

Heterosis para el peso corporal en los híbridos del cruce de *Oreochromis niloticus* roja y gris

Heterosis for body weight in hybrids from the cross of *Oreochromis niloticus* red and gray

Zulita Prieto*; **Monica Arqueros**; **David Salirrosas**; **Danilo Gastañudi**; **Radigud Fernández**

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor correspondiente: zprieto@unitru.edu.pe (Z. Prieto).

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar el vigor híbrido o heterosis en los híbridos (F1) del cruce de machos *Oreochromis niloticus* YY roja con hembras XX *O. niloticus* gris. Para lo cual, se realizó el empadme de machos con hembras en proporción de 1:2. De cada progenie, a los 2 meses de edad se eligieron 30 individuos de mayor peso corporal y se realizó la distribución aleatoria en las hapas, según el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones para su crecimiento durante 6 meses. En todas las progenies evaluadas se confirmó el monosexo masculino por la visualización de gónadas y de las comparaciones estadísticas de los caracteres morfométricos, se registró heterosis positiva para el peso corporal, uniformidad de crecimiento intrapoblacional y conformación del cuerpo en los híbridos del cruce inter-racial de ♂ rojo YY con ♀ gris. Híbrido que ha sido denominado TILAPIA ROJA H1-UNT.

Palabras clave: tilapia; *Oreochromis niloticus*; mejoramiento genético; heterosis.

ABSTRACT

This study was aimed to determine the hybrid vigor or heterosis in hybrids (F1) from the cross of red YY males *Oreochromis niloticus* with gray XX females *O. niloticus*. For this purpose, we carried out the crossing in a 1:2 proportion of male and female individuals respectively. At two months of age, we chose 30 individuals with the highest body weight from each F1 offspring and distributed them in hapas according to a randomized block design with four repetitions for their growth for six months. For all progenies assessed, male monosex was confirmed by gonads visualization and by statistical comparisons of morphometric characters. Positive heterosis for body weight, uniformity of intrapopulation growth and body shaping were reported in hybrids from inter-racial cross of red YY males with grey females. This hybrid was named TILAPIA ROJA H1- UNT.

Keywords: tilapia; *Oreochromis niloticus*; genetic improvement; heterosis.

INTRODUCCIÓN

La especie del género *Oreochromis* que presenta mayor intensidad de cultivo en diferentes países del mundo lo constituye *Oreochromis niloticus* (Josupeot, 2010). Recurso de creciente demanda por su capacidad de adaptación a variaciones climáticas (Behrends et al., 1990), sistemas de policultivos con otras especies acuícolas (Shrestha et al., 201; Hernández et al., 2014), cultivos acuapónicos (Chakravartty et al., 2017; Wang et al., 2014), propiedades en su contenido proteico, aminoácidos, vitaminas y minerales (Gonzales y Brown, 2006). También presencia de colágeno Tipo I en la piel y escamas de tilapia con gran estabilidad de importancia como alimento y uso farmacéutico (Chen et al., 2016).

Para un cultivo de tilapia rentable se prefieren poblaciones de monosexos masculinos, porque se ha comprobado que los machos presentan una tasa de crecimiento superior respecto a las hembras, particularmente cuando se crían juntos (Lind et al., 2015). Considerando el sistema de determinación del sexo en *O. niloticus*, digametismo masculino sistema XY y la plasticidad de los genes que regulan el sexo fenotípico ante efectos ambientales natural o inducida, se han obtenido poblaciones de monosexos machos, por métodos de reversión sexual (El-Greisy y El-Gamal, 2012), por efecto de cambios de temperatura (Wessels et al., 2011), por hibridaciones interespecíficas, como por ejemplo del cruce entre hembras *O. niloticus* con machos *Oreochromis aureus* (Marengoni et al., 1998; El-Zaeem y Salam, 2013; Lozano et al., 2014) y por cruces entre machos YY con hembras XX en *O. niloticus* (Scott et al., 1998; Mair et al., 1995; Ezaz et al., 2004). El crecimiento de las progenies genéticamente machos (GMT) obtenidas de los cruces de machos YY con hembras XX en *O. niloticus* han sido comparadas con poblaciones de machos obtenidos por reversión y poblaciones mezcladas de hembras y machos, y reportaron mayor homogeneidad de peso en los GMT que en otras poblaciones (Mair et al., 1995). Estudios sobre las características morfológicas y de crecimiento de las progenies

de tilapia son necesarios para estimar la variación genética de las poblaciones según las condiciones ambientales de cultivo.

Los parámetros de evaluación del peso y longitud estándar, longitud total en tilapia son complementados con mediciones métricas de la anatomía del pez, teniendo en cuenta como puntos de referencia las bases de las aletas, borde del pre-maxilar y extremos del pedúnculo caudal (Narvaez et al., 2005). Otras mediciones consideradas, anchura y altura del cuerpo, pesos de la canal, cabeza, filete limpio, grasa abdominal y vísceras son informativas sobre la cantidad de carne aprovechable (Gjerde et al., 2012; Neira et al., 2016). No obstante, si bien el registro del peso de filete limpio sería el mejor indicador del valor productivo, se tendría que sacrificar a los individuos y considerar solo el peso y longitud de cuerpo no sería suficiente como referencia de la cantidad de filete de tilapia.

Con la tecnología digital se pueden realizar mediciones con mayor facilidad que pueden minimizar errores de mediciones, dando a su vez, facilidad y menor tiempo en las estadísticas de caracteres métricos y que puedan incorporarse como evaluaciones de rutina en los centros productivos de tilapia. Adicionalmente a las mediciones citadas, podrían incorporarse como indicadores de manejo productivo en cultivos de tilapia el tipo de crecimiento, isométrico o alométrico y factor de condición de los individuos (El-Kasheif et al., 2015).

