

PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CRECIMIENTO COMERCIAL, SOBREVIVENCIA Y MANCHADO EN TILAPIA ROJA (*Oreochromis* sp.) EN COLOMBIA

C.E. Pulgarin^{1}, K. Rodriguez¹, M. Salazar¹, C. Manrique², F. Perez¹, T. Gitterle^{1,3}*

Artículo recibido: 17 de noviembre de 2011 ; aprobado: 13 de junio de 2012

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos genéticos para peso al momento de sexaje, crecimiento y sobrevivencia hasta cosecha, y proporción de mancha (área de mancha y presencia/ausencia de mancha) durante la fase comercial en un grupo de 86 familias de hermanos enteros y 31 familias de hermanos medios de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). La media de peso durante la fase de crecimiento comercial fue de 181,4 g (184 g para machos y 178 g para hembras), los machos significativamente más grandes que las hembras ($P < 0,001$). Las variables de sobrevivencia, área de mancha y ausencia de mancha no presentaron diferencias entre los sexos. Las heredabilidades estimadas ($h^2 \pm E.S$) para crecimiento comercial y sobrevivencia fueron $0,23 \pm 0,02$ y $0,05 \pm 0,03$, respectivamente. El porcentaje de mancha y la ausencia y presencia de la misma mostraron heredabilidades cercanas a cero, lo cual indica que estos dos caracteres están relacionados más con efectos ambientales que con efectos genéticos aditivos. Se encontró una correlación favorable y significativa entre sobrevivencia y crecimiento comercial ($0,24$; $P < 0,05$). Los resultados de este trabajo indican que mediante la explotación de la genética aditiva es posible mejorar el desempeño de los animales para crecimiento comercial y sobrevivencia en la tilapia roja, mientras que poco progreso se puede esperar por medio de la selección para variables relacionadas con el manchado corporal en la población evaluada.

Palabras clave: tilapia roja, heredabilidad, correlaciones genéticas.

GENETIC PARAMETERS OF WEIGHT IN COMMERCIAL GROWTH PHASE SURVIVAL AND BLACK SPOT IN RED TILAPIA (*Oreochromis* sp.) IN COLOMBIA

ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the genetic effects for commercial weight as, pond survival and degree of black spot for red tilapia (*Oreochromis* sp.). A total of 86 families were

¹ Ceniagua (Centro de investigaciones para la acuicultura en Colombia). Cr. 9B nro. 113-60, Bogotá (Colombia).

² Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Cr. 45 nro. 26-58, Bogotá (Colombia).

³ SyAqua Group 140 One Pacific Place 19th Floor, Unit 1902-4, Sukhumvit Road, Klongtoey District Bangkok, Tailandia.

* Autor para correspondencia: cpulgarin@ceniagua.org; carlospulgarin260@hotmail.com

evaluated, the average weight at commercial size was 181.4 g with males being significantly heavier than females. Pond survival, spotted area and presence/absence of black spots did not differ between sexes. The estimated heritabilities ($h^2 \pm S.E.$) for harvest weight and pond survival were 0.23 ± 0.02 0.05 ± 0.03 , respectively. No heritability was found for spotted area and for presence/absence of black spots indicating that these traits are more affected by environmental conditions rather than by additive genes. We found a significant positive favorable correlation between harvest weight and survival (0.26 ; $P < 0.05$). The results of this study show that through selective breeding is possible to improve the performance of red tilapia for commercial growth and survival. While selection to reduce black spots in the studied population should show little progress.

Key words: red tilapia, heritability, genetic correlations.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es la actividad de producción de alimentos con mayor crecimiento en el mundo (FAO, 2010). En Colombia la tilapia participa con el 49% de la producción piscícola nacional (Espinal *et al.* 2005, representada por tilapia nilótica (*O. niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis* sp.). El principal mercado de tilapia nilótica es Estados Unidos, mientras que la tilapia roja encuentra su mercado a nivel nacional (Usgasme *et al.* 2007). Esto se debe a su popularidad entre los consumidores por su parecido con especies marinas de gran valor económico (Sea Bream (*Chrysophrys major*), Pargos (*Snapper, Lutjanus* spp.) y el Red Snapper (*Lutjanus campechanus*), por su fina textura y suave sabor, y por su cultivo potencial en aguas continentales, salobres y saladas. Este efecto también se ha presentado en otros países de Centro y Suramérica (Morales y Morales 2005). A pesar de las buenas características productivas y de que Colombia es uno de los principales países en el mundo con mayor producción de tilapia (FAO 2010), los costos de producción no son los mejores si se comparan con otros países productores de Asia y Latinoamérica (Usgame *et al.* 2008). Los piscicultores consideran que aparte de los costos de alimentación,

