

Estudio comparativo entre peso vivo y dimorfismo sexual en seis generaciones de tilapia nilótica GIFT

Comparative study between live weight and sexual dimorphism in six generations of Nile tilapia GIFT


Daylen Virgen Barrueta-López¹  | Teresa de Jesus Damas-Pérez¹ 

¹ Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA)-Cuba.

Autor de correspondencia. Daylen Barrueta-López. Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA)-Cuba. Email: daylenbarrueta@mail.com.

Como citar: Barrueta-López DV, Damas Pérez TJ, (2024) Estudio comparativo entre peso vivo y dimorfismo sexual en seis generaciones de tilapia nilótica GIFT. Tropical Aquaculture 2 (2): e5732. DOI 10.19136/ta.a2n2.5732

Artículo recibido: 8 de junio de 2024
Artículo aceptado: 19 de noviembre de 2024

Licencia creative commons: This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License 

Resumen

La presente investigación enfocó los resultados obtenidos a evaluar por medio de un análisis comparativo el rasgo peso vivo y sexo en base al número de generaciones. Fueron obtenidas en su totalidad 86 grupos de familias de tilapia nilótica GIFT en seis generaciones de programa de mejoramiento genético en Cuba. Se observó cómo al pasar de una generación a la siguiente aumentaba el peso vivo promedio de los peces. Los mejores resultados fueron encontrados a nivel de las generaciones cinco y seis con valores superiores a los 500 g (514 g y 612 g, respectivamente). Fue realizado un análisis de regresión, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) del 60,9 %, demostrando que los efectos generación y sexo explican aproximadamente el 61 % de la variabilidad fenotípica mostrada por el rasgo peso vivo. A su vez se evidenció la superioridad de los machos desde el inicio del programa de mejora genética con pesos promedios de 776 g en los machos y 470 g en las hembras. Se pudo concluir como resultado principal un incremento significativo del peso vivo en la tilapia nilótica GIFT con el avance del programa selectivo aplicado para ambos sexos, mostrando superioridad para los machos.

Palabras claves: dimorfismo sexual, grupo de familia, *Oreochromis niloticus*, variabilidad fenotípica.

Abstract

The present investigation focused on the results obtained to evaluate the traits of live weight and sex through comparative analysis based on the number of generations. A total of 86 groups of GIFT Nile tilapia families were obtained along six generations of the genetic improvement program in Cuba. It was observed how the average live weight of the fish increased when passing from one generation to the next. The best results were found in generations five and six with values greater than 500 g (514 g and 612 g, respectively). A regression analysis was performed, obtaining a coefficient of determination (R^2) of 60.9 %, demonstrating that the generation and sex effects explain approximately 61 % of the phenotypic variability shown by the live weight trait. At the same time, the superiority of the males was evident since the beginning of the genetic improvement program, with an average weight of 776 g in the males and 470 g in the females. The main result was a significant increase in live weight in GIFT Nile tilapia with the advance of the selective program applied to both sexes, showing superiority for males.

Keywords: sexual dimorphism, family group, *Oreochromis niloticus*, phenotypic variability.

Introducción

La acuicultura es definida como la actividad dedicada al cultivo de peces bajo manejo e implementación de buenas prácticas como lo son el desarrollo genético, alimentación, reproducción y sanidad de las especies (Pulgarín 2012). La Acuicultura cubana tuvo sus primeros inicios durante la década de los sesenta con la fundación del Centro de Recría Ictiológica y repoblación fluvial, actualmente llamada Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (FAO 2010). A su vez durante este periodo también fueron introducidas disímiles especies foráneas con el objetivo de repoblar los numerosos embalses, presas, micropresas y estaciones del país, pues las especies endémicas no cumplían con los requisitos necesarios para su cultivo (FAO 2017).

El grupo de tilapias y carpas representaron las principales especies importadas, con mayor énfasis en el cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758), debido a sus disímiles características (Damas *et al.*, 2015). Entre ellas se destacan: alta capacidad de adaptación y rápido crecimiento en diferentes condiciones de cultivo, rusticidad, resistencia a enfermedades, buena conversión alimentaria, carne de calidad y puede ser manipulada genéticamente. A su vez representa una de las principales especies acuícolas con mayor importancia económica y social, convirtiéndose en la segunda más cultivada a nivel mundial (Dos Santos 2009, FAO 2011).

La especie ha sido sometida a diferentes procedimientos genéticos, enfocados a herramientas biotecnológicas modernas de transgénesis y androgénesis, cuya aplicación han producido cambios estructurales en el material genético disponible para ser usados

comercialmente (Flor 2013). Un ejemplo consiste en la obtención por parte de WorldFish Center y sus socios de una cepa mejorada llamada tilapia nilótica GIFT (WorldFish Center 2004). La misma fue originada con el objetivo de aumentar la producción acuícola mediante la selección genética de rasgos favorables o deseables (Ponzoni *et al.*, 2011).

Entre los principales rasgos deseables se destacan el peso vivo, largo total, altura de la cabeza, resistencia a enfermedades, características reproductivas, etc. El peso vivