchas en el cuerpo fue amplia o pequeña, lo mismo sucedió con el tamaño de las manchas. En el caso de la coloración considerada como gris se observaron también diferentes intensidades de este color.

En las coloraciones consideradas como dorado claro, plata y blanco no se apreciaron variantes en su coloración.

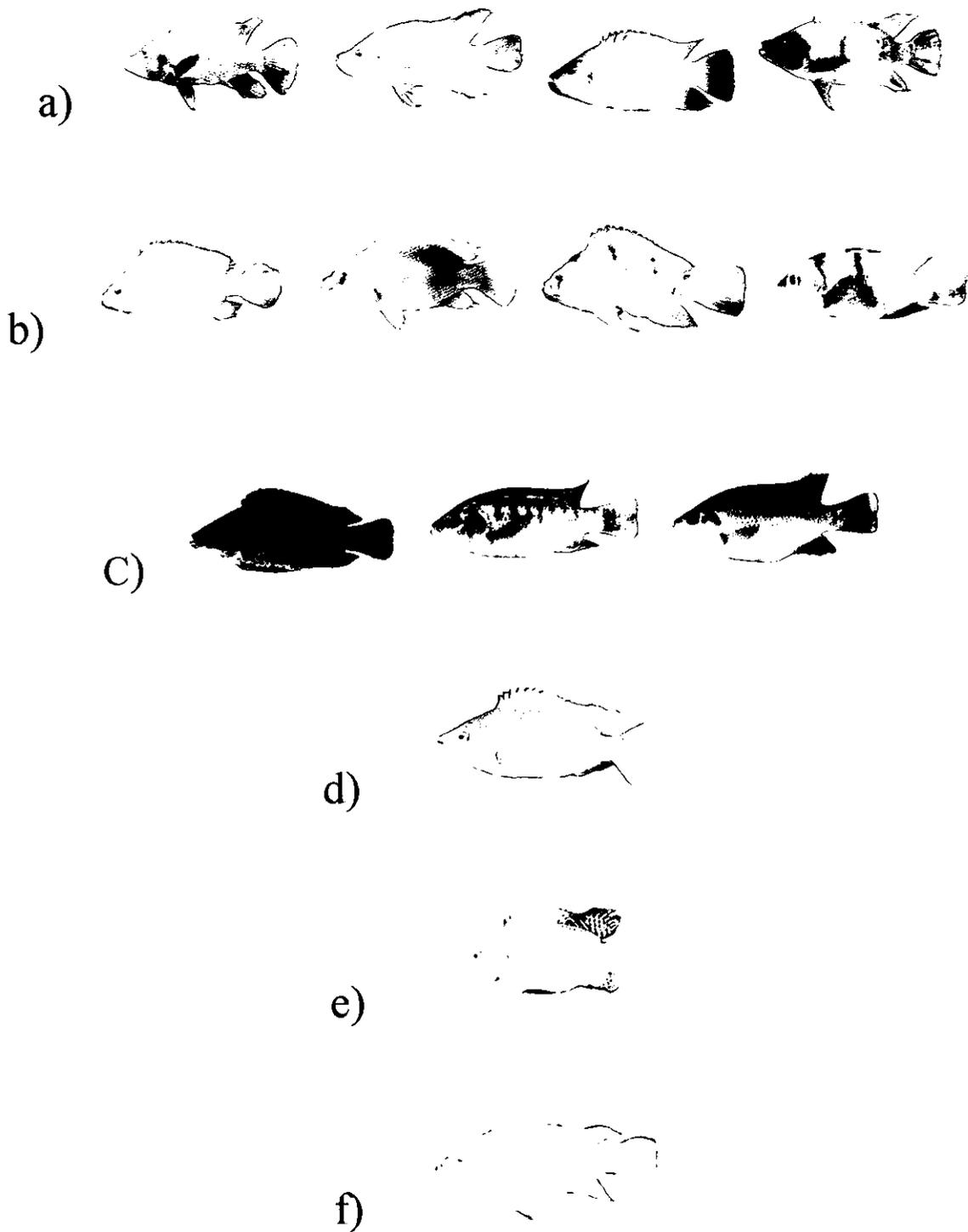


Figura 6.- Representación de los colores encontrados en los diferentes grupos genéticos de este estudio: a) rojos; b) rosas; c) grises; d) dorado claro e) plata y f) blanco.

4.5.- Proporción de sexos

En el cuadro 22 se muestran los porcentajes de sexos observados en los nueve cruzamientos, comparándose con un porcentaje esperado de machos - hembras de 50%:50%. Bajo esta condición solo tres cruzamientos, AA, NA y AN, no tuvieron una desviación significativa de la proporción esperada ($P > 0.05$).

Cuadro 22.- Porcentajes de sexos observados en los nueve grupos genéticos comparados con los porcentajes esperados de 50% para machos y 50% para hembras.

| Grupo genético | Porcentaje observado (♂) | Porcentaje observado (♀) | Ji-cuadrada |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| MM | 69.64 | 30.35 | 35.217 * |
| AA | 45.20 | 54.79 | 2.684 N.S. |
| NN | 41.17 | 58.82 | 9.197 * |
| NA | 50.18 | 49.81 | 0.003 N.S. |
| AN | 49.65 | 50.34 | 0.013 N.S. |
| AM | 63.92 | 36.07 | 21.080 * |
| MA | 31.14 | 68.85 | 39.234 * |
| MN | 36.17 | 63.82 | 22.392 * |
| NM | 24.49 | 75.50 | 76.771 * |

* Desviación significativa ($P \leq 0.005$) de la proporción de sexos esperada cuando Ji-cuadrada > 7.879

N.S. = No significativo.