la producción de alevinos en Colombia es deficiente, a causa de su baja homogeneidad, poco crecimiento, altos niveles de mortalidad y morbilidad, que hacen menos competitiva la producción (Espinal *et al.* 2005), problema que es generalizado para la especie de tilapia roja a nivel mundial. De igual modo, en la cadena piscícola de Colombia los productores han mostrado unas problemáticas de comercialización de producto debido a manchas negras que se presentan en el cuerpo del animal.

El mejoramiento genético y el desarrollo de los sistemas de producción han logrado mejorar el desempeño productivo y la competitividad de diferentes especies. De esta manera, cambios notables en el desempeño productivo se han descrito en tilapia (Bolívar y Newkirk 2002; Eknath *et al.* 1995; Ponzoni *et al.* 2005), en otras especies acuícolas como el camarón (Gitterle *et al.* 2005a) y la trucha (Gjerde 2005).

Al analizar cómo se transmiten los genes de padres a descendientes, la genética clásica mendeliana considera solamente variables de tipo discontinuo o discretas (Ruales *et al.* 2007). Estas variables se caracterizan porque solo uno de los dos pares de genes interviene en el proceso hereditario, independientemente del ambiente en el que se encuentre. En

contraste, la genética cuantitativa tiene como propósito estudiar la forma como se heredan los genes que tienen un efecto sobre alguna característica deseada de forma independiente (Ruales *et al.* 2007).

El propósito de este estudio fue estimar la heredabilidad y correlaciones genéticas para las variables productivas de crecimiento comercial, sobrevivencia, área de manchado (área de mancha/área del pez) y presencia/ausencia de mancha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes

En el año 2010, Briñez *et al.* (2011), usando cinco microsatélites polimórficos, evaluaron la variabilidad genética de seis poblaciones de tilapia roja de cinco diferentes departamentos de Colombia (Huila, Risaralda, Valle, Atlántico y Meta). En este estudio se encontró que las poblaciones de las diferentes regiones variaban genéticamente entre sí, y que era posible comenzar un programa de selección. De esta forma se colectaron individuos de varias regiones del país para el presente estudio.

Origen de las poblaciones y localización del proyecto

Siete poblaciones de tilapia roja, entre las cuales participaron cuatro poblaciones estudiadas por Briñez *et al.* (2011) y tres de otras zonas de Colombia, se obtuvieron y levantaron como reproductores en la estación piscícola del Incofer, ubicada en el corregimiento de Repelón, Atlántico, y que colinda con el embalse del Guájaro en Colombia. Este embalse artificial cuenta con una temperatura promedio de 30°C. El origen de las poblaciones se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1. Origen de las poblaciones de tilapia roja.

Población	Departamento	Altitud msnm
1	Córdoba	0
2	Atlántico	0
3	Llanos Orientales	2000
4	Antioquia	2200
5	Caldas	1500
6	Risaralda	1400
7	Huila	1000

msnm= metros sobre nivel del mar.

Producción de familias

Con el fin de estimar los componentes de varianza y covarianza de los efectos genéticos aditivos para las variables productivas de crecimiento comercial, sobrevivencia, área de mancha y presencia/ausencia de mancha, se realizaron cruces bajo el esquema de agrupamiento de macho entre hembras, es decir que un macho se cruzó con dos o más hembras (Gitterle *et al.* 2005a; Maluwa *et al.* 2006) con el fin de separar los efectos genéticos aditivos de los no aditivos y de los efectos comunes entre animales de la misma familia de hermanos enteros. De esta forma se produjeron 87 familias de hermanos enteros y 31 de hermanos medios por parte del padre. Durante estos cruzamientos se tuvo en cuenta que participaran hembras y machos de las diferentes poblaciones. Se utilizaron animales que no presentaran un área de mancha negra superior al 5% de su área corporal. Por problemas de apareamiento, la población tres participó solo con hembras y la población uno solo con machos.

