



## RESPUESTA A LA SELECCIÓN GENÉTICA Y EFECTO DEL COLOR ROJO EN TILAPIA NILOTICA (*OREOCHROMIS NILOTICUS* VARIEDAD STIRLING) SOBRE LA PROPORCIÓN DE SEXOS.

Mario Garduño Lugo<sup>1</sup>  
M.A. Olvera-Novoa<sup>2</sup>  
G.P. Ochoa<sup>3</sup>

**RESUMEN.** En estanques de concreto circulares acondicionados con un sistema de circulación de agua, se efectuaron cruzamientos por grupos de reproductores rojos, grises y mixtos de *Oreochromis niloticus* (variedad Stirling), se obtuvo un total de 44 familias de hermanos completos de todos los grupos de reproductores, las cuales se cultivaron de manera independiente en corrales de malla mosquitero en un sistema de doce tinas de fibra de vidrio con circulación de agua, se les proporcionó alimento balanceado con 40% de proteína a saciedad los siete días a la semana. A los tres meses de edad se tomó una muestra promedio de 56 crías de cada familia y se sacrificaron mediante una sobre dosis de anestesia con benzocaína sódica, se extrajeron sus gónadas las cuales se montaron en un porta-objetos, se tiñeron con acetocarmín y se cubrieron con un cubre-objetos, se determinó microscópicamente el sexo de cada cría. Las progenies obtenidas de los reproductores rojos, presentaron significativamente el mayor porcentaje de machos, el cual fue de  $77.1 \pm 17.2$  % seguido de las progenies de los reproductores grises y mixtos los cuales fueron similares entre si y en los que el porcentaje de machos fue de  $60.6 \pm 8.7$  % y  $52.2 \pm 23.0$  % respectivamente. Las crías de las cuatro familias 13, 17, 35 y 44 que fueron las que presentaron los porcentajes mas elevados de machos con 100%, 96.1%, 93,3% y 91.7% en el mismo orden, se seleccionaron y cultivaron hasta que alcanzaron su madurez sexual. De cada una de las cuatro familias seleccionadas se emplearon seis machos o hermanos completos, los cuales se colocaron en 24 tinas de polietileno de 2 m de diámetro con aireación y se aparearon con dos hembras de la misma línea pero no seleccionadas. Cuando se observaban las crías correspondientes, estas se removían de la tina y se cultivaron de manera similar al de sus familias paternas, también se sacrificaron y sexaron de la misma forma. El porcentaje promedio de machos en las progenies analizadas dentro de cada familia, fue sensiblemente menor al promedio de las familias paternas de:  $37.9 \pm 12.1$ %,  $45.1 \pm 24.7$ %,  $45.1 \pm 17.4$ % y  $54.1 \pm 17.4$ % para las familias 13,17, 35 y 44 respectivamente. Se concluye que el color rojo tuvo influencia en la determinación del sexo y que un programa de selección genética para producir poblaciones con elevada proporción de machos no es un método eficaz para controlar la población excesiva en el cultivo de *Oreochromis niloticus* variedad Stirling.

**INTRODUCCION.** Después del hallazgo de Hickling (1960) quien informó por primera vez sobre la obtención de progenies con 100% de machos al cruzar entre si dos especies de tilapia (*Oreochromis hornorum* x *O. mossambicus*), continuaron varios experimentos de cruzamientos interespecificos en donde se obtuvo el mismo resultado, considerándose entonces a ese tipo de cruzamientos como un método promisorio para el control de la reproducción excesiva de tilapias en estanques de engorda (Lovshin et al., 1974; Mires, 1974; Majumdar and McAndrew, 1983; Hulata et al., 1993). Estos estudios se sustentaron en que solo los cromosomas sexuales eran los responsables en la determinación del sexo en esos peces, mediante una acción génica de dominancia y recesividad de tipo Mendeliano. Sin embargo al intentar llevar a cabo la producción de híbridos monosexo a escala comercial, los resultados no fueron los esperados, (Wohlfarth, 1994; Muñoz 2000). En virtud a ello se postularon otros modelos genéticos para explicar el mecanismo de determinación del sexo, como la interacción de los cromosomas autosomales con los cromosomas sexuales (Hammerman and Avtalion, 1979; Lester et al., 1989; Wolhfarth and Wedekind, 1991) e inclusive con la influencia de factores medioambientales (Mires, 1974; Trombka and Avtalion, 1993; Baroiller et al., 1996). Una causa de que los cruzamientos Inter.-especificos no se usen actualmente para controlar la reproducción excesiva en cultivos de tilapia, ha sido la dificultad para obtener y mantener las especies que al cruzarse entre si den progenies con un porcentaje cercano al 100% de

<sup>1</sup> Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical CEIEGT-FMVZ-UNAM.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida, CINVESTAV- IPN

<sup>3</sup> Departamento de Genética y Bioestadística, FMVZ-UNAM.



machos. También se atribuye a la contaminación genética de las explotaciones con tilapias silvestres, e incluso con sus mismos híbridos Fx.

Al analizar progenies silvestres y comerciales de varias especies de tilapia no híbridadas (*O. nilotica*, *O. aureus*, *T. vulcani*, *T. shirana*). Se observaron también proporciones elevadas de machos de 80 a 100%. (Mires, 1977; Majumdar and McAndrew, 1983; Shelton et al., 1983; Wohlfarth and Wedekind, 1991; Tuan, 1997). Debido a que el sexo en especies ha presentado un rango en la proporción de machos de 0–100%, esta variable, ha sido considerada continua, multifactorial (Lester et al., 1989) y susceptible de selección genética, de acuerdo con lo informado por (Wohlfarth and Wedekind, 1991). Finalmente se presume que la proporción de sexos puede estar influenciada por el color de la piel en *O. niloticus* de acuerdo a lo informado por productores que han observado cuando se cultiva *O. niloticus* de color rojo, se presenta una proporción de machos mayor que con reproductores grises, pero esto no se ha comprobado aun. En este sentido, esta demostrado que un gen puede afectar uno o varios mecanismos fisiológicos como sería el caso del color de la piel y el sexo al mismo tiempo (Tave, 1986; Klug and Cummins, 2000). Si esto cierto, el productor de *O. niloticus* se vería beneficiado al obtener de manera natural una mayor proporción de machos, los cuales crecen sensiblemente mas que las hembras.

#### **Objetivo general:**

Este estudio tuvo como finalidad identificar y seleccionar progenies de *Oreochromis niloticus* variedad Stirling con elevado porcentaje de machos, evaluar su respuesta a la selección genética y determinar la influencia del color de la piel sobre la determinación del sexo.

#### **Objetivos específicos:**

- Identificar familias de *O. niloticus* variedad Stirling con una proporción de machos superior al 90%.
- Evaluar el efecto de la selección para aumentar el porcentaje de machos en *O. niloticus* variedad Stirling.
- Determinar el efecto del color de la piel en crías de reproductores rojos, grises y en cruzamientos entre ambos.

**MATERIALES Y METODOS.** Este experimento se llevó a cabo en dos etapas. La primera en donde se identificaron familias de hermanos completos con elevado porcentaje de machos se llevó a cabo en el CINVESTAV, Unidad Mérida, en Mérida, Yucatán. La segunda etapa en la que se evaluó el efecto de la selección genética para obtener poblaciones con alto porcentaje de machos, se realizó en el CEIEGT-FMVZ-UNAM, en Martínez de la Torre, Veracruz.

Se emplearon reproductores de *O. niloticus* de la variedad Stirling. Esta línea procedió originalmente de una población silvestre del Lago Manzala, Egipto, colectada en 1979 y se ha mantenido aislada de otras especies de tilapia en el Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, Escocia (McAndrew et al., 1988). En 1986 el CINVESTAV la introdujo a México y también la ha mantenido aislada, por lo que estos peces, se encontraban libres de introgresiones genéticas de otras especies de estos cíclidos. Los reproductores empleados en la primera fase, fueron aquellos que al inicio del experimento se encontraban reproductivamente activos en las instalaciones del CINVESTAV, se consideraron dos grupos de edad (mayores y jóvenes) y dos colores (rojos y grises o de tipo silvestre). Todos los reproductores, mayores y jóvenes presentaron entre si un peso similar ( $P < 0.05$ ), en machos de 783.8g a 822.6g y para las hembras de 560g a 592g. Se formaron cuatro grupos de reproductores en una relación macho hembra de 1:1: Un grupo de 26 peces mayores de color rojo, un grupo de 26 mayores de color gris y dos grupos de 14 reproductores jóvenes mixtos con hembras y machos en la misma proporción de colores. Los reproductores mayores se ubicaron en estanques circulares de concreto de 4.0m de diámetro y 0.5m de profundidad y los jóvenes en estanques de la misma forma pero de 3.0m de diámetro e igual profundidad, ambos conjuntos de estanques contaron con sistemas independientes de circulación y filtración de agua, que les permitieron contar con las calidad fisicoquímica del agua adecuada para su cultivo (Boyd, 1990; Garduño, 1995). Los reproductores se alimentaban dos veces al día con alimento comercial con 35% de proteína cruda de la compañía Aceitera la Junta (Guadalajara, Jalisco).