En el Centro Experimental de Genética de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, se cuenta con poblaciones seleccionadas de *O. niloticus* roja YY y XY, introducidas de Holanda, y poblaciones locales de *O. niloticus* gris, que se proyecta a la obtención de semillas genéticamente machos (GMT) de los cruces entre *O. niloticus* YY con hembras *O. niloticus* con mejor adaptabilidad a variaciones ambientales del medio local. El objetivo del presente trabajo fue la obtención de híbridos de cruces inter-raciales (F1) de padres YY y madres XX (gris), así como la determinación de heterosis para el peso corporal y comparaciones de las mediciones de longitud de la conformación corporal, área del cuerpo y factor de condición.

MATERIAL Y MÉTODOS

Origen del stock de reproductores

Fueron utilizados poblaciones de razas genéticas distintas. *Oreochromis niloticus* XX gris procedente de San Martín, Perú y *Oreochromis niloticus* YY y XY roja procedentes de TilAqua, Holanda. Linajes que fueron introducidos en la etapa de alevines y adaptados en el Centro Experimental de Genética de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Los reproductores machos YY, XY y hembras XX roja y gris fueron identificados con los marcadores SCAR X y SCAR Y (Sun et al., 2014).

Diseño experimental

De las poblaciones existentes se seleccionaron 20 machos YY rojo, 20 hembras rojo, 40 hembras gris y 10 machos gris. Se realizó el empadme en proporción de un macho con dos hembras. Los apareamientos de machos *O. niloticus* rojo YY con hembras YY *O. niloticus* roja, machos *O. niloticus* rojo YY con hembras *O. niloticus* gris y el cruce de machos *O. niloticus* XY gris con hembras *O. niloticus* gris.

De las progenies obtenidas, en fechas coincidentes, a los 2 meses de edad se seleccionaron 90 individuos de mayor tamaño de cada progenie y se inició la evaluación del crecimiento en un diseño estadístico en bloques con tres repeticiones, se dispusieron tres hapas en cada tanque, en las que se uniformizó la calidad de agua, temperatura, oxigenación e iluminación dentro de bloque. En cada bloque, se instalaron las progenies de los tres cruces realizados y fueron mantenidos bajo las mismas condiciones de manejo en los recambios de agua, oxigenación y alimentación. El sexo de los individuos instalados a la edad de dos meses fue desconocido. Sin embargo, considerando que los machos en una población mezclada crecen más rápido (Lind et al., 2015), se eligió a los peces de mayor tamaño con la finalidad de incluir solo machos y uniformizar el sexo masculino en todas las progenies F1. Todos los peces se mantuvieron durante 6 meses. Los peces fueron alimentados con alimento comercial extruida para tilapia 32 % de proteína, tres veces al día, la

cantidad de alimento diario fue de acuerdo a la biomasa para todas las progenies (Wang et al., 2016). La temperatura del agua varió entre 19 a 26 °C.

Toma de datos

Se realizaron mediciones de los pesos una vez al mes durante tres meses consecutivos y se tomaron las medidas de peso corporal y longitud total y a los 6 meses de edad se realizó las medidas longitudinales del cuerpo, teniendo en cuenta los puntos de referencia reportados (Narvaez et al., 2005).

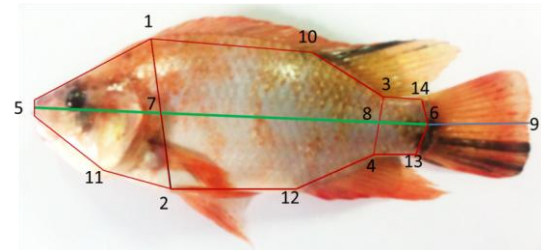


Figura 1. Puntos referenciales y mediciones registradas en *Oreochromis niloticus*. 1 a 2: Altura de cuerpo. 3 a 4: Altura de cola. 5 a 6: Longitud estándar. 5 a 7: Longitud de cabeza, 7 a 8: Longitud de cuerpo, 8 a 6: Longitud de pedúnculo caudal, 6 a 9: longitud de aleta caudal, 1-5-11-2-1: Área de cabeza, 1-2-12-4-3-10-1: Área de cuerpo, 3-4-13-6-14-3: Área del pedúnculo caudal.

Los puntos de referencia para las mediciones, se muestra en la figura 1, (1) base de la primera espina de la aleta dorsal, (2) base de la aleta pélvica, (3) base del último radio de la aleta dorsal, (4) base del radio de la aleta anal, (5) borde del maxilar, (6) base central de inicio de la aleta caudal, (7) intersección de las líneas 5 a 6 y de 1 a 2. (8) Intersección de las líneas 5 a 6 y de 3 a 4, (9) extremo final de la aleta caudal, (10) base de la décima espina de la aleta dorsal, (11) base del opérculo, (12) base de la primera aleta anal, (13) extremo inferior del pedúnculo caudal, (14) extremo superior del pedúnculo caudal, teniendo en cuenta estos puntos de referencia fueron registrados las longitudes de cabeza, cuerpo, cola, aleta caudal, altura de cuerpo, altura de cola y las áreas de la cabeza, cuerpo y pedúnculo caudal.

A los 8 meses de edad se dio muerte a los peces y se verificó el sexo fenotípico de los individuos, por la presencia de testículos.

Se midieron el ancho de las gónadas masculinas, teniendo en cuenta la región más ancha. La toma de mediciones longitudinales y áreas fue realizada de manera digital con el software visilog 6.7.

Procesamiento de datos

Con los datos registrados de peso y longitud total se estimaron los parámetros (Aguilar, 2010):

Ganancia de peso diario (g) = [(peso final (g) – peso inicial (g))/ Días]

Tasa de crecimiento específico (SGR, %d⁻¹) = [(ln del peso final – ln peso inicial)/días] x 100%.