Mediante observación gonadal, madurez de espermatozoides y huevos por medio de la extrusión abdominal, se escogieron machos y hembras que presentaran

indicios de madurez. Una vez identificados machos y hembras maduros, se ubicaron en tanques de 1 tonelada métrica con recambio constante, a relación sexual 1:1 (1 macho: 1 hembra). Cada pareja se mantuvo junta en el mismo tanque por 10 días; si se encontraban huevos fértiles o larvas en el tanque, el cruce se registraba como positivo; de lo contrario, se observaba de nuevo la madurez gonadal, y de encontrarse inmadura, se cambiaba de pareja. Con el fin de evitar agresión de los machos hacia las hembras se realizó la ablación del labio superior del macho bajo sedación (eugenol al 0,08%) previo a la actividad de cruzamientos (modificado de García *et al.* 2002). Pese a lo anterior, el 8% de las hembras ubicadas durante los cruzamientos presentaron signos de agresión. En total, 318 parejas fueron ubicadas entre el periodo de 141 días, teniendo así un 27% de cruces efectivos.

Larvicultura y marcación

Los huevos fértiles fueron colocados en incubadoras de 1 litro, una incubadora por cada cruce, hasta su eclosión. Después de la absorción de vitelo, 300 larvas por cruce fueron trasladadas a tanques de fibra de vidrio con capacidad operativa de 1 tonelada. Una vez los cruces se finalizaron, se ajustó la densidad a 100 animales por tanque y cruce (100 animales/m³) con el fin de disminuir la densidad en el tanque y alcanzar una talla adecuada para marcación en un menor tiempo. En esta etapa se alimentó 6 veces al día con balanceado extrudizado de 40% de proteína cruda (PC); el recambio de agua fue constante a una tasa del 80% diario.

Una vez los animales alcanzaron un promedio de 20,6 gramos, una muestra de 30 animales de cada cruce se marcaron con un chip electrónico de código

único, el cual permite la identificación del individuo asociando información de él y sus progenitores. Los animales fueron sedados con eugenol al 0,05% durante la marcación. El periodo de marcación se desarrolló entre el 10 y el 22 de febrero de 2011; la mortalidad por esta actividad fue menor al 1%.

Prueba de peso al sexaje y crecimiento comercial

Debido al tiempo de duración de los cruces, y con el fin de no mantener los diferentes cruzamientos en tanques separados por más tiempo, se decidió evaluar el crecimiento de los animales por un periodo de tres meses en dos sub-lotes teniendo en cuenta la fecha del cruce: sub-lote 1: animales de cruces efectivos entre agosto a octubre, y sub-lote 2: animales provenientes de cruces efectivos de noviembre 2010 a enero 2011. Para crear conectividad entre lotes por el pedigrí y poder analizar los dos sub-lotes simultáneamente, se evaluaron simultáneamente 16 familias en los dos sub-lotes. Una vez marcados, los animales se mantuvieron en estanques de tierra por un periodo de 16 días, hasta alcanzar una talla que permitiera la diferenciación del sexo de los animales (32,6 g), y comenzar la fase de crecimiento comercial sembrando por separado hembras y machos para que el crecimiento no se afectara por la precocidad reproductiva de esta especie.

Para la fase de crecimiento comercial, el sub-lote 1 se sembró a una densidad de 3,1 animales/m², y se presentó una sobrevivencia del 85% a esta etapa. El sub-lote 2 se sembró 32 días después de la siembra del sub-lote 1 con 1.387 animales, quedando a una densidad final de 4,4 animales por m², y se obtuvo una sobrevivencia de 87% al final de esta etapa. La mortalidad presentada hasta esta

fase se atribuyó a predación, ya que no se encontraron animales muertos durante las labores de rutina diaria. Se suministró alimento balanceado extrudizado de 34% PC en su primer mes y 24% PC el resto del ciclo; el recambio de agua fue constante al 10% de recambio.

Ochenta y siete (87) días después de la siembra, se trasladó a los animales de los dos sub-lotes a tanques de manejo de forma independiente, bajo sedación con eugenol al 0,05%, y se registró el peso y sexo de cada individuo. Cada uno de ellos fue fotografiado por los dos costados para analizar la presencia/ausencia de mancha (animales sin mancha) y el área de manchado. Después del registro los animales fueron devueltos a estanques de tierra para su recuperación.

Análisis estadísticos

El cálculo de las medias de peso del sub-lote 1 y sub-lote 2, al igual que el de las medias entre machos y hembras se llevaron a cabo mediante un modelo lineal general (GLM), el cual tuvo en cuenta las variables de sub-lote (1, 2) y sexo (macho o hembra) y días como covariable; a las medias se les realizó un análisis de comparación múltiple por Tukey.