M = *Oreochromis mossambicus*

N = *Oreochromis niloticus*

A = *Oreochromis aureus*

En el cuadro 23 se muestra el porcentaje de sexos observado de cuatro de los grupos genéticos de los cuales se esperaba un porcentaje diferente de 50% para machos y hembras, con base en los modelos para la determinación del sexo mostrada en el cuadro 10. En ninguno de los casos, los porcentajes de sexo observados fueron consistentes con los modelos descritos en dicho cuadro.

Cuadro 23.- Porcentajes de sexos observados en cuatro de los nueve grupos genéticos comparados con los porcentajes esperados bajo el sistema XY y WZ.

| Grupo genético | Porcentaje observado (♂) | Porcentaje observado (♀) | Porcentaje esperado (♂:♀) | Ji-cuadrada |
|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|
| NA | 50.18 | 49.81 | 75:25 | 88.338 * |
| AN | 49.65 | 50.34 | 100:0 | 7230.575 * |
| AM | 63.92 | 36.07 | 100:0 | 3415.906 * |
| MA | 31.14 | 68.85 | 75:25 | 285.979 * |

* Desviación significativa ($P \leq 0.005$) de la proporción de sexos esperada cuando Ji - cuadrada > 7.879 .

Los grupos genéticos faltantes presentan las mismas proporciones que en el cuadro 22.

M = *Oreochromis mossambicus*

N = *Oreochromis niloticus*

A = *Oreochromis aureus*

5.-DISCUSION

5.1.- Efectos genéticos

Heterosis. La mayoría de las investigaciones que abordan el estudio de híbridos en tilapias se centran en reportar en primer lugar las proporciones de sexos y en segundo su comportamiento productivo, omitiendo información de relevancia desde el punto de vista genético como la estimación del efecto de heterosis. En el presente estudio la cruce que presentó valores importantes de heterosis fue la de *O. niloticus* x *O. aureus* para las características de peso final y ganancia de peso tanto en términos generales como en machos y hembras, con valores que van desde 38.8% hasta 50.3% que muestran claramente la superioridad de dichos híbridos con respecto a sus especies progenitoras, un efecto importante de heterosis del 28.3% fue reportado por Jayaprakas *et al.* (1988) en un cruzamiento intraespecífico de dos líneas de *O. niloticus*. Los valores aquí presentados muestran también la importancia de este efecto en términos productivos bajo el cruzamiento de dos especies distintas de tilapia y refuta los cuestionamientos de Yashou y Halevy (1967) y Krasznai (1987) sobre la posibilidad de obtener un efecto de heterosis importante en este grupo de peces. No se encontraron valores de heterosis relevantes en las cruces de *O. mossambicus* x *O. aureus* ni en *O. mossambicus* x *O. niloticus*; lo encontrado en este último cruzamiento es muy diferente a lo reportado por Rodríguez *et al.* (1995) quienes encontraron un valor de heterosis (para machos y hembras en conjunto) para peso final de 14.4%, para ganancia diaria de peso de 11% y sobrevivencia de -1.6%, mientras que en el presente estudio se obtuvieron valores de 4.26%, 5.21% y 12.6% para las mismas características respectivamente. Esto se puede atribuir en el caso de pesos finales y ganancias de peso, al buen desempeño en crecimiento que mostraron los ejemplares de *O. mossambicus* durante el presente estudio y en el caso de la sobrevivencia a un valor mayor de este rasgo encontrado por Rodríguez *et al* (1995) en *O. mossambicus* en comparación a la encontrada en este estudio para la misma especie.

Habilidad combinatoria general y habilidad combinatoria específica. Con base en la estimación de estos parámetros se deduce que la contribución de los progenitores al valor fenotípico de la progenie no es aditivo, es decir que las características estudiadas no se pueden predecir en base a la suma de los efectos individuales inducidos por cada especie progenitora, más bien los valores

fenotípicos estudiados van a depender de la craza examinada, por lo que la discusión se centrará en la definición de las cruzas más productivas con base en la comparación de los resultados de los rasgos productivos de cada cruza.

Efectos maternos. La estimación de los estos efectos revelaron que el valor fenotípico de la progenie no fue influenciado por un efecto maternal, es decir, en general el valor fenotípico de una, no fue diferente de aquel observado en la craza craza recíproca correspondiente, no obstante el efecto materno atribuible a una especie progenitora específica, fue variable, dependiendo de la especie progenitora paterna que se eligió, esto describe el significado del efecto recíproco. La falta de presencia de efecto materno en las cruzas examinadas es contrario a lo encontrado por Cabrera *et al.* (1987) en la craza de *O. mossambicus* roja x *O. urolepis hornorum* de color silvestre, ya que cuando utilizaron el macho rojo de *O. mossambicus* con hembra silvestre de *O. urolepis hornorum* la progenie fue de bajo crecimiento en comparación con su craza recíproca. Algunos estudios han sugerido que el tamaño y calidad del huevo provee un efecto materno importante en algunos salmónidos para algunos rasgos de crecimiento (Gjerde, 1988) lo que implicaría que este no es el caso para las especies involucradas en este estudio.