Los reproductores se observaban frecuentemente y cuando se apreciaban hembras mostrando comportamiento típico de incubación de huevos en alguno de los estanques, se bajaba el nivel del agua y se colectaban los huevos y embriones que fuesen de la misma madre. Se procedía a limpiarlos y se incubaban en incubadoras individuales hasta que consumían sus saco vitelino, entonces se les alimentaba con alimento comercial con 40% de proteína cruda de la misma marca, tres veces al día. Después de tres meses de edad, dos muestras de 30 crías por cada familia se sacrificaban mediante una sobre dosis benzocaína sódica de 300 mg/l. Se removían ambas gónadas. Se colocaban sobre un portaobjetos y se les agregó una gota de la tinción de acetocarmín y se les cubría con un cubreobjetos, presionando este último hasta que dichos órganos estallasen, se permitió al menos 5 minutos antes de su observación al microscopio (Guerrero and Shelton, 1974). A cada uno de los ejemplares sacrificados, se les tomó su peso, longitud total y el color de piel. La colecta de crías de este experimento concluyó cuando se habían colectado 44 progenies. Cantidad suficiente para continuar con la siguiente fase de experimentación.

Para la segunda fase de investigación, se enviaron por vía aérea del CINESTAV al CEIEGT una parte de los peces de las cuatro familias que presentaron el mayor porcentaje de machos, las familias 13, 17, 35 y 44, las cuales presentaron un porcentaje de machos de: 100%, 96.1%, 93.3% y 91.7% en el mismo orden. Una vez que estos peces alcanzaron su madurez sexual, de cada familia se tomaron al azar seis machos y cada uno se apareó con al menos dos hembras no seleccionadas. Se empleó para ello un conjunto de 24 tinajas de polietileno de dos metros de diámetro, las cuales estaban provistas de un sistema de aireación. Cuando se apreciaban las crías en alguna de las 24 parejas, se removían, se cambiaba el agua y la hembra. A las crías entonces se les proporcionaba el mismo tipo de alimentación que en la primera etapa y también se sacrificaban y analizaban sus gónadas de la misma forma.

**Análisis estadísticos.** Los porcentajes de machos y sobrevivencia de las familias procedentes de los reproductores Rojos, grises, mixtos y de las cuatro familias seleccionadas 13, 17, 35 y 44 de ambas etapas de investigación, se compararon mediante un análisis de la varianza de una vía y una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Steel y Torrie, 1986; SAS, 1986). Los variables expresadas en porcentajes sufrieron una transformación arcoseno (Sokal and Rohlf, 1998).

**Análisis de la proporción de sexos.** Para el análisis de la proporción de sexos de cada familia obtenida (44 y 47) en ambas etapas de investigación, se empleó una prueba de Chi cuadrada ( $X^2$ ) con:

$$X^2 = ((O - E)^2 / E) + ((O - E)^2 / E)$$

En donde:

O = Es el número de machos o hembras observados respectivamente.

E = Es el número de machos esperados en cada progenie sobre una relación macho-hembra de 1:1, en la primera etapa y el porcentaje de machos observado de las crías de las familias paternas seleccionadas de la segunda fase con: 100%, 96.1%, 93.3% y 91.7% en las familias 13, 17, 35 y 44 en el mismo orden.

E = Es el número de hembras esperadas en la progenie sobre una relación macho-hembra de 1:1, para la primera etapa de investigación y el porcentaje de hembras observadas de las progenies de familias paternas seleccionadas de la segunda fase con: 0%, 3.9%, 6.7% y 8.3% de las familias 13, 17, 35 y 44 en el mismo orden.

**Prueba de Bondad de Ajuste de la  $X^2$ .** Para probar la hipótesis de que las poblaciones de las 44 y 47 familias son homogéneas, se efectuó la prueba de heterogeneidad de la  $X^2$  propuesta por Zar (1984), mediante:

$$X_H^2 = \sum \text{del valor obtenido de las } X^2 \text{ de las 44 progenies} - \text{la } X^2 \text{ general}$$

En donde:

$$X^2 \text{ general} = ((O - E)^2 / E) + ((O - E)^2 / E)$$

en donde:

O = Es el número total de crías de machos y hembras observadas en la primera y segunda etapas de investigación.

E = Es el número de machos esperados del total de cada muestreo.

E = Es el número de hembras esperadas del total de cada muestreo.