Determinación de la heterosis para el peso corporal: (promedio del peso de la F1 – promedio del peso de los padres/Promedio del peso corporal de los padres (Pulgarín, 2012).

Coefficientes de regresión del peso-longitud total (b) y factor de condición (k1= Peso (g)/longitud total^b) con los datos previamente transformados a logaritmo natural y evaluadas en las diferentes etapas de crecimiento (Muller *et al.*, 2010). Para todas las pruebas estadísticas de comparación y correlaciones se consideró el nivel de confiabilidad $\alpha=0,05$.

Cada una de las medidas fue transformada a logaritmo natural para un ajuste de normalidad con la prueba Kolmogorov Smirnov. Se realizaron los procesamientos estadísticos, correlaciones entre peso y longitudes, comparación de peso, longitud estándar, longitud total, valores porcentuales de la longitud de cuerpo y área porcentual del cuerpo con el análisis de varianza y pruebas Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En *Oreochromis niloticus*, la obtención de progenies en su etapa inicial estuvo limitada por el comportamiento agresivo de los machos al realizar el empadre, fue notorio los ataques, ensanchamiento bucal y mordeduras principalmente del sexo masculino contra determinadas hembras, fue necesario una etapa de aceptación y cambios de individuos agredidos, hasta observar la ausencia de ataques e inicio de comportamiento de cortejo. Fue evidente mayor aceptación reproductiva de las hembras grises que las hembras rojas.

Se confirmó el sexo cromosómico de los padres mediante los marcadores SCAR asociados a los cromosomas sexuales y en las progenies de los cruces realizados se confirmó el sexo fenotípico masculino mediante la visualización de gónadas a los seis meses de edad.

Se muestra diferencias en el crecimiento de los individuos dentro y entre progenies, el crecimiento intra-poblacional del híbrido (F1) del cruce de YY rojo con las hembras de color gris presentó mayor uniformidad comparado con las progenies de los cruces intra-raciales, es decir en las progenies provenientes de los ♂ YY rojo y ♀ YY roja y de los ♂ XY gris y ♀ XX gris, se muestran las curvas de crecimiento intrapoblacional en la figura 2. En el híbrido obtenido del cruce de ♂ XY rojo con ♀ XX gris, se registró jerarquías de dominancia y agresividad bien marcadas. Los valores promedios del peso de las progenies F1 del cruce entre *O. niloticus* entre machos YY rojo con hembras grises fue $161,09 \pm 48,69$ g, valor promedio superior y estadísticamente significativa comparada con los valores promedio de la progenies de los machos YY con hembras rojas ($107,92 \pm 67,52$) y con a las progenies del cruce de machos grises XY con hembras grises XX ($62,29 \pm 49,41$), se destaca los valores altos de desviación estándar en las progenies de los cruces intra-racial (Figura 3). Los coeficientes de variación del peso corporal de los híbridos (F1), fueron en menor magnitud comparada con los altos valores de coeficientes de variación dentro de las progenies de cruces dentro de cada linaje.

En relación a las medidas de peso, longitud total, longitud estándar, longitud de cuerpo y altura de cuerpo, se encontró valores promedios incrementados en los híbridos del cruce inter-raciales comparados con los valores en la progenie del cruce intra-racial rojo, diferencias significativas entre las medidas ($p < 0,05$), la proporción de altura de cuerpo y longitud de cuerpo para el híbrido fue 0,73 comparado con el fenotipo paterno en 0,70 (Tabla 1). De manera similar se registró diferencias significativas entre las medidas longitud de cabeza, longitud de cuerpo, área de cabeza y área de cuerpo ($p < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 1. Valores promedio, desviación estándar de peso corporal, longitud total (LT), longitud estándar (LS), altura de cuerpo (ALC) y proporción de altura de cuerpo y longitud de cuerpo (ALC/LC) de las progenies F1 de los cruces entre machos rojo *Oreochromis niloticus* YY y hembras *Oreochromis niloticus* gris y rojo y cruces de machos *Oreochromis niloticus* XY con hembras *Oreochromis niloticus* gris a los 6 meses de edad, 3 repeticiones

Progenies	Peso (g)	LT (cm)	LS (cm)	ALC (cm)	ALC/LC
Progenie del cruce de ♂YY rojo x ♀ XX roja	107,92 ± 67,52	17,38 ± 3,72	15,57 ± 2,69	6,29 ± 1,22	0,70 ± 0,08
Híbrido (F1) del cruce de <i>O. niloticus</i> rojo YY y <i>O. niloticus</i> gris XX	161,09 ± 48,69	20,65 ± 2,04	16,72 ± 2,14	6,94 ± 1,01	0,73 ± 0,05

± Desviación estándar

Las medidas expresadas en valores porcentuales en relación a las medidas totales de cada individuo, se encontró similitud en las medidas proporcionales entre los híbridos y la progenie intra-racial, el área de cuerpo porcentual estuvieron 68,20% y 68,98% para los híbridos de macho rojo YY con hembra gris y del cruce machos YY con hembras rojas, respectivamente.

Se estimó el coeficiente de regresión (b), relación longitud –peso, en los primeros cuatro meses el crecimiento fue alométrico positivo, los coeficientes de regresión mayores que 3, en el sexto mes el crecimiento fue isométrico valores iguales a 3 (Tabla 3). Los factores de condición (K1) estimados en las progenies F1 demuestran un crecimiento progresivo sin diferencias significativas, siendo ligeramente mejor en la progenie F1 del cruce de machos YY con hembras gris XX. Así también, la ganancia de peso diario con mayor uniformidad durante el crecimiento, así como la tasa de crecimiento específico (Tabla 3).