Heredabilidad. Tave (1986) ha señalado que generalmente los rasgos con baja heredabilidad pueden ser más productivos si se explotan los valores de dominancia con programas de cruzamientos; esto se corrobora con lo observado en este estudio en donde los componentes de varianza genotípica están dados básicamente por los valores de la varianza de dominancia, siendo la varianza aditiva de cero o cercana a dicho valor en las características bajo estudio, con excepción de la sobrevivencia en donde se aprecia un valor relativamente importante de la varianza aditiva en la composición de la varianza genotípica, lo que llevó a la obtención de valores de heredabilidad de cero para las características de pesos finales y ganancias de peso; esto es congruente con los estudios llevados a cabo por Tave y Smitherman (1980), Teichert-Coddington (1983) y Hulata *et al.* (1986) con la especie *O. niloticus*; esos autores informaron de heredabilidades con valores muy bajos para características de crecimiento, pero difieren a lo encontrado por Bondari *et al.* (1983) en *O. aureus*; Ch'ang (1971) en *O. mossambicus* y Jarimopas (1986) con una tilapia de línea tailandesa, quienes encontraron un importante componente aditivo que produjo un efecto benéfico en selección para rápido crecimiento, sin embargo cabe señalar que las estimaciones de los autores antes mencionados fueron hechas bajo los métodos de heredabilidad realizada, medios hermanos y hermanos completos,

mossambicus roja, información que no coincide con lo encontrado en este estudio en donde estos grupos genéticos mostraron igual crecimiento.

El hecho de que *O. mossambicus* en este estudio haya mostrado uno de los mejores crecimientos durante la fase de desarrollo, lo cual no es consistente con la información disponible, hace suponer la presencia de un efecto de interacción genotipo - medio ambiente. La mayor parte de los estudios en donde *O. mossambicus* resultó ser de bajo rendimiento, se han realizado bajo sistemas semiintensivos, mientras que en esta investigación el sistema utilizado es considerado como un sistema intensivo, dicho sistema exige una infraestructura capaz de mantener en forma constante niveles de oxígeno por arriba del 75% de saturación en el agua. Estas circunstancias y probablemente también al efecto de corriente continua dentro de las tinas de desarrollo, podrían haber provocado una respuesta diferente en el crecimiento de *O. mossambicus* en comparación a lo reportado en otros estudios como en el caso de Macaranas *et al.* (1997) quienes concluyeron en su trabajo que *O. mossambicus* muestra un bajo desempeño productivo cuando la especie se somete a condiciones de baja calidad del agua. Los efectos de interacción genotipo - medio ambiente en peces, ya han sido reportados por Wohlfarth *et al.* (1983b) en la carpa común (*Cyprinus carpio*) y en tilapia, Romana - Eguia y Doyle (1992) observaron un efecto significativo en dicha interacción en la respuesta de tres líneas de *O. niloticus* a una pobre nutrición.

Uno de los grupos genéticos que presentó el mejor crecimiento considerando el peso final y ganancia diaria de peso en general así como en machos y hembras por separado, fue el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus*, sin embargo se encontró cierta incompatibilidad en el proceso reproductivo entre las especies progenitoras, lo que resultó en la obtención de una baja producción de crías. El buen crecimiento de este híbrido en relación a otros coincide con lo encontrado por Hulata *et al.* (1995) quienes a su vez, también encontraron una baja producción de crías híbridas, en dicho caso los autores manejaron como especies progenitoras a *O. niloticus* rosa (♂) y *O. aureus* de color silvestre (♀), sin embargo en este mismo tipo de cruzamiento pero utilizando ejemplares de *O. niloticus* de color silvestre, no se presenta ese problema y además dichos híbridos muestran una alta tasa de crecimiento (Siddiqui y Al-Harbi, 1995), de hecho este cruzamiento es el más utilizado en Israel en las granjas piscícolas que realizan esquemas de cruzamientos en sus sistemas de producción (Hulata, 1995). Otro problema de incompatibilidad entre especies fue reportada por Wohlfarth *et al.* (1983) en la cruce de *O. urolepis hornorum* (♂) x *O. niloticus* (♀). Rothbard (1979) sugiere que

algunas diferencias en el patrón visual y de cortejo pueden provocar una incompatibilidad parcial o completa en el proceso reproductivo entre algunas especies de tilapia. Dado a que en el presente estudio, el híbrido *O. niloticus* (rosa) x *O. aureus* (Rocky Mountain) fue uno de los mejores híbridos respecto al desempeño productivo, se recomienda realizar estudios sobre el comportamiento reproductivo durante los cruzamientos de las especies involucradas para producir ese híbrido, de tal manera que se pueda obtener información sobre las barreras reproductivas que intervienen en el proceso de hibridación en esas especies.