Los grados de libertad fueron: 44 - 1 y 47 - 1 que corresponden a las  $X^2$  generales de cada fase respectivamente



También se efectuó una prueba de bondad de ajuste para las familias colectadas de los reproductores rojos, grises y mixtos y para las progenies seleccionadas 13,17, 35 y 44.

**Proporción de colores de cada progenie.** De acuerdo al color de los reproductores de ambas fases y a la proporción de colores esperada en cada una de las familias colectadas en función al color de los reproductores, se efectuó una prueba de Chi cuadrada ( $X^2$ ), tomando en cuenta que el color rojo en *O. niloticus* es dominante y que puede ser homocigótico o heterocigótico con respecto al gris, el cual es homocigótico recesivo (McAndrew et al., 1988; Muñoz, 2000), mediante la siguiente ecuación.

$$X^2 = ((O - ER)^2 / ER) + ((O - EG)^2 / EG)$$

en donde:

O = Es el número de crías rojas observado.

ER = Es el número esperado de crías rojas.

EG = Es el número esperado de crías grises.

#### **Temperatura del agua y peso de los reproductores de la primera etapa.**

La temperatura promedio del agua semanal de las ocho semanas de desarrollo de las crías de la primera y el peso de los reproductores de la primera etapa, se analizaron mediante un diseño de una vía y una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (ya descritas).

**RESULTADOS.** La sobrevivencia de las 44 y 47 familias de la primera y segunda etapa de investigación fueron de 96.7 %  $\pm$  5.82 y de 95.8%  $\pm$  7.78 en el mismo orden. Esta variable fue similar ( $P > 0.05$ ) entre las progenies de los reproductores rojos, grises y mixtos y en las cuatro seleccionadas. El promedio general del porcentaje de machos fue de 63.0%  $\pm$  21.6 y de 45.4%  $\pm$  19.1% para la primera y segunda etapa respectivamente. El mayor porcentaje de machos se presentó en las crías de los reproductores rojos ( $P < 0.05$ ), seguido de las grises y mixtos, los cuales fueron similares entre si ( $P > 0.05$ ), en las cuatro familias seleccionadas el porcentaje de machos fue similar ( $P > 0.05$ ). En la Tabla 1 se presenta el resumen de los principales estadísticos de las 44 familias de la primera cada grupo de reproductores de acuerdo a su color. Las Tabla 2, la información correspondiente al total de las 47 familias de muestreadas en la segunda fase e individualmente de las cuatro familias seleccionadas. La prueba de homogeneidad de la Chi cuadrada para las familias de los reproductores del CINVESTAV (rojos, grises y mixtos), indicó que la población general fue altamente variable en para la proporción de machos y cuando se analizó por grupo de reproductores, los rojos y los mixtos fueron heterogéneos sobre una relación macho hembra de 1:1, los grises fueron homogéneos a la prueba. También las 47 familias de la segunda etapa fueron altamente heterogéneas, al igual que las familias 17, 35 y 44. La familia 13 fue homogénea.

El análisis de la proporción de colores, mostró que de la mayoría de las 44 y 47 colectadas en ambas etapas, se apegaron a la proporción de colores esperado. En la Tabla 3 se presentan las familias que no se apegaron a su modelo, de ellas tres fueron para los reproductores rojos tres para los mixtos. Las familias de reproductores grises no presentaron en ninguna de sus progenies alguna segregación distinta a los esperado ( $P > 0.05$ ), En las familias seleccionadas, 35 y 44 se presentó una progenie que no se apegó a la proporción esperada.

La temperatura del agua durante las primeras ocho semanas posteriores a la colecta de cada una de las 44 progenies, se encontró que el promedio de temperatura general en las que se desarrollaron las crías de los reproductores grises fue mayor en 1.1 °C ( $P < 0.05$ ) con respecto a los otros grupos de reproductores, los cuales fueron similares entre si ( $P > 0.05$ ). En la segunda etapa de experimentación, la temperatura del agua no se analizó de la misma manera, pero se registró un promedio 24.2  $\pm$  2.66 °C.