Los híbridos del cruce interracial demostraron superioridad en todas las medidas registradas, se determinó la heterosis para el peso total en 56 %. El híbrido *Oreochromis niloticus* obtenido se ha denominado TILAPIA ROJA H1-UNT.

En relación al fenotipo color en la F1 se registró dominancia del color rojo, fue característica una proporción de peces con color de cuerpo rojo y otras tonalidades rojo tenue con presencia de manchas. Del cruce de F1 x F1 se observó una F2 segregante para el color todas las tonalidades del rojo al gris (Fig. 5), así mismo se observó una variación del tamaño de los peces que en ninguno de los casos superó el crecimiento de los híbridos.

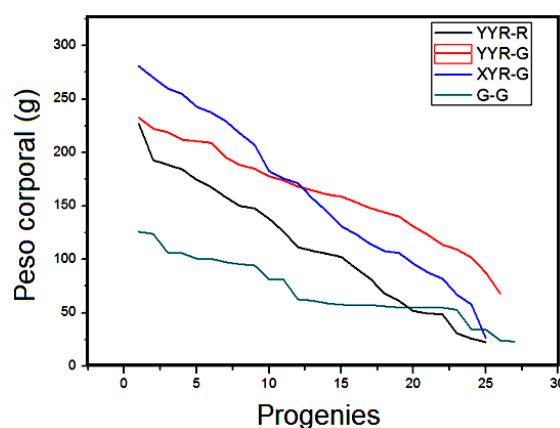


Figura 2. Variación de la dominancia en *O. niloticus* entre individuos machos dentro de progenies de los cruces entre ♂ YY rojo con ♀ YY rojo (Línea negra), ♂ YY rojo con ♀ XX gris (Línea roja), ♂ XY gris rojo con ♀ XX gris (Línea azul) y ♂ XY gris con ♀ XX gris. Edad 6 meses.

A la edad de 6 meses se confirmó el sexo masculino de las progenies que fueron seleccionados a los dos meses de edad como machos, principalmente importante en la progenie del cruce de machos XY con hembras grises, por la probabilidad esperada de $\frac{1}{2}$ de machos. Población masculina que valida la comparación del crecimiento con las progenies monosexos genéticamente machos del cruce de machos YY con hembras XX. Los resultados confirman que los machos incrementan su peso más rápido que las hembras, ya reportados en investigaciones anteriores (Muller et al., 2010; Lind et al., 2015). Otros estudios sobre el crecimiento de machos y hembras de tilapia dispuestos de manera individual observaron que las hembras alcanzaron mayor peso que los machos, que explican que la superioridad de los machos en una población de hembras y machos, se debería principalmente al comportamiento (Bhatta et al., 2012).

Los pesos registrados a diferentes edades dentro de progenies muestran jerarquías en el crecimiento, más acentuado en las progenies del cruce de machos YY con hembras rojas que en los híbridos F1 de machos rojos YY con hembras grises, en la que se distinguen tres subgrupos con variaciones de los pesos. Estas diferencias en los pesos se explicarían por la competencia y dominancia de determinados machos que establecer jerarquías entre individuos de la misma población y que se inicia a temprana edad y se va acentuando y definiendo con relación a la edad, como la observada en diferentes etapas de crecimiento.

Las diferencias de dominancia y jerarquías dependerán del genotipo y factores ambientales. En el caso de los híbridos (F1) de cruces de machos YY rojo con hembras grises la heterogeneidad en los pesos de cuerpo de los individuos estuvo disminuida.

Al evaluar el ancho de gónadas masculinas en individuos con la misma longitud estándar en los cuatro tipos de progenies, se encontró un valor promedio mayor en las progenies de machos rojo YY con hembras roja, seguido de las progenies en los cruces de machos XY gris con hembras gris, sin embargo, en los híbridos el ancho de las gónadas fue significativamente menor.

Tabla 2. *Oreochromis niloticus*, valores promedios y desviación estándar de la longitud de cabeza, longitud de cuerpo, longitud pedúnculo y longitud de la aleta caudal, área de cabeza y área de cuerpo en las progenies híbrido (F1) de los cruces de machos YY rojo con hembras gris y progenies del cruce de machos YY rojo con hembras XX rojo

Progenies	Long. cabeza (cm)	Long. cuerpo (cm)	Long. pedúnculo. (cm)	Long. aleta caudal (cm)	Área cabeza (cm ²)	Área cuerpo (cm ²)
Progenie del cruce de <i>O. niloticus</i> roja YY y <i>O. niloticus</i> roja YY	4,91 ± 0,83	8,95 ± 1,77	1,68 ± 0,27	3,63 ± 1,18	18,49 ± 5,93	49,87 ± 17,44
Híbrido (F1) del cruce de <i>O. niloticus</i> rojo YY y <i>O. niloticus</i> gris XX	5,42 ± 0,64	9,48 ± 1,23	2,05 ± 0,44	4,05 ± 0,52	20,88 ± 4,59	55,11 ± 13,66

± Desviación estándar, n = 60

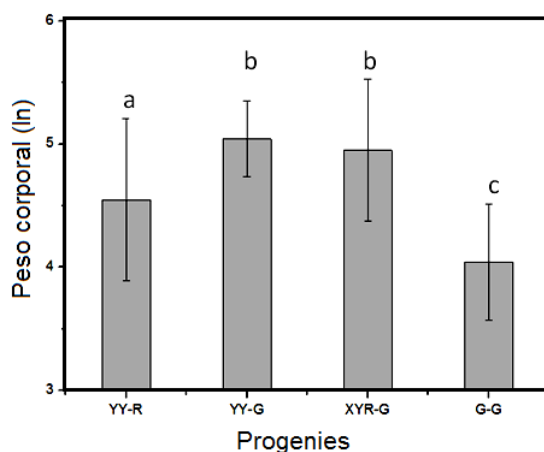


Figura 3. A. Progenies *Oreochromis niloticus* de los padres, YYR-R: ♂ YY rojo - ♀ YY rojo, YY-G: ♂ YY rojo - ♀ XX gris, XYR-G: ♂ XY rojo - ♀ XX gris; G-G: ♂ XY gris - ♀ XX gris. Peso corporal promedio en logaritmo natural (ln) de progenies machos a los 6 meses de edad. Letras diferentes representa diferencias estadísticamente significativas, p < 0,05.