Los componentes de varianza para los efectos aleatorios de los caracteres evaluados se estimaron usando un modelo mixto lineal univariado (Madsen y Jensen 2008). En notación matricial, el modelo 1 se escribe como:

$$Y = Xb + Z_1k + Z_2a + e \text{ (Modelo 1).}$$

donde Y es el vector de las observaciones como Crecimiento comercial (gr) o Proporción de manchado (área del pez con mancha/total área del pez), b es un vector de los efectos fijos (sexo, sub-lote), a es un vector de los valores genéticos aditivos

para crecimiento comercial o sobrevivencia o variables de manchado $\sim N(0, A\sigma_a^2)$, k es un vector de los efectos aleatorios de ambientes comunes de hermanos enteros causados por efectos distintos a efectos genéticos aditivos $\sim N(0, L\sigma_k^2)$, e es el vector de los errores residuales aleatorios $\sim N(0, L\sigma_e^2)$. X , Z_1 y Z_2 son matrices conocidas que asocian los valores observados a los niveles de b , k y a , respectivamente. L es una matriz de identidad y A es la matriz de parentesco.

La estimación de los componentes de varianza para los caracteres binarios de escala subyacente: Ausencia de mancha (0 = animales manchados; 1 = animales sin mancha) y sobrevivencia (0 = muertos; 1 = vivos) se realizó bajo un modelo animal de umbral univariado (*probit*), usando un muestreo de Gibbs en el que se incluyeron las mismas variables presentadas en el modelo 1 (sin embargo, para sobrevivencia la variable sexo no fue incluida). Los registros binarios (y_{ij}) se asumieron ser determinados por escala subyacente (λ_{ij}) donde el valor umbral se establece en cero, i.e., $\lambda_{ij} \leq 0$ dado que $y_{ij} = 0$, y $\lambda_{ij} >$ dado que $y_{ij} = 1$ (Lozano *et al.* 2013). En notación matricial el modelo 2 se escribe como:

$$\lambda = Xb + Z_1k + Z_2a + e \text{ (Modelo 2).}$$

donde λ es el vector de los λ_{ij} , siendo X , b , Z_1 , k , Z_2 , a , y L descritas en el modelo 1. La varianza residual (σ_e^2) fue restringida a 1,0, $e \sim (N0, 1)$. El modelo 2 se estimó mediante una versión modificada del muestreo de Gibbs utilizando el programa DMU (Madsen y Jensen 2008); la estimación de los componentes de (co)varianzas genéticas se llevó a cabo teniendo en cuenta el algoritmo publicado por Ødegård *et al.* (2010).

Para los dos modelos, la heredabilidad (h^2) se calculó como:

$$h^2 = \sigma_a^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_k^2 + \sigma_e^2)$$

Los efectos comunes entre hermanos enteros diferentes a los efectos genéticos aditivos se calcularon como:

$$c^2 = \sigma_k^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_k^2 + \sigma_e^2)$$

donde: σ_a^2 es la varianza genética aditiva; σ_k^2 es la varianza genética no aditiva, y σ_e^2 es la varianza del error.

Los valores de cría familiares para crecimiento y sobrevivencia se obtuvieron a partir del modelo (1) como $1/2ad + 1/2as$, donde ad y as son los valores de cría estimados para la hembra y el macho de cada pareja.

Correlaciones genéticas

Para las correlaciones entre los caracteres evaluados, únicamente los animales vivos que aportaron valor para crecimiento comercial se tuvieron en cuenta; de lo contrario la covarianza del error entre caracteres sería definida como cero, no existiendo correlación ambiental entre los individuos. Así que las correlaciones se realizaron entre los valores genéticos de cada familia de hermanos completos para las variables evaluadas.

Se hicieron los análisis descriptivos mediante el programa estadístico SAS[®]. La estimación de las covarianzas genéticas y correlaciones genéticas se realizó con el programa para análisis de modelos mixtos DMU (Madsen y Jensen 2008).

RESULTADOS

El análisis estadístico descriptivo para: peso sexaje, crecimiento comercial, sobrevivencia, área de mancha se resumen en la Tabla 2. El efecto de la duración de los cruces para la realización de las familias influyó en la fase de crecimiento comercial junto con el efecto de sub-lote ($P < 0,05$). Se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el peso de los machos (183,8 g) y el de las hembras (179,2 g). Durante la fase de crecimiento comercial, los animales que perdieron la marquilla se registraron como muertos; la pérdida de marquillas fue menor al 1%. La media para proporción de mancha fue de 1,5% variando entre un rango de 0,30% y 4,51% con respecto al área total del cuerpo. Un total de 562 animales presentaron manchas en su cuerpo, mientras que 1.616 animales no las presentaron (74%). El rango entre las medias familiares para este carácter fue de 0% a 42% con un coeficiente de variación de 8,6%; se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre familias.