**DISCUSION.** La producción aleatoria y viabilidad de los gametos antes de la fertilización, el diferencial de fertilidad entre los progenitores y la viabilidad de los gametos después de la fertilización son las primeras causas probables que intervienen en la proporción de sexos en poblaciones de tilapia (Tuan, 1997), estas variables dificultan el entendimiento y manejo del sexo en producciones tilapia, por tal motivo, tal vez lo mas importante es conocer y manejar el sexo de los peces ya nacidos. Otro hecho que complica la comprensión de la determinación del sexo es que sus gónadas se desarrollan varias semanas después de concluyen su incubación (Yoshikawa and Oguri, 1978;). Penman (1989) menciona que la sobrevivencia en la etapa de cría debe ser tomada en cuenta si se va a estudiar algún factor sexo determinante, Tuan



(1997) en 95 progenies de cruzamientos intra.-específicos de *O. niloticus*, no encontró correlación entre la tasa de sobrevivencia y el porcentaje de sexos. La contaminación genética en poblaciones de tilapia es considerada también como otro factor que contribuye en la variación del sexo, principalmente en cruzamientos interespecíficos en lugares en donde dos o mas especies de *Oreochromis* han permanecido juntas por largos periodos de tiempo (Lahav and Lahav, 1990; Wohlfarth and Wedekind, 1991; Wohlfarth, 1994).

En función a lo anterior, es claro que en el presente estudio pudieron existir todos los factores mencionados, menos el hecho de que la población de *O. niloticus* empleada estuviese contaminada genéticamente. En lo referente a la mortalidad durante el desarrollo, después de la colecta y antes de sacrificio, al igual que Tuan (1997) se infiere que esta no influyó sobre la proporción de sexos en ambas etapas debido a que fueron muy bajas.

En pruebas de progenie basadas en la práctica de la ginogénesis se han observado hembras de *O. niloticus* revertidas naturalmente, las cuales presentan un modelo cromosómico XY, en lugar del modelo probado para hembras de esta especie que debe ser XX, (Tuan, 1997). En la primera fase de investigación, no era posible identificar algún caso de reversión natural, por que no se hicieron pruebas de progenie, pero en la segunda etapa, en un macho (14) el cual en sus tres familias producidas con tres distintas hembras, todas las crías fueron hembras, (100%), por lo que la reversión natural en *O. niloticus* al menos a hembras si no se considera completamente descartada con la presencia de ese macho 14. Esta situación pone en cierta manera en tela de juicio que se tengan que dar incrementos muy fuerte de temperatura para modificar el sexo en *O. niloticus* y probablemente se encuentren asociados otros mecanismos o factores de tipo umbral, basados en modificaciones mínimas de la temperatura o inclusive en interacciones complejas.

De los factores medioambientales estudiados, la temperatura, ha sido reportada como el factor sexo determinante de mayor importancia, se ha comprobado que con altas temperaturas (34-36°C) se pueden producir poblaciones de *O. niloticus* con una proporción de machos cercana al 100%, con temperaturas similares a las recomendadas para cultivo (24-28 °C) la proporción de sexos es cercana a una relación macho hembra de 1:1 (Baroiller et al., 1996; Abucay et al., 1997). En ese sentido, no se considera que algún factor medioambiental como la temperatura haya influido al menos fuertemente en la determinación del sexo en las crías en las dos etapas de investigación. En la primera etapa como se menciona, la temperatura del agua varió poco, solo 1.1°C y en la segunda etapa la temperatura de 24.2 °C tampoco es considerada como un factor modificante del sexo.

La proporción de machos en las dos etapas de investigación, como se puede apreciar en la Figura 1, se presenta como una variable continua como lo sugiere Lester et al., (1989). En la primera etapa, se presentó un sesgo de las familias hacia un mayor porcentaje de machos. En esta etapa los resultados concuerdan con algunos autores en que en poblaciones muestreadas de *O. niloticus* el porcentaje de machos es cercano al 50% o sesgado hacia la zona de machos (Shelton et al., 1883; Tuan, 1997). En la segunda etapa, el sesgo se inclinó hacia la zona de hembras, concordando con el estudio de Lester et al. (1989) quienes encontraron que en cruzamientos intra-específicos de *O. niloticus* de varias líneas genéticas, la proporción de sexos tendía mas a hembras.

El sorprendente cambio en el promedio de machos obtenido en las familias seleccionadas, con respecto a su familia madre, fue muy contrario a lo esperado, porque la línea que se empleó fue la misma que la del estudio de Wohlfarth y Wedekind (1991) quienes encontraron que los machos obtenidos de familias con alto porcentaje de machos, cuando se reprodujeron daban la misma proporción de machos que sus padres, indistintamente de la hembra con que se aparearan. Con los resultados obtenidos en el presente estudio se considera que la determinación del sexo en *O. niloticus* es una variable sin una definición clara.