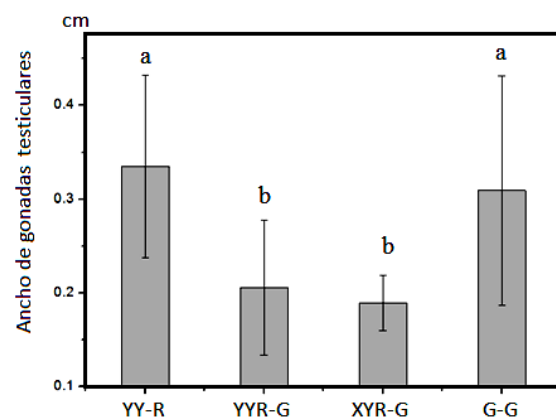


Figura 4. Ancho de gónadas testiculares de las progenies *Oreochromis niloticus* provenientes de padres, YYR-R: ♂ YY rojo - ♀ YY rojo, YY-G: ♂ YY rojo - ♀ XX gris, XYR-G: ♂ XY rojo - ♀ XX gris; G-G: ♂ XY gris - ♀ XX gris. Para las mediciones se consideró el tamaño de los peces entre 15 a 17 cm en todas las progenies. Letras diferentes representa diferencias estadísticamente significativas, p < 0,05.

Investigaciones al respecto, sostienen que la dominancia jerárquica en los machos estaría asociado al tamaño de gónadas, los niveles de gonadotropinas estarían más elevados, que corresponderían a los machos dominantes frente a los machos subordinados (Schreiber et al., 1998). No obstante, en las progenies F1 de cruces de machos XY con hembras gris, el ancho de gónada fue similar a lo registrado en la F1 del cruce de machos YY con hembras gris y presentaron diferencias en la jerarquía de machos dominantes, sin relación al tamaño de gónadas testiculares.

Observaciones en el presente trabajo se encuentran menores agresiones en los peces con mayor densidad y uniformidad en tamaño. Sin embargo, para resultados concluyentes al respecto son necesarios mayores ensayos. En relación a la agresividad en comparación con otras especies *O. niloticus* sería el más agresivo dentro de los ciclidos, con alta probabilidad de convertirse en la especie dominante frente a otras especies si se encuentran en los mismos ambientes (Pereira et al., 2011; Carretero et al., 2012). El coeficiente de variación de los pesos de las progenies F1 del cruce de machos XY con hembras grises y de cruces de machos YY con hembras rojas fueron mayores que las progenies F1 del cruce de machos YY con hembras grises, valores que son concordantes con el número menor de individuos con pesos superiores frente a los demás individuos de la misma progenie. De esto, se infiere que las progenies F1 del cruce de machos YY con hembras grises XX, tienen mayor ventaja en el crecimiento que las F1 de los otros cruces, un 88.89% de la población de individuos con pesos superiores a los 100g, frente a las otras progenies de cruzamientos intra-raciales.

La heterosis para el peso corporal y mediciones en la conformación del cuerpo fue positiva en la presente investigación y la reducción del tamaño de manera significativa y variación en las diferentes características incluida el color de cuerpo en F2, dan cuenta de la magnitud predominante de los factores de dominancia, sobredominancia y probablemente epistasis en los genotipos de F1 provenientes de padres con genética distinta. En los cruzamientos

dialélicos de cuatro razas de tilapia roja de origen distinto registraron heterosis en un nivel muy bajo, pero en contraste registraron un gran componente aditivo para el peso del cuerpo de los peces de tilapia (Nguyen et al., 2009; Thoa et al., 2016; Lozano et al., 2011). De manera similar, en tilapia roja (*Oreochromis sp*) fue estimado variaciones en los efectos heteróticos para el peso y sobrevivencia en las poblaciones estudiadas (Pulgarín, 2012), lo que indica que los efectos aditivos o de heterosis estará en función de los genotipos paternos. El coeficiente de regresión, relación longitud- peso, muestra un crecimiento alométrico positivo en los cinco primeros meses de crecimiento, registrándose un crecimiento isométrico a los 8 meses, lo que indica que los individuos de todas las progenies tuvieron un crecimiento proporcional entre talla y peso. Según los valores del coeficiente de regresión $b = 3$ crecimiento isométrico, debajo del valor de 3 crecimiento alométrico negativo, y valores superiores a 3, crecimiento alométrico positivo (Delgadillo-Calvillo et al., 2012). Los coeficientes de regresión fueron concordantes con los factores de condición registrados a los 6 meses, el incremento significativo de los factores de condición, dan cuenta de las condiciones favorables de crecimiento y poblaciones de monosexos masculinos. Estudios del factor de condición en poblaciones naturales muestran oscilaciones en los valores asociados a los ciclos reproductivos, disminución del factor de condición y a los cambios nutricionales en función de la disponibilidad de alimento (Olufeagba et al., 2015). El crecimiento de *O. niloticus* dependerá de las condiciones ambientales y genética de los individuos propios de cada lugar, ya sea en condiciones naturales o en granjas. Se reportó el crecimiento alométrico negativo en *O. niloticus* estudiados en un lago de Kainji³⁶. Evaluaciones del crecimiento de *O. niloticus* en un reservorio de Golinga reportaron el crecimiento isométrico ($b = 3,07$) comparado con *H. fasciatus* que crecen de manera alométrica ($b = 2,554$) (Alhassan et al., 2015).