Parámetros genéticos

Las variables de crecimiento comercial y sobrevivencia manifestaron heredabilidades de $0,23 \pm 0,02$ y $0,05 \pm 0,03$, respectivamente. Las variables para área de mancha y ausencia de mancha presentaron heredabilidades no significativamente diferentes a cero. Las heredabilidades y

TABLA 2. Medias de peso corporal y porcentaje de sobrevivencia y manchado en las diferentes fases de la cría de tilapia roja

Fase	Tiempo de la fase (días)	Peso final	Crecimiento por fase			Manchado			Sobrevivencia (%)	
			Peso final Sub-lote 1	Peso final Sub-lote 2	Media general (g)	Media Machos (g)	Media Hembras (g)	CV %		Área de mancha (%)
Pasode siembra	20.9	20.9			20.9	22.4	24.5	Área de mancha (%)	Ausencia de mancha (%)	100
Sexaje	16	32.6	35.4 ^A	31.1 ^B	31.1 ^B	12.7 ^a	45			86
Crecimiento comercial	87	214.2	218.5 ^C	212.4 ^D	212.4 ^D	184 ^c	23.6	1.5	74	81

Medias con diferente superíndice presentaron diferencias significativas (P<0.05).

efectos comunes entre hermanos enteros diferentes a los efectos genéticos aditivos (c^2) se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3. Heredabilidad ($h^2 \pm ES$) y efecto común ambiental ($c^2 \pm ES$) para las variables evaluadas en tilapia roja

Variable	$h^2 \pm ES$	$c^2 \pm ES$
Crecimiento comercial	0.23 ± 0.02	0.03 ± 0.09
Sobrevivencia	0.05 ± 0.03	0.03 ± 0.01

ES= Error estándar

El crecimiento en fase comercial indicó una correlación positiva y significativa con sobrevivencia; las variables de área de mancha y ausencia de manchado presentaron correlaciones de bajo impacto, lo cual es de esperarse debido a la heredabilidad manifestada. Las correlaciones genéticas se resumen en la Tabla 4.

TABLA 4. Correlaciones genéticas entre las variables de crecimiento comercial, sobrevivencia, área de manchado y ausencia de mancha en tilapia roja

Variable	Sobrevivencia	Área de manchado	Ausencia de mancha
Crecimiento comercial	0.24*	0.07	-0.03
Sobrevivencia		0.23	0.07
Área de manchado			-0.30

Nivel de significancia: * $P < 0.05$.

DISCUSIÓN

La diferencia de edad producto del tiempo de cruces y el efecto de sub-lote influyeron sobre el crecimiento de los animales durante la fase de crecimiento comercial, lo cual también pudo reducir la heredabilidad. El dimorfismo sexual para peso observado en este estudio durante la fase de crecimiento comercial se documentó en varios trabajos y especies de tilapia roja (Jarimopas

1988), en *O. niloticus* (Eknath *et al.* 1993; Villamizar 1999) y *O. shiranus* (Maluwa y Gjerde, 2006; Maluwa *et al.* 2006). Este fenómeno se debe a la precocidad que presenta la especie en su madurez sexual y reproducción a edades tempranas, lo cual causa un retraso en el crecimiento (Logalong *et al.* 1999). Sin embargo, en este estudio las diferencias de peso entre machos y hembras, de 3% en fase de crecimiento comercial, fueron menores que en otros estudios. Bentsen *et al.* (1998) reportaron pesos promedios en ocho ambientes para *O. niloticus* de 53 g para machos, mientras que las hembras tenían 34,6 g. Ponzoni *et al.* (2005) señalan medias ajustadas para peso de 228 g para hembras y 272 g para machos en estanques de tierra. Maluwa *et al.* (2006) reportan para *O. shiranus* un peso a marcación (entre los días 76 y 131) de 6,1 g para machos y 5,8 g para hembras sin diferencias significativas; no obstante, a peso de cosecha se presentaron diferencias significativas, siendo los machos un 24% más pesados.