En pruebas de progenie basadas en la práctica de la ginogénesis se han observado hembras de *O. niloticus* revertidas naturalmente, las cuales presentan un modelo cromosómico XY, en lugar del modelo probado para hembras de esta especie que debe ser XX, (Tuan, 1997). En la primera fase de investigación, no era posible identificar algún caso de reversión natural, por que no se hicieron pruebas de progenie, pero en la segunda etapa, en un macho (14) el cual en sus tres familias producidas con tres distintas hembras,



todas las crías fueron hembras, (100%), por lo que la reversión natural en *O. niloticus* al menos a hembras si no se considera completamente descartada con la presencia de ese macho 14. Esta situación pone en cierta manera en tela de juicio que se tengan que dar incrementos muy fuertes de temperatura o en otras variables medioambientales para modificar el sexo en *O. niloticus* y probablemente se encuentren asociados a mecanismos de tipo umbral, basados en modificaciones mínimas de la temperatura o inclusive en interacciones complejas.

**CONCLUSIONES.** *Oreochromis niloticus* variedad Stirling, presentó progenies con una proporción de machos superior al 90%.

La amplia variación en la proporción de sexos en *O. niloticus* var. Stirling, se apega a un modelo sexo-determinante de carácter poligénico .

El color rojo o alelo dominante se presentó como un factor determinante sobre la proporción de machos en los peces mayores.

La edad de los peces, tuvo una influencia en la proporción de sexos, los peces de mayor edad presentaron una proporción de machos mayor.

En el mecanismo de determinación del sexo en *O. niloticus* var. Stirling, no influyó el medio ambiente.

#### LITERATURA CONSULTADA.

- Abucay, J.S., 1997. Hormonal sex reversal of tilapias: implications of hormone treatment application in closed water systems. *Aquaculture Research* 28, 841-845.
- Baroiller, J.F., Cauty, A.F.C., Rognon, X., Jalabert, B., 1996. Effects of high rearing temperatures on the sex ratio of progeny sex reversal males of *Oreochromis niloticus*. In: Pullin, R.S.V., Lazard, J., Legendre, M., Amon-Kothias, J.B., Pauly, D., (Eds.), *The Third International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, ICLARM Conf. Proc. 41, pp. 246-256.
- Boyd, C., 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Birmingham Publishing Co., Birmingham, Alabama. 482 pp.
- Garduño, L.M., 1995. Producción de alimento para *Oreochromis niloticus* a partir de la sustitución de harina de pescado por harina de hoja de cacahuate *Arachis hypogaea*. Tesis de Maestría, FMVZ-UADY, Mérida, Yucatán, México, 54 pp.
- Guerrero, R.D., Shelton, W.L., 1974. An acetocarmine squash method of sexing juvenile fishes. *The Progressive Fish-Culturist* 36, 56.
- Hammerman, I.S., Avtalion, R.R., 1979. Sex determination in *Sarotherodon* (Tilapia). Part 2: The sex ratio as a tool for the determination of genotype – A model of autosomal and gonosomal influence. *Theor. Appl. Genet.* 55, 177-187.
- Hickling, C.F., 1960. The Malacca tilapia hybrid. *J. Genetics* 57, 1-10.
- Hulata, G., Wolfarth, G.W., Karplus, I., Schoeder, G.L., Harpaz, S., Halevy, A., Rothbard, S., Cohen, S., Israel, I., Kavessa, M., 1993. Evaluation of *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* hybrid progeny of different geographical isolates, reared under varying management regimes. *Aquaculture* 115, 153-271.
- Klug, W.S., Cummings, M.R. 2000. *Concepts of Genetics*. Prentice Hall, New Jersey. 816 p.
- Lahav, M., Lahav, E., 1990. The development of all-male tilapia hybrids in Nir David. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 42, 58-61.
- Lester, L.J., Lawson, K.S., Abella, T.A., Palada, M.S., 1989. Estimated heritability of sex ratio and sexual dimorphism in tilapia. *Aquaculture and Fisheries Management* 20, 217-228.
- Lovshin, L.L., Da Silva, A.B., Fernandez, J.A., 1974. The intensive culture of the all-male hybrid of *Tilapia hornorum* (male) x *T. nilotica* (female) in northeast Brazil. *FAO/CARPAS Symposium on Aquaculture in Latin America*. Montevideo, Uruguay, 26 November to 2 December 1974. *CARPAS/6/74/SE* 22, 12 pp.
- Majumdar, K.C., McAndrew, B.J., 1983. Sex ratios from interspecific crosses within the tilapias. In: Fishelson, L., Yaron, Z. (Eds.), *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Tel Aviv University, Nazareth, Israel, 8 to 13 May 1983. pp. 261-269.
- McAndrew, B.J., Roubal, F.R., Roberts, R.J., Bullock, A.M., McEwen, I., 1988. The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. *Genética* 76, 127-137.
- Mires, D., 1974. On the high percent of Tilapia males encountered in captive spawnings and the effect of temperature on this phenomenon. *Bamidgeh* 26, 311.