Los híbridos que mantuvieron en terminos generales un aceptable y similar desempeño productivo en machos, hembras y en conjunto (ambos sexos) fueron: *O. aureus* (♂) x *O. niloticus* (♀); *O. mossambicus* (♂) x *O. niloticus* (♀); *O. aureus* (♂) x *O. mossambicus* (♀) y *O. niloticus* (♂) x *O. mossambicus* (♀). Sin embargo es necesario continuar con estas evaluaciones hasta finalizar la fase de engorda, de tal manera que dentro del grupo de híbridos antes mencionados se puedan definir algunos con mejores características productivas. En este estudio los híbridos *O. niloticus* (♂) x *O. aureus* (♀) y su recíproco mantuvieron una tendencia a ser los grupos genéticos con mejor crecimiento, resultados similares fueron encontrados por Wohlfarth *et al* (1983a) quienes reportaron que el híbrido *O. aureus* (♂) x *O. niloticus* (♀) fue uno de los híbridos que mostró una alta tasa de crecimiento durante el primer año de cultivo, mientras que en su segundo año de engorda superó al resto de los híbridos con los que fue evaluado.

Sobrevivencia. En el presente estudio la mortalidad se atribuyó básicamente a un problema septicémico provocado por *Pseudomona aeuroginosa*, siendo los grupos genéticos mayormente afectados *O. mossambicus*, seguido de *O. niloticus* x *O. aureus* y *O. aureus* x *O. mossambicus*. Esta alta susceptibilidad a un agente patógeno en *O. mossambicus* ha sido reportada por Lightner *et al.*, 1988 quien informó 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. Lo que puede indicar que no obstante un sistema de recirculación intensivo provee las condiciones necesarias para un buen crecimiento de *O. mossambicus*, puede a su vez colocar a dicha especie en desventaja ante otros grupos genéticos al presentarse, como es común en

sistemas intensivos, un proceso infeccioso, debido a que la especie en cuestión no es tolerante a ciertos agentes patógenos en niveles en los que a otros no afecta.

Otros estudios mostraron también tendencias a obtener sobrevivencias más bajas en *O. mossambicus* cuando se compararon con otros grupos genéticos (Landa *et al.* 1994; Sánchez *et al.* 1995; Siddiqui y Al-Harbi, 1995; Macaranas *et al.* 1997), sin embargo cabe destacar que algunas de esas evaluaciones se han realizado en estanques al aire libre y las bajas sobrevivencias la han atribuido a que *O. mossambicus* de color rojo es una presa fácil para aves depredadoras, debido a su coloración llamativa (Teichert-Coddington *et al.* 1990; Muñoz y Garduño, 1994a).

Los estudios realizados por Wohlfarth *et al.* (1983a) en diferentes híbridos de tilapia en donde incluyen como progenitores a *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. urolepis hornorum* muestran sobrevivencias entre 80 a 90%, mientras que en el presente estudio las sobrevivencias de los híbridos fue aproximadamente de 90 a 99%.

Conversión de alimento. En los diferentes grupos genéticos se encontró un rango en la tasa de conversión de alimento de 0.69 a 0.98 lo que indica la gran eficiencia que tuvieron todos los grupos en transformar el alimento agregado a peso vivo. Según Akiyama (1991) un índice de conversión alimenticia en peces aceptable es de 2, mientras que en este estudio todos estuvieron por abajo de 1, lo que coloca a este rasgo dentro de los mejores en relación a la literatura consultada.

5.3.-Segregación de colores

Varios estudios han determinado que las diversas coloraciones en los diferentes grupos genéticos de tilapia están controladas por un sistema genético de un sólo par de alelos (herencia de un solo gen) (Pruginin, 1987; Huang *et al.*, 1988; McAndrew *et al.* 1988; Wohlfarth *et al.* 1990; Koren *et al.* 1994), sin embargo, en algunos casos también se ha mencionado la dificultad de distinguir determinada coloración de otra similar y de la amplia gama de coloraciones en las tilapias que va desde el gris al blanco, pasando por diversas tonalidades (Cabrera *et al.*, 1987; Koren *et al.*, 1994; Eguía, 1996). En el presente estudio se constató la presencia de este amplio patrón de coloración en los ejemplares de *O. mossambicus* y *O. niloticus* que para el caso de la primera especie va desde la coloración roja hasta peces de color blanco, quedando las coloraciones rojo - anaranjadas como intermedias, y del rosa intenso hasta el blanco, para el caso de la segunda especie, así como

ejemplares en ambos grupos con manchas de melanina en el cuerpo y áreas sin pigmento. La incidencia de manchas en el cuerpo fue amplia o pequeña, lo mismo sucedió con el tamaño de las manchas. Iguales observaciones han sido reportadas por Cabrera *et al.* (1987) y Huang *et al.* (1988).

Los sistemas genéticos propuestos para la determinación de la coloración en tilapia se han limitado a un solo par de alelos. El número máximo de alelos que posee un individuo en un locus génico es de 2, sin embargo debido a que un gen puede cambiar en sus formas alternativas por el proceso de mutación, teóricamente es posible encontrar un gran número de alelos en una población de individuos; a esta presencia de más de dos alelos en un locus génico se le conoce como alelos múltiples (Stansfield, 1992). Tomando estas consideraciones se podría inferir que un control parecido opera en *O. mossambicus* de color rojo y en *O. niloticus* de color rosa. El hecho de que estas especies tuviesen una base genética de alelos múltiples para la coloración de la piel contestaría en parte la gran diversidad de colores dentro de las coloraciones definidas como rojas o rosas. Cabrera (1987), sugiere para ello una base poligénica, sin embargo los rasgos poligénicos no presentan dominancia, la cual se ha mostrado que existe en algunos grupos de tilapia como un mecanismo genético en la determinación del color.