En el presente estudio las estimaciones de heredabilidad para crecimiento comercial ($0,23 \pm 0,02$) se encontraron dentro del rango reportado por otros autores para peso de cosecha (0,10 – 0,40) en tilapia roja, *O. niloticus* y *O. shiranus* (Bolívar y Newkirk, 2002; Jarimopas 1988; Eknath *et al.* 2007; Maluwa *et al.* 2006; Ponzoni *et al.* 2005). La heredabilidad para sobrevivencia fue baja pero significativa, lo cual es de esperarse para este tipo de carácter (Falconer y Mackay 1996). Gitterle *et al.* (2005b) reportaron heredabilidades entre 0,04 y 0,11 para sobrevivencia en *Penaeus vannamei*. Aunque la tilapia roja no es una especie como tal sino un híbrido proveniente del cruce de diferentes especies como la *O. niloticus* y *O. mossambicus*, los efectos genéticos aditivos obtenidos

son de gran relevancia e indican que es posible mejorar estas dos características simultáneamente en esta población.

El efecto común entre hermanos enteros diferentes a los efectos genéticos aditivos (c^2) para la variable de crecimiento comercial fue de $(0,03 \pm 0,09)$. Según Maluwa *et al.* (2006), la mayoría de estudios en tilapia han reportado magnitudes significantes de los efectos comunes entre hermanos enteros por tener un periodo de cría similar. Esto corresponden a la necesidad de marcar animales con el fin de crear un pedigrí (Ponzoni *et al.* 2005), por lo cual los individuos de cada familia deben estar confinados en tanques mientras se puedan marcar, y esto hace que existan diferencias no genéticas entre diferentes familias. Otros trabajos en *O. niloticus* reportan para peso a cosecha un c^2 entre un rango de 0,02 a 0,16 (Eknath *et al.* 2007; Rutten *et al.* 2005; Maluwa *et al.* 2006). El efecto común ambiental puede ser más alto en los trabajos reportados debido a que las evaluaciones para alcanzar estas estimaciones se realizaron en diferentes ambientes y durante diferentes generaciones. Karisa *et al.* (2006) registran un c^2 de 0,14, 0,26 y 0,36 en un trabajo diseñado para evaluar efectos genéticos y ambientales que afectan el crecimiento a juvenil, reportando que el efecto de la madre (tamaño del huevo e incubación) y las hapas de cría pueden afectar las estimaciones genéticas, según Rutten *et al.* (2005); aunque estos efectos tienden a disminuir con el tiempo, pueden continuar incluso cuando el animal alcanza edad adulta. Los valores del efecto común ambiental en este estudio pueden estar subestimados y confundirse con los efectos aditivos, ya que no se cuenta con un pedigrí extenso y no todos los machos tuvieron familias de hermanos medios efectivos.

Maluwa *et al.* (2006) reportaron que la correlación de peso a marcación y peso de cosecha fue de 0,38. Gjerde *et al.* (1994) en el salmón Atlántico mostraron correlaciones a diferentes edades durante el crecimiento de esta especie por un periodo de 2 años, e indican que estas en general son altas, pero disminuyen a medida que transcurre el tiempo y se incrementa el peso. En este estudio se encontró una correlación positiva y significativa entre sobrevivencia y crecimiento comercial ($P < 0,05$), bastante alentador para fines de selección a crecimiento sin perjudicar sobrevivencia. Karisa *et al.* (2006) informaron que en *O. niloticus* las generaciones F2 y F3, al ser comparadas con los grupos control, mostraron una respuesta favorable para peso de cosecha y sobrevivencia, cuando solo se realizó selección para el carácter de peso de cosecha.

Los trabajos de Tave (1998) y Mather *et al.* (2001) sugirieron que la presencia de manchas se puede controlar si se modifica la frecuencia de los genes que regulan este carácter; por otro lado, Mather *et al.* (2001) y Garduño *et al.* (2004), con selección masal, lograron reducir la presencia de manchas en tres y cuatro generaciones, respectivamente. Garduño *et al.* (2004) mostraron que en reproductores seleccionados para ausencia de mancha sus progenies presentaron manchas, lo cual sugiere que el gen que controla la expresión de la melanina causante de las manchas se encuentra enmascarado en individuos salvajes. En el presente trabajo los caracteres de área y ausencia de mancha presentaron heredabilidades cercanas a cero; esto indica que los efectos genéticos aditivos para estos caracteres son muy bajos, y podría sugerir que la expresión de melanina causante del manchado podría estar dada por variaciones ambientales o bajo

control de dominancia, sobredominancia o efectos epistáticos. Otra razón de la baja heredabilidad es que las poblaciones de tilapias rojas en Colombia se seleccionaron en su mayoría para eliminar manchas, lo cual resultó en una variación fenotípica baja en las poblaciones estudiadas. Por esta razón, el resultado de este estudio debe interpretarse con cuidado, ya que es posible que se esté subestimando la heredabilidad para estas características en las tilapias rojas, por las particularidades propias de esta población.