- Mires, D., 1977. Theoretical and practical aspects of the production of all male tilapia hybrids. *Bamidgeh* 29, 94-101.
- Muñoz, C.G., 2000. Heterosis, habilidad combinatoria, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*). Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. 88 pp.
- Muñoz, C.G., Ochoa, G.P., Garduño, L.M., Garza, M.A., 2000. Efectos genéticos de cruzamiento, proporción de sexos y segregación del color rojo en un cruzamiento dialélico completo de tres especies de tilapia. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Resúmenes de trabajos de la Décima Tercera Reunión Científica, Tecnológica, Veracruz 2000. Veracruz, Veracruz, México octubre 26 y 27 del 2000. pp. 7.
- Penman, D.J., 1989. Genetic approaches to the improvement of *Oreochromis* species. PhD thesis, University of Wales Swansea, UK. 252 p.
- SAS Institute Inc. (1986). SAS User's Guide: Statistics. Cary, NC.
- Sarder, M.R.I., Penman, D.J., Myers, J.M., McAndrew, B.J., 1999. Production and propagation of fully inbred clonal lines in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Journal of Experimental Zoology* 284, 675-685.
- Shelton, W.L., Meriwether, F.H., Semmens, K.J., Wallace, E.C., 1983. Progeny sex ratios from intraspecific pair spawnings of *Tilapia aurea* and *Tilapia Nilotica*. In: Fishelson, L., Yaron, Z. (Eds.), *Proceedings of the 1st International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Tel Avid University, Nazareth, Israel. 8 to 13 May 1983. pp. 270-280.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1998. *Biometry*. 3a.ed., W.H. Freeman and Company, New York, 887 p.
- Steel, G.D.R., Torrie, H.J., 1986. *Bioestadística Principios y Procedimientos*. 2a. ed., McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 622 p.
- Tave, D., 1986. *Genetics for Fish Hatchery Managers*. AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut, 299 p.
- Trombka, D., Avtalion, R., 1993. Sex determination in tilapia – a review. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 45, 26-37.
- Tuan, P.A., 1997. Options for genetic control of sex ratio in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). PhD thesis, University of Stirling, Scotland, UK. 279 p.
- Wohlfarth, G.W., Wedekind, H., 1991. The heredity of sex determination in tilapias. *Aquaculture* 92, 143-156.
- Wohlfarth, G.W., 1994. The unexploited of tilapia hybrids in aquaculture. *Aquaculture and Fisheries Management* 25, 781 – 788.
- Yoshikawa, H., Oguri, M., 1978. Sex differentiation in a Chichlid, *Tilapia zilli*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 44, 313-318.
- Zar, J.H., 1984. *Biostatistical Analysis*. 2d ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 718 pp.
-

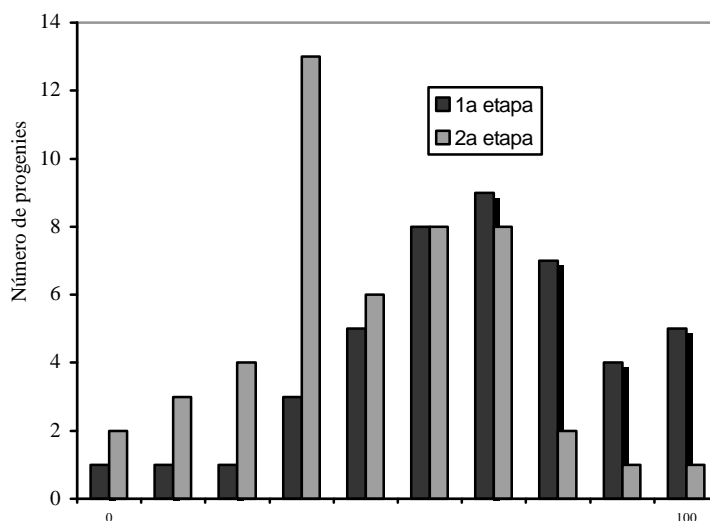
**Tabla 1.** Resumen de la información obtenida del análisis microscópico de gónadas de 44 familias de *O. niloticus* de la primera fase de investigación.