Wohlfarth *et al.* (1990) indicaron que la única vía de obtener ejemplares rojos (incluyendo variantes de este color y blancos) de la especie *O. mossambicus*, es mediante el cruce de ejemplares homocigotos recesivos (gg), y dado a que en la presente investigación todos los ejemplares de *O. mossambicus* fueron de esas coloraciones se deduce que tanto los reproductores utilizados como su progenie son homocigotos recesivos.

Para el caso de *O. niloticus* (originaria del lago Manzala, Egipto), McAndrew *et al.* (1988) y Koren *et al.* (1994) indicaron que la coloración rosa en esa especie presenta un mecanismo de herencia mendeliana bajo un gen dominante (R). Esto significa que progenies "rosas" pueden ser obtenidas bajo las siguientes cruces: (RR) x (Rr) y (RR) x (RR), bajo estas circunstancias se asegura la ausencia de individuos de color silvestre (gris). Puesto que en el presente estudio las progenies de *O. niloticus* fueron de color rosa en un 100%, se deduce la baja probabilidad de la existencia de ejemplares heterocigotos en la población de reproductores del CEIEGT-FMVZ-UNAM y de la Escuela Secundaria Técnica Pesquera No. 90. Si se quiere constatar el estado de homocigosis de ejemplares rosas de *O. niloticus* para ser seleccionados como reproductores se sugiere hacer cruces

6.-LITERATURA CITADA

- Akiyama, M.D.: Future consideration for the aquaculture feed industry. In: Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop. Edited by Akiyama, M. D. and Ronnie, K.H.T.. 5-9, *American Soybean Association*, Singapore, Republic of Singapore, 1991.
- Arredondo, F. J. y Guzmán, M.: Actual situación taxonómica de las especies de la tribu tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas a México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx. Ser. Zool.*, 56:555-572 (1985).
- Arredondo, J., Flores, V., González, F., Garduño, H. y Campos, R.: Desarrollo Científico y Tecnológico del Banco de Genoma de Tilapia. *Secretaria de Pesca. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*, México, D.F., 1994.
- Arredondo, F. J. y Lozano-Gracia, S.: El cultivo de la tilapia en México. Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. México, D.F. 7 - 18, *Fac. De Med. Vet. Y Zoot. de la Univ. Nal. Aut. de Méx.*, México, D.F. (1996).
- Avault, J.W. and Shell, E.W.: Preliminary studies with the hybrid tilapia *Tilapia nilotica* x *Tilapia mossambica*. *FAO Fish, Rep.*, 44(4): 343-345 (1968).
- Ayles, G.B. and Baker, R.F.: Genetic differences in growth and survival between strains and hybrids of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) stocked in aquaculture lakes in the canadian prairies. *Aquaculture*, 33: 269-280 (1983).
- Balarin, J.D. and Hatton, J.P.: Tilapia a Guide to Their Biology and Culture in Africa. *University of Stirling*, Scotland, 1979.
- Baroiller, J. F.: Temperature sex determination in two tilapia, *Oreochromis niloticus* and the red tilapia (red Florida strain): Effect of high or low temperature. Proceedings of the Fifth International Symposium on on the Reproductive Physiology of Fish. Austin Tx., U.S., 1995. 158-160, *the University of Texas*, Austin, Tx., U.S. (1995).

- Becker, W. A.: Manual of Quantitative Genetics. 3rd. ed. *Washington State University*, Washington, 1975.
- Blanc, J.M. and Poisson, H.: Parental sources of variation in hatching and early survival rates of *Salmo trutta* x *Salvelinus fontinalis* hybrid. *Aquaculture*, 32:115-122 (1983).
- Bondari, K, Dunham, R.A., Smitherman, R.O., Joyce J.A. and Castillo, S.: Response to bidirectional selection for body weight in blue tilapia. International Symposium on Tilapias in Aquaculture. Nazareth, Israel, 1983. 302-312, *Tel Aviv University*, Tel Aviv (1983).
- Bowman, D.: Comparación entre *Tilapia aurea* Steindachner y *Tilapia mossambica* Peters, en estanques de El Salvador. *FAO fish. Rep.*, 159 (1):78-90 (1977).
- Cabrera, G.: Genética Aplicada en algunas Especies de Ornato. *Instituto Tecnológico del Mar*. Boca del Río, Ver., 1994.
- Cabrera, G., Anaya, V., Constantino, R., Cueto, F., Serrano, V., Marín y L., Bravo, J.: Mecanismos genéticos que controlan la coloración roja en *S. mossambicus* var. Roja. IX Congreso Nacional de Zoología. Villahermosa, Tabasco (1987).
- Ch'ang, M. T.: Determination of realized weight heritability in tilapia (*Tilapia mossambica* Peters). *Sov. Genet.* 7:1550-1554 (1971).
- Chen, F.Y.: Preliminary studies on the sex-determining mechanism of *Tilapia mosambica* Peters and *T. hornorum* Trewavas. *Verb. Interat. Verein. Limnol.*, 17: 719-724 (1969).
- C.I.E.E.G.T.: Boletín informativo 1979. Centro de Investigación, Enseñanza y Extensión en Ganadería Tropical. *Fac. de Med. Vet. y Zoot.*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1979.
- Cockerham, C.C.: An extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariance among relatives when epistasis is present. *Genetics*, 39: 859-882 (1954).

- Cockerham, C.C.: Estimation of genetics variances. *Statistical Genetics and Plant Breeding, NASS-NRC 982:53-93* (1963).
- Cundiff, V.L.: Experimental results on crossbreeding cattle for beef production. *J. Anim. Sci.*, 30:694-705 (1970).
- Daniel, W.: Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. *Limusa*, México, D.F., 1977.
- Dickerson, G.: Experimental approaches in utilising breed resources. *Anim. Breed. Abst.*, 37: 191-202 (1969).
- Edwards, D.J. and Gjedrem, T.: Genetic variation in survival of brown trout eggs, fry and fingerlings in acid water. *SNSF project*, Norway, 1979.
- Eguia, M.: Reproductive performance of four red tilapia strains in different seed production systems. *Isr. J. Aquacult. Bamidgeh*, 48(1): 10 - 18 (1996).
- Eguiar, R., León, R. y Hernández, I.: Crecimiento en estanques de cemento y de tierra de tres especies del género *Tilapia*. *Rev. Latinoam. Acuicult.*, 11: 6-9 (1982) .
- Falconer, D. S.: Introduction to Quantitative Genetics. 3rd. ed. *Longman Scientific & Technical*. New York, 1989.
- FAO/UN: Report to the government of Uganda on the experimental fish culture project in Uganda, 1962-1964: Based on the work of Yoel Ruginin. *Rep. FAO EPTA*. Uganda, 1965.
- Fitzgerald, W. J.: The red-orange tilapia a hybrid that could become a world favorite. *Fish Farming International*, 6 (1): 26-27 (1979).
- Fishelson, L.: Cichlidae of the genus of *Tilapia* in Israel. *Bamidgeh*, 18:67-89 (1966).
- Frahm, R.: Genetic Principles of Crossbreeding. *Colorado State University*, U.S.A., 1975.

- Galman, O. and Avtalion, R.: A preliminary investigation of characteristics of red tilapias from the Philippines and Taiwan. International Symposium on Tilapias in Aquaculture. Nazareth, Israel, 1983. 291-301, *Tel Aviv University*, Tel Aviv (1983).
- Galman, O., Moreau, J. and Avtalion, R.: Breeding characteristics and growth performance of Philippine red tilapia. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. Manila, 1988. 169-177. *Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management*, Manila (1988).
- Gall, G.A.: Genetics of reproduction in domesticated rainbow trout. *J. Anim. Sci.*, 40: 19-28 (1975).
- Gamal El, A. A., Smitherman, R. O. and Behrends, L. L.: Viability of red and normal-colored *Oreochromis aureus* and *O. niloticus* hybrids. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. Manila, 1988. 153-157. *Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management*, Manila (1988).
- García, E.: Modificaciones al Sistema de Clasificación Climatológica de Koeppen. *Instituto de Geografía*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1973.
- García-Pinto, L.: Hybridization between species of tilapia. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111(4): 481-484 (1982).
- Garduño, M.: Producción de alimento para *Oreochromis niloticus* a partir de la sustitución de harina de pescado por harina de cacahuate *Arachis hypogaea*. Tesis de Maestría. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatan*, Mérida, Yucatán, 1995.
- Garduño, M.: Selección genética de *Oreochromis niloticus* para producir progenies monosexuales de color rojo. Memorias del Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. México, D.F., 1995. 53-59, *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. (1996).

- Gjedrem, T.: Improvement of productivity through breeding schemes. *Geo-Journal*, 10 (3):233-41 (1985).
- Gjerde, B.: Complete diallele cross between six inbred groups of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 75:71-87 (1988).
- Griffing, B.: A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10: 31-50 (1956a).
- Griffing, B.: Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sc.* 9:463-491 (1956b).
- Hickling, C.F.: "The Malacca Tilapia hybrids. *J. Genet.* 57: 1-10 (1960).
- Hepher, B. y Pruginin, Y.: Cultivo de Peces Comerciales. Basado en las Experiencias de las Granjas Piscícolas de Israel. *Limusa*, México, D.F., 1985.
- Hepher, B.: Nutrición de Peces Comerciales en Estanques. *Limusa*, México, D.F., 1988.
- Herrera, J.: Introducción al Mejoramiento Genético Animal. *Colegio de Postgraduados*, Chapingo, México, 1985.
- Huang, M., Chang, L., Cheng, J. and Liao, C.: Single gene inheritance of red body coloration in Taiwanese red Tilapia. *Aquaculture*, 74: 227-232 (1988).
- Hulata, G.: The history and current status of aquaculture genetics in Israel. *Isr. J. Aquacult. Bamidgeh*, 47 (3-4):142-154 (1995).
- Hulata, G., Karplus, I. and Harpaz, S.: Evaluation of some red tilapia strains for aquaculture: growth and colour segregation in hybrid progeny. *Aquaculture research*, 26:765-771 (1995).
- Hulata, G., Wohlfarth, G.W. and Halevy, A.: Mass selection for growth rate in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 57:177-184 (1986).