La ganancia de peso y tasa específica de crecimiento estuvo disminuida durante el mes de julio, que se debería a efectos de

temperatura más baja que se registraron en el mes de julio 2015. Si bien la tasa de crecimiento de algunos individuos fue mayor en la progenie del cruce del macho XY con hembras grises, las fluctuaciones fueron mayores durante su crecimiento.

Debido a la proporción de machos y hembras que se presentan en estas progenies, para engorde no es recomendable dado que el sexaje tendría que realizarse cuando los individuos alcancen un peso mínimo de 70g y con probabilidad de error en el sexaje, en caso

de no utilizar hormonas. Sin embargo, los machos XY con buen performance serán seleccionados como reproductores para la obtención de nuevos linajes de machos YY. Las diferencias registradas en las medidas de longitud, se explica por el tamaño mayor que presentan los híbridos, en general las medidas de la conformación corporal expresados en porcentajes de acuerdo al tamaño de los peces en las progenies F1, son similares a los paternos machos YY rojos.

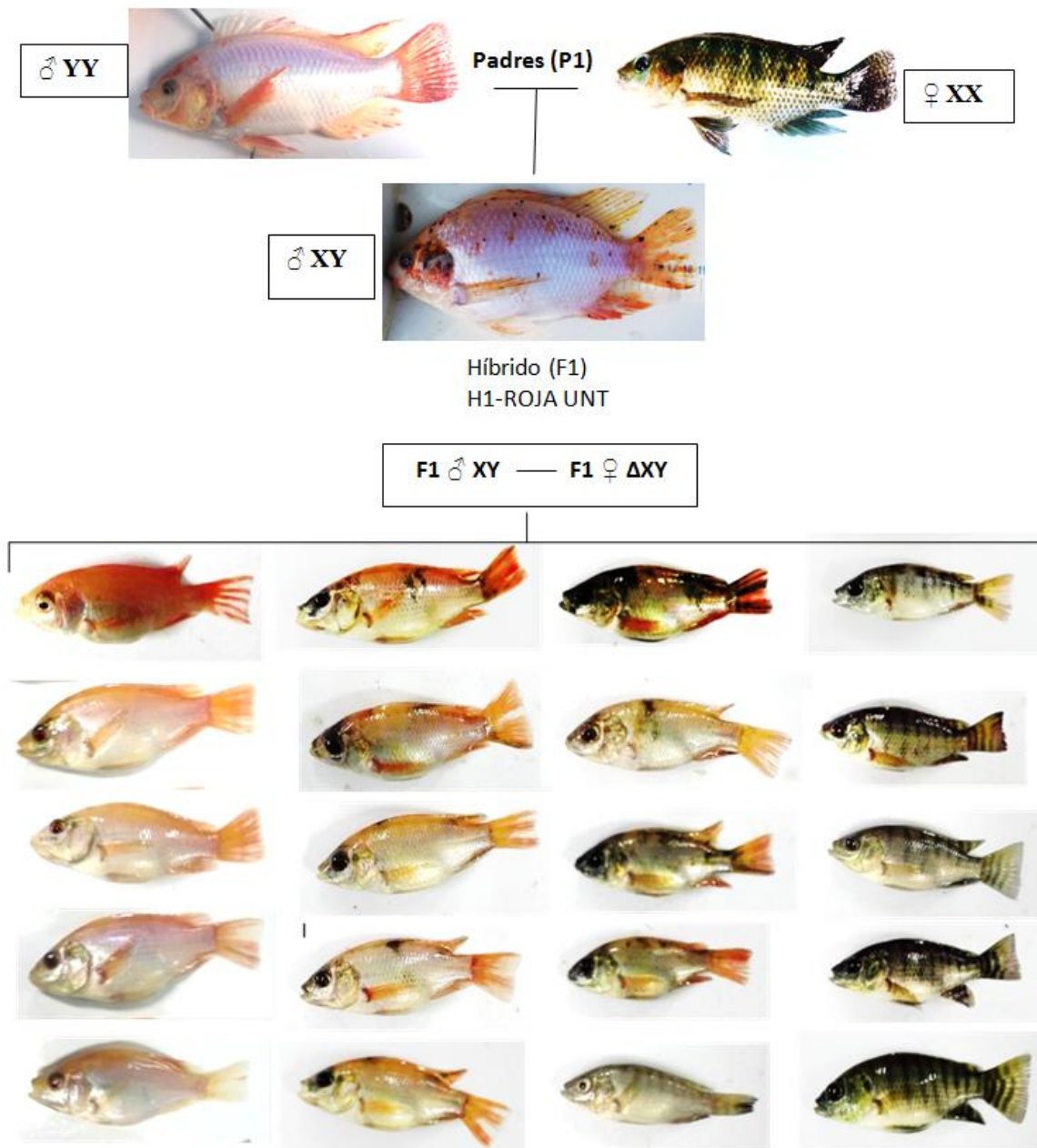


Figura 5. *Oreochromis niloticus*, P1: ♂ rojo YY x ♀ gris XX. F1: XY rojo (vigor híbrido). F2, del cruce entre F1 x F1. Segregación del color en los peces

Tabla 3. Parámetros productivos de las progenies de los cruces entre machos YY rojo y hembras XX roja comparado con los híbridos de cruces inter-raciales de machos YY rojo y hembras XX gris en *Oreochromis niloticus*