Las variables de manchado no presentaron correlaciones con crecimiento comercial y sobrevivencia. Mather *et al.* (2001) reportan que la selección masal para ausencia de mancha no influyó en el crecimiento de los animales.

CONCLUSIONES

Así como en otros trabajos realizados en diferentes especies de tilapia, la tilapia roja presentó una atractiva proporción de varianza aditiva con respecto al total de la variación para crecimiento comercial. La correlación positiva entre sobrevivencia y crecimiento comercial indica que se pueden llevar a cabo trabajos de selección para crecimiento comercial sin que este afecte la sobrevivencia; por el contrario, la selección a peso en la fase de crecimiento comercial ayudaría a mejorar el carácter de sobrevivencia, en tanto las variables de área de mancha y ausencia de mancha presentaron heredabilidades cercanas a cero, lo cual sugiere que la expresión de estos caracteres es dada por efectos diferentes a los efectos genéticos aditivos. Nuevos estudios se deben realizar para evaluar los parámetros genéticos de este carácter en poblaciones donde la selección para ausencia de mancha haya sido menor, o,

a manera de estudio, cruzar estas poblaciones con peces de la especie *O. niloticus* para aumentar la proporción de manchas e incrementar la varianza fenotípica.

Debido a que en Colombia existe gran cantidad de climas y zonas donde se cultiva la tilapia, es importante estimar en el futuro la interacción genotipo - ambiente, y evaluar si la heredabilidad en diferentes ambientes y manejos cambia al igual que la expresión genética de los individuos. En otras especies acuáticas se han realizado reportes de interacción genotipo - ambiente importantes y significativos. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este trabajo y aquellos alcanzados en diferentes trabajos reportados, la selección artificial es una excelente herramienta para mejorar caracteres de peso y sobrevivencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración y coordinación de María del Pilar Dorado, Andrés Suárez y Jaime Faillace.

El presente estudio fue cofinanciado por Colciencias y el convenio Ceniagua-Incoder dentro del proyecto de innovación: Pautas técnicas para un programa de selección de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en Colombia.

REFERENCIAS

1. Bentsen HB, Eknath AE, Palada-de Vera MS, Reyes RA, Dionisio EE, Longalong FM, Circa AV, Tayamen MM, Gjerde B. 1998. Genetic improvement of farmed tilapia: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 160: 145-173.
2. Bolívar RB, Newkirk GF. 2002. Response to within-family selection for body weight in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a single-trait animal model. *Aquaculture* 204: 371-381.