- Hulata, G., Wohlfarth, G. and Rothbard, S.: Progeny-testing selection of tilapia broodstocks producing all-male hybrid progenies - preliminary results. *Aquaculture*, 33: 263-268 (1983).
- Jalabert, B., Kammacher, P. and Lessent P.: Determinisme du sexe chez les hybrides entre *Tilapia macrochir* et *Tilapia nilotica*. Etude de la sex-ratio dans les recroisements des hybrides de premiere generation par les especes parentes. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 1:155-165 (1971).
- Jarimopas, P.: Realized response of Thai red tilapia to weight-specific selection for growth. The first Asian Fisheries Forum. Manila, 1986. 109-111. *Asian Fisheries*, Manila (1986).
- Jayaprakas, V. Tave, D, and Smitherman R.O.: Growth of two strains of *Oreochromis niloticus* and their F₁, F₂ and backcross hybrids. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. Manila. 187-201. *Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management*, Manila, (1988).
- Johansen, S.R.: Comparación de crecimiento de la línea roja y gris de *Oreochromis niloticus* (L) monosexada, bajo condiciones de cultivo semiintensivo en el municipio de Tlapacoyan, Ver. Tesis de Licenciatura. *Fac. de Biol.* Universidad Veracruzana, Tuxpan, Ver., 1994.
- Katasonov, V.: A estudy of pigmentation in hybrids between the common and decorative Japanese carp. I. A estudy of the dominant pigmentation types. *Genetika*, 9:59-69 (1973).
- Kempthorne, O.: An Introduction to Genetic Statistics. *John Wiley and Sons, Inc.*, New York, N.Y. 1957.
- Kempthorne, O. and Curnow, R.N.: The partial diallel cross. *Biometrics* 17: 229-250 (1961).
- Kinghorn, B.: Genetic variation in food conversion efficiency and growth in rainbow trout. *Aquaculture*, 32:141-155 (1983).
- Koren, A: Pruginin, Y. and Hulata, G.: Evaluation of some red Tilapia strains for aquaculture. *Isr. J. Aquacult. Badmige*, 46 (1): 9-12 (1994).

- Krasznai, Z.L.: Interspecific hybridization of warm water finfish. In: Selection hibridization and Genetic Engineering in Aquaculture. Edited by: Tiews, K., 18-19: 35-45, *FAO Europ. Inland Fish. Adv. Comm.*, Copenhagen , 1987.
- Kuo, H.: Notes on the hybridization of tilapia. *JCRR Fish. Ser. No. 8*: 116-117 (1969).
- Kuo, H. and Tsay, T.: Study on the genetic improvement of red tilapia - Crossbreeding of red tilapia and its growth. *Bull. Taiwanese Fish. Res. Inst.*, 44:151-165 (1988).
- Lahav, M. and Lahav, E.: The Development of all- male Tilapia hybrids in Nir David. *Isr. J. Aquacult. Bamidgeh*, 42 (2):58-61 (1990).
- Landa, M., Garduño, M, y 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. Veracruz, Ver., 1994. 166. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias*. Veracruz, Ver. (1994).
- Lester, L.J., Lawson, K. S., Abella, T. A. and Palada M. S.: Estimated heritability of sex ratio and sexual dimorphism in tilapia. *Aquaculture and Fisheries Management*, 20: 217 - 228 (1989).
- Liao, I.C. and Chen, T. P.: Status an prospects of tilapia culture in Taiwan. International Symposium on Tilapias in Aquaculture. Nazareth, Israel, 1983. 588 - 598, *Tel Aviv University*, Tel Aviv. (1983).
- Lighter, D., Redman, R., Mohny, L., Dickenson, G. and Fitzsimmons, K.: Mayor disease encountered in controlled environment culture of tilapias in fresh and brackishwater over a three year period in Arizona. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. Manila, 1988. 111-116. *Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management, Manila*, (1988).
- López-Fanjul, C.: Mejora genética en organismos acuáticos. I. Selección. En: Genética en Acuicultura. Editado por: Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, 131-155, *Plan de Formación de Técnicos Superiores en Acuicultura*, Madrid, 1987.

- López-Fanjul, C. y Toro, M. A.: Mejora Genética de Peces y Moluscos. *Mundi- Prensa*, Madrid, España, 1990.
- Macaranas, J.M., Mather P.B., Lal, S.N., Vereivalu, T. Lagibalavu, M., Capra, M.F.: Genotype and environment, a comparative evaluation of four tilapia stocks in Fiji. *Aquaculture*, 150: 11-24 (1997).
- Mair, G.C., Abucay, J. S., Beardmore, John A., Skibinski, O.F.: Growth performance trials of genetically male tilapia (GMT) derived from YY-males in *Oreochromis niloticus* L.: On station comparisons with mixed sex and sex reversed male populations. *Aquaculture*, 137: 313-322 (1995).
- Mair, G.C., Scott, A., Penman, D.J., Beardmore J. A., and Skibinski D.F.: Sex determination in the genus *Oreochromis*. 2. Sex reversal, hybridisation, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus* (L.). *Theor. Appl. Genet.*, 82:153-160 (1991a).
- Mair, G.C., Scott, A., Penman, D.J., Skibinski D.F. and Beardmore J. A.: Sex determination in the genus *Oreochromis*. 2. Sex reversal, hybridisation, gynogenesis and triploidy in *O. aureus* Steindachner. *Theor. Appl. Genet.*, 82:153-160 (1991b).
- Majumdar, K.C. and McAndrew B.J.: Sex ratios from interespecific crosses within the tilapias. International Symposium on Tilapias in Aquaculture. Nazareth, Israel, 1983. 261-269, *Tel Aviv University*, Tel Aviv. (1983).
- Martínez, A.: Diseños y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas. *Colegio de Postgraduados*, Chapingo, Edo. de México, 1983.
- Martínez, A.: Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. *Trillas*, México, D.F., 1996.
- Matricia, T., Talbot, A.J. and Doyle, R.W.: Instantaneous growth rate of tilapias genotypes in undisturbed aquaculture systems I. "Red" and "Grey" morphs in Indonesia. *Aquaculture*, 77: 295-306 (1989).