Parámetros	Total	Rojos	Grisés	Mixtos
Número de progenies	44	16	9	19
Crías sexadas	2,482	874	519	1,089
Número de crías sexadas por progenie	56.4 ± 8.61	54.6 ± 12.0	57.4 ± 3.1	57.3 ± 7.0
Total de machos	1540	669	313	558
Machos totales (%)	62.0	76.5 <sup>a</sup>	60.3 <sup>b</sup>	51.4 <sup>b</sup>
7Machos por progenie (%)	63.0 ± 21.6	77.1 ± 17.2	60.6 ± 8.7	52.2 ± 23.0
Rango de machos (%)	1.69 – 100	45.6 - 100	48.3 – 78.0	1.69 – 83.3
Número y % de familias sesgadas a machos P< 0.05	22 (50.0%)	13 (81.2%)	2 (22.2%)	11 (57.9%)
Número y % de familias sesgadas a hembras P< 0.05	4 (9.1%)	0	0	4 (21.0%)
Chi cuadrada ( $\chi^2$ ) general	144.1 con 1 GL	246.3 con 1 GL	22.0 con 1 GL	0.67 con 1 GL
Chi cuadrada ( $\chi^2$ ) Total	596.4 con 44 GL	347.2 con 16 GL	35.1 con 9 GL	214.1 con 19 GL
Heterogeneidad de la Chi cuadrada ( $\chi^2$ )	452.3 con 43 GL <sup>2</sup>	100.1 con 15 GL <sup>2</sup>	13.0 con 8 GL <sup>1</sup>	212.3 con 18 GL <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ns no significativo (P>0.05)<sup>2</sup> significativo a (P<0.05)**Tabla 2.** Resumen de la información obtenida del análisis microscópico de gónadas de 47 familias de *O. niloticus* de la segunda fase de investigación.

Parámetros	Familia				
	Total	13	17	35	44
Número de progenies	47	12	14	10	11
Total de crías sexadas	1304	327	401	284	300
Número total de machos	594	121	181	129	163
% de Machos familia paterna		100	96.1	93.3	91.7
Porcentaje de machos	45.6	37.9	45.1	45.4	54.3
Promedio de machos por progenie (%)	45.4 ± 19.1	37.9 ± 12.1	45.1 ± 24.7	45.1 ± 17.4	54.1 ± 17.4
Rango de machos (%)	0–86.2	16.7– 60.0	0 – 80	20.0–70.0	20.0–86.2
Número y % de progenies con promedio de machos igual a su familia de paterna P> 0.05		0	0	0	1 (9.09%)
Número y % de progenies con promedio de machos distinto a su familia paterna P< 0.05		12 (100%)	14 (100%)	10 (100%)	10 (90.1%)
Chi cuadrada ( $\chi^2$ ) general (pooled)	10.3 con 1GL	122.9 con 1 GL	2709.1 con 1GL	1043.0 con 1 GL	547.4 con 1 GL
Chi cuadrada ( $\chi^2$ ) Total	230.7 con 47 GL	127.6 con 12 GL	3362.2 con 14 GL	1166.0 con 10 GL	611.1 con 11 GL
Heterogeneidad de la Chi cuadrada ( $\chi^2$ )	220.4 con 46 GL <sup>2</sup>	4.70 con 11 GL <sup>1</sup>	653.1 con 13 GL <sup>2</sup>	122.7 con 9 GL <sup>2</sup>	63.7 con 10 GL <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ns no significativo (P>0.05)<sup>2</sup> significativo a (P<0.05)



**Figura 1.** Porcentajes de machos en 44 y 47 familias de crías de la primera y segunda etapas de investigación.

**Tabla 5.** Familias reproductores de *O. niloticus* que mostraron una desviación significativa sobre la proporción de colores esperado.

Progenie	Crías sexadas	Machos %	Cruza Propuesta	Relación Rojo:gris	Rojos	Grisés	( $\chi^2$ )	P <sup>1</sup>
Primera etapa de investigación								
Reproductores rojos								
34	60	73.3	Rr X Rr	3 a 1	38	22	4.36	0.05
35	60	93.3	Rr X Rr	3 a 1	35	25	8.89	0.005
40	59	74.6	Rr X Rr	3 a 1	37	22	4.68	0.05
Reproductores grises			rr X rr	No se encontraron desviaciones significativas				
Reproductores mixtos								
1	57	45.6	Rr X Rr	3 a 1	53	4	9.83	0.005
18	59	64.4	Rr X rr	1 a 1	13	46	18.5	0.005
39	57	75.4	Rr X rr	1 a 1	5	52	38.8	0.005
Segunda etapa de investigación								
13	30	63.3	rr X Rr	1 a 1	5	25	13.3	0.01
39	30	51.9	Rr X rr	1 a 1	8	22	6.50	0.01

<sup>1</sup> Nivel de probabilidad.