3. Briñez B, Caraballo X, Salazar M. 2011. Diversidad genética en seis poblaciones de tilapia roja, usando microsatélites como marcadores genéticos. MVZ Córdoba. 16: 2491-2498.
4. Eknath AE, Tayamen MM, Palada-de Vera MS, Danting JC, Reyes RA, Dionisio ED, Capili JB, Bolivar TA, Circa AV. 1993. Genetic improvement of farmed tilapia: the grow performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. Aquaculture 111: 279-280.
5. Eknath AE, Reyes RA, Bolivar HL, de Vera MP, Danting JC, Dionisio ED, Longalong FM. 1995. Genetic improvement of farmed tilapia: estimation of genetic variation and heritability for age and size at first spawning in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 137: 279-280.
6. Eknath AE, Bentsen H, Ponzoni R, Rye M, Nguyen NH, Thodesen J, Gjerde B. 2007. Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. Aquaculture 273: 1-14.
7. Espinal CF, Martínez HJ, Gonzales FA. 2005. Cadena de la piscicultura en Colombia. Observatorio Agrocadenas Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento de trabajo nro. 106. [Internet]. <http://www.agrocadenas.gov.co>
8. Falconer DS, Mackay TFC. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th edition. Prentice Hall, Longman Group Limited.
9. FAO. 2010. State of world aquaculture: Inland Water Resources and Aquaculture Service Fishery Resources Division FAO. Fisheries-Technical Paper. 218 p.
10. García A, Gandara F, Raja T. 2002. Utilización del aceite de clavo, *Syzygium aromaticum* L. (Merr. & Perry), como anestésico eficaz y económico para labores rutinarias de manipulación de peces marinos cultivados. Boletín. Instituto Español de Oceanografía. 18: 21-23.
11. Garduño M, Muñoz G, Olvera M. 2004. Mass selection for red colour in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Aquaculture research 35: 340-344.
12. Gitterle T, Rye M, Salte R, Cock J, Johansen H, Lozano C, Suárez J, Gjerde B. 2005a. Genetic (co)variation in harvest body weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions. Aquaculture 243: 83-92.
13. Gitterle T, Salte R, Gjerde B, Cock J, Johansen H, Salazar M, Lozano C, Gjerde B, Rye M. 2005b. Genetic (co)variation in resistance to White Spot Syndrome virus (WSSV) and harvest weight in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. Aquaculture 246: 139-149.
14. Gjerde B. 2005. Design of breeding programs. En: Gjedrem T, editor. Selection and breeding programs in Aquaculture. Springer. 364 p.
15. Gjerde B, Simianer H, Refstie T. 1994. Estimates of genetic and phenotypic parameters of body weight, growth rate and sexual maturity in Atlantic salmon. Livestod Prod Sci. 38: 133-143.
16. Jarimopas P. 1988. Realized Response of Thai red Tilapia to Weight – Specific Selection for Growth (3rd – 5th generations). Technical paper submitted to the international development research. Centre, on fish genetics (Thailand) project (phase 2). National Inland Fisheries Institute. Department of Fisheries Bangkok, Thailand.
17. Karisa HC, Komen H, Rezk M, Ponzoni R, Van Arendonk J, Bovenhuis H. 2006. Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds. Aquaculture 261: 479-486.
18. Logalong FM, Eknath AE, Bentsen HB. 1999. Response to bidirectional selection for frequency of early maturing females in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 178: 13-25.
19. Lozano CA, Gjerdre B, Odengard J, Bentsen H. 2013. Heritability estimates for male proportion in the GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture : 372-375, 137-148.
20. Madsen P, Jensen J. 2008. A User's Guide to DMU. A Package For Analyzing Multivariate Mixed Models. Version 6, Release 4.7. University of Aarhus, Faculty Agricultural Sciences (DJF), Dept of Genetics and Biotechnology, Research Centre Foulum, Denmark.

21. Maluwa AO, Gjerde B. 2006. Response to selection for harvest body weight of *Oreochromis shiranus*. *Aquaculture* 273: 33-41.
22. Maluwa AO, Gjerde B, Ponzoni R. 2006. Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight of *Oreochromis shiranus*. *Aquaculture* 259: 47-55.
23. Mather PB, Lal SN, Wilson J. 2001. Experimental evaluation of mass selection to improve red body colour in Fijian hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture Research* 32: 329-336.
24. Morales VV, Morales R. 2005. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. 1. América Latina y el Caribe. Regional review on aquaculture development. 1. Latin America and the Caribbean. FAO Circular de Pesca/FAO Fisheries Circular. No. 1017/1. Roma/Rome, FAO. 2006. 177 p.
25. Ødegård J, Meuwissen THE, Heringstad B, Madsen P. 2010. A simple algorithm to estimate genetic variance in an animal threshold model using Bayesian inference. *Genetics Selection Evolution* 4(29): 1-7.
26. Ponzoni R, Hamzah T, Tan S, Kamaruzzaman N. 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 247: 203-210.
27. Ruales FR, Manrique C, Cerón M. 2007. Fundamentos en mejora genética animal. Medellín, Colombia: L. Vieco e Hijos Ltda. 146 p.
28. Rutten MJM. 2005. Breedin for improve production of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [Doctoral tesis]. [Wageningen, Netherlands]. Wageningen Institute of Animal Sciences. Wageningen University.
29. Tave D. (1988) Genetics and breeding of Tilapia: a review. En: Pullin RSV, Bhukaswan T, Tonguthai, Mclean JL, editors. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings. 15: p285-293.
30. Villamizar N. 1999. Análisis productivo en cruzamiento triple y retrocruzamiento de tilapia roja. [Tesis de grado]. [Bogotá. Colombia]. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.
31. Usgame D, Usgame G, Valverde C. 2007. Agenda productiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la tilapia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Giro editores Ltda. 143 p.
32. Usgame D, Usgame G, Valverde C. 2008. Agenda productiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la tilapia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Proyecto Estudio de prospectiva tecnológica de la cadena colombiana de la tilapia.