- McAndrew, B. J.: Tilapia sex determination and its manipulation in tilapia . Satellite Symposium on Applications of comparative endocrinology to fish culture. Granada, España. 199-210. España (1989).
- McAndrew, B. J., Roubal, F. R., Roberts, R. J., Bullock, A. M., and McEwen, I. M.: The genetics and histology of red, blond and associated colour variants in *Oreochromis niloticus*. *Genetica*, 76: 127-137 (1988).
- Mires, D.: The inheritance of black pigmentation in two African strains of *Oreochromis Niloticus*. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. Manila, 1988. 237-241. *Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for living Aquatic Resources Management*. Manila, (1988).
- Morales, D. A.: La Tilapia en México. Biología, Cultivo y Pesquerías. *AGT*, México, D.F.,1991.
- Muñoz, G.: El programa de acuicultura del CIEEGT. Memorias del curso "Experiencias del CIEEGT en Producción de Leche y Carne". Tlapacoyan, Ver., 1992. 198-216. *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM*, México, D.F. 1992.
- Muñoz, G. y Garduño, M.: Comparación del crecimiento entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido bajo condiciones de cultivo. *Vet. Mex.*, 25 (4): 323-326 (1994a).
- Muñoz, G. y Garduño, M.: Crecimiento de 4 líneas en la mojarra tilapia durante la fase de engorda. Resúmenes de trabajos de la Séptima Reunión Científica del Sector Agropecuario y Forestal del Estado de Veracruz. Veracruz, Ver., 1994. 153. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias*. Veracruz, Ver. (1994b).
- Ord, W.M., Berre, M. and Kinkelin, P.: Viral haemorrhagia septicaemia: comparative susceptibility of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and hybrids (*S. gairdneri* x *Oncorhynchus kitsuch*). *J. Fish. Res. Board. Can.*, 33: 1205 - 1208 (1976).

ANEXO

Los cuadros del 24 al 31 muestran los análisis de la varianza de los efectos genéticos de cruzamiento: habilidad combinatoria general, habilidad combinatoria específica, efectos maternos y el efecto recíproco para cada uno de los rasgos productivos estudiados.

Cuadro 24.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final general de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 142.20219 | 15.06** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 29.628687 | 0.11 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 266.12043 | 28.19** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 19.90777 | 0.08 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 240.18329 | 25.44** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 9.440035 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 25.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso general de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 119.64221 | 12.42** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 22.570909 | 0.10 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 215.29274 | 22.36** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 23.396717 | 0.10 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 219.32417 | 22.78** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 9.626707222 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 26.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final de machos de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 139.08536 | 6.28** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 40.013957 | 0.16 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 246.24015 | 11.13** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 3.5666167 | 0.01 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 286.80125 | 12.96** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 22.113385 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 27.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en peso final de hembras de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 120.23208 | 21.58** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 100.86302 | 0.44 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 228.86029 | 41.08** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 6.5431722 | 0.10 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 60.463339 | 10.85** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 5.578026111 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 28.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso de machos de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 117.7562 | 5.51** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 33.299817 | 0.16 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 199.39349 | 9.33** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 6.6529389 | 0.02 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 263.96361 | 12.35** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 21.36818167 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 29.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en ganancia de peso de hembras de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 96.63149 | 15.80** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 88.191369 | 0.49 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 177.43883 | 29.01** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 7.0595389 | 0.14 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 50.233606 | 8.21** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 6.114040556 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 30.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en sobrevivencia de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 152.09259 | 19.01** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 272.46296 | 1.46 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 185.60494 | 23.20** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 21.5 | 0.29 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 72 | 9** | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 8 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.

Cuadro 31.- Análisis de varianza para parámetros genéticos de cruzamiento en conversión alimenticia de los nueve grupos genéticos.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculada | F de tablas | |
|----------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | 0.05 | 0.01 |
| Cruzas | 8 | 0.028712 | 5.96** | 2.51 | 3.71 |
| ACG | 2 | 0.0294907 | 0.88 N.S | 9.55 | 30.82 |
| ACE | 3 | 0.0332716 | 6.91** | 3.16 | 5.09 |
| EM | 2 | 0.02105 | 0.73 N.S | 199.5 | 4999.5 |
| ER | 1 | 0.0288 | 5.91* | 4.41 | 8.29 |
| Error | 18 | 0.00481481 | | | |
| Total | 26 | | | | |

N.S. = No significativo; * Significativo a $P \leq 0.05$; ** Significativo a $P \leq 0.01$.

ACG = Habilidad combinatoria general; ACE = Habilidad combinatoria específica; EM = Efecto materno; ER = Efecto recíproco.