Parámetros productivos	♂YY-R x ♀YY R			♂YY-R x ♀XX-G		
	Junio	Julio	Octubre	Junio	Julio	Octubre
Peso corporal final	14,56	20,012	107,92	22,78	36,42	169,87
Longitud total final	9,784	11,02	17,38	11,67	13,57	20,92
Factor de condición K1	0,38	0,48	1,58	0,28	0,42	1,58
Tipo de crecimiento (b)	3,56	3,40	3,05	3,66	3,47	3,05
Ganancia diaria de peso (g/pez)	0,40	0,18	0,98	0,68	0,50	1,49
Tasa específica de crecimiento (% del peso corporal/día)	1,26	0,93	1,90	1,20	1,57	1,66
Coefficiente de variación del peso corporal (%)	40,77	43,57	62,56	25,76	28,19	30,23
Mortalidad (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

La proporción de la altura de cuerpo y la longitud de cuerpo en los híbridos se muestra mejorado comparado con los valores de los padres. De las mediciones realizadas la proporción de altura de cuerpo/longitud de cuerpo y el porcentaje del área corporal sería indicadores con mayor aproximación al porcentaje de filete de tilapia.

CONCLUSIONES

Se concluye que la progenie F1 del cruce de machos *O. niloticus* YY rojo con hembras *O. niloticus* XX gris, constituye una población genéticamente masculina (XY) que posee buena conformación del cuerpo, crecimiento isométrico, mayor homogeneidad en su crecimiento que los padres. Se ha demostrado el vigor híbrido o heterosis del híbrido F1 y se ha denominado TILAPIA ROJA H1-UNT.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado en el Centro Experimental de Genética de la Universidad Nacional de Trujillo en el marco del Proyecto de investigación PIC04 "Mejoramiento Genético de Tilapia" financiado por CANON MINERO. Los autores agradecen a todas las autoridades que hicieron posible la ejecución del proyecto y colegas Julio León, Marcos Quiroz, Pamela Luna y Brayan Tello por su colaboración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, A.F.A. 2010. Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de Tilapia Roja (*Oreochromis* Spp.) Y Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus* Var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas. Tesis para optar al título de Magister en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- Alhassan, E.H.; Akongyuure, D.N.; Asumang, F. 2015. Determination of Morphometric Relationship and Condition Factors of Four Cichlids from Golinga Reservoir in Northern Region of Ghana. *On Line Journal of Biological Sciences* 15(3): 201-206.
- Behrends, L.L.; Kingsley, J.B.; Bulls, M.J. 1990. Cold Tolerance in Maternal Mouthbrooding Tilapias: Phenotypic Variation Among Species and Hybrids. *Aquaculture* 85: 271-280.
- Bhatta, S.; Iwai, T.; Miura, T.; Higuchi, M.; Maugars, G.; Miura, Ch. 2012. Differences between male and female growth and sexual maturation in tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology* 8(2): 57-65.
- Carretero, S.F.H.; Miyai, C.A.; Costa, T.M., Christofolletti, R.A.; Volpato, G.L.; Barreto, R.E. 2012. Aggressiveness Overcomes Body-Size Effects in Fights Staged between Invasive and Native Fish Species with Overlapping Niches. *PLoS ONE* 7(1): e29746.
- Chakravarty, D.; Mondal, A.; Raychowdhury, P.; Bhattacharya, S.B.; Mitra, A. 2017. Role of aquaponics in the sustenance of coastal India-Aquaponics is a solution for modern agriculture in ecologically sensitive Indian mangrove Sundarbans: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 5(2): 441-448.
- Chen, J.; Li, L.; Yi, R.; Xu, N.; Gao, R.; Hong, B. 2016. Extraction and characterization of acid-soluble collagen from scales and skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *LWT – Food Science and Technology* 66: 453-459.
- Cifuentes, R.; González, J.; Montoya, G.; Jara, A., Ortíz, N.; Piedra, P.; Habit, E. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)* 76(2): 101-110.
- Delgadillo-Calvillo, A.C.; Martínez-Palacios, C.A.; Berruecos-Villalobos, J.M.; Ulloa-Arvizu, R.; López-Ordaz, R.; Vásquez-Peláez, C.G. 2012. Caracterización de la curva de crecimiento en dos especies de pez blanco *Chirostoma estor*, *C. promelas* y sus híbridos. *Veterinaria México* 43 (2): 113-121.
- El-Greisy, Z. A. y EL-Gamal, A.E. 2012. Monosex production of tilapia, *Oreochromis niloticus* using

- different doses of 17 α -methyltestosterone with respect to the degree of sex stability after one year of treatment Z.A. El- Egyptian Journal of Aquatic Research 38: 59–66.
- El-Kasheif, M.A.; Mohammad, M.N. A.; Al-Ghamdi, F.A.; Ibrahim, S.A.; El-Far, A.M. 2015. Biological Aspects and Fisheries Management of Tilapia Fish *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in El-Bahr El-Faraouny Canal, Al-Minufiya Province, Egypt. Journal of Fisheries and Aquatic Science 10(6): 405-444.
- El-Zaeem, S.Y.; Salam, G.M. 2013 Production of genetically male tilapia through interspecific hybridization between *Oreochromis niloticus* and *O. aureus*. Iranian Journal of Fisheries Sciences 12(4): 802-812.
- Ezaz, M.T.; Myers, J.M.; Powell, S.F.; McAndrew, B.J.; Penman, D.J. 2004. Sex ratios in the progeny of androgenetic and gynogenetic YY male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Aquaculture 232: 205-214.
- Gjerde, B.; Bekele, M. S.; Ødegård, J.; Johansen, H.; Soza, A. D. 2012. Quantitative genetics of body weight, fillet weight and fillet yield in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 342-343: 117-124.
- Golan, M.; Levavi-Sivan, B. 2013. Social dominance in tilapia is associated with gonadotroph hiperplasia. General and Comparative. Endocrinology 192: 126–135.
- Gonzales, Jr.J.M.; Brown, P.B. 2006. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* as a food source in advanced life support systems: Initial considerations. Advances in Space Research 38(6): 1132-1137.
- Hernández, M.; Gasca-Leyva, E.; Milstein, A. 2014. Polyculture of mixed-sex and male populations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with the Mayan cichlid (*Cichlasoma ophthalmus*). Aquaculture 418-419: 26-31.
- Josupeot, H. 2010. World supply and demand of tilapia. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (citado 24 mayo 2017). Disponible en: <http://seatglobal.eu/wp-content/uploads/2011/04/Tilapia-Helga.pdf>.
- Lind, C.E.; Safari, A.; Agyakwah, S-K.; Attipoe, F.Y.K.; El-Naggar, G.O.; Hamzah, A.; Hulata, G.; Ibrahim, N.A.; Khaw, H.L.; Nguyen, N.H.; Maluwaf, A.O.; Zaid, M.; Zak, T.; Ponzoni, R.W. 2015. Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. Aquaculture Reports 1: 20–27.
- Lozano, C.; Gjerde, B.; Bentsen, H.B.; Dionisio, E.E.; Rye, M. 2011. Estimates of strain additive genetic, heterosis and reciprocal effects for male proportion in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Aquaculture 312: 32-42.
- Lozano, C.A.; Gjerde, B.; Ødegård, J.; Rye, M.; Dinh, L.T. 2014. Heritability estimates for male proportion in hybrids between Nile tilapia females (*Oreochromis niloticus*) and blue tilapia males (*Oreochromis aureus*). Aquaculture 430: 66–73.
- Mair, G.C.; Abucay, J.S.; Beardmore, J.A.; Skibinski, O.F.D. 1995. 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.
- Marengoni, N.G.; Onoue, Y.; Oyama, T. 1998. All-male Tilapia Hybrids of Two Strains of *Oreochromis niloticus*. Journal of the World Aquaculture Society 29(1): 108-113.
- Muller, G.L.; Villares, J.G.A.; Souza, B.F.M. 2010. Relação peso-comprimento e fator de condição de *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia, Mata Atlântica, estado de São Paulo, Brasil. Biota Neotropica 10(1): 101-105.
- Narvaez, B.J.C.; Acero, P.A.; Blanco, R.J. 2005. Variación morfométrica en poblaciones naturalizadas y domesticadas de la Tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (teleostei: cichlidae) en el norte de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, Físicas y Naturales 29(112): 383-394.
- Neira, R.; García, X.; Lhorente, J.P.; Filp, M.; Yáñez, J.M.; Cascante, A.M. 2016. Evaluation of the growth and carcass quality of diallel crosses of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 451: 213-222.
- Nguyen, N.H.; Pongthana, N.; Ponzoni, R.W. 2009. Heterosis, direct and maternal genetic effects on body traits in a complete diallel cross involving four strains of red Tilapia *Oreochromis* spp. Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics 18: 358-361.
- Olufeagba, S.O.; Aladele, S.E.; Okomoda, V.T.; Sifau, M.O.; Ajayi, D.A.; Oduoye, O.T.; Bolatito, O.A.; Nden, D.S.; Fabunmi-tolase, A.S.; Hassan, T. 2015. Morphological variation of cichlids from kainji lake, Nigeria By. International Journal of Aquaculture 5(26): 1–10.
- Pereira, B.C.N.; Nogueira, M. R.; Gonçalves-de-Freitas, E. 2011. Same-sized fish groups increase aggressive interaction of sex-reversed males Nile tilapia GIFT strain. Applied Animal Behaviour Science 135(1-2): 154-159.
- Pulgarín, C.E.R. 2012. Estimación de los efectos aditivos y de heterosis para peso de cosecha, sobrevivencia y manchamiento en siete poblaciones de tilapia roja (*Oreochromis* sp) en Colombia. título para optar al título de Magister en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia.
- Schreiber, S.; Focken, U.; Becker, K. 1998. Individually reared female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) can grow faster than males. Angew. Ichthyol 14(1-2): 43-47.
- Scott, A.G.; Penmani, D.J.; Beardmore, J.A.; Skibinsk, D.O.F. 1998. The 'YY' Supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its Potential in Aquaculture. Aquaculture 78: 237-251.

- Shrestha, M.K.; Sharma, R.L.; Gharti, K.; Diana J.S. 2011. Polyculture of Sahar (*Tor putitora*) with mixed-sex Nile tilapia. *Aquaculture* 319(1-2): 284-289.
- Sun, YL.; Jiang, D.N.; Zeng, S.; Hu, C.J.; Ye, K.; Yang, C.; Yang, S.J.; Li, M.H., Wang, D.S. 2014. Screening and characterization of sex-linked DNA markers and marker-assisted selection in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 433: 19-27.
- Thoa, N. P.; Ninh, N. H.; Hoa, N. T.; Knibb, W.; Diep, N. H.; Nguyen, N. H. 2016. Additive genetic and heterotic effects in a 4 3 4 complete diallel cross-population of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) reared in different water temperature environments in Northern Vietnam. *Aquaculture Research* 47: 708-720
- Wang, C-Y; Chang, C-Y; Chien, Y-H; Lai, H-T. 2016. The performance of coupling membrane filtration in recirculating aquaponics system for tilapia culture. *International Biodeterioration & Biodegradation* 107: 21-30.
- Wessels, S.; Samavati, S.; Hörstgen-Schwark, G. 2011. Effect of early temperature treatments on sex differentiation in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* lines selected for high and low thermo-sensitivity. *Aquaculture* 316(1-4): 139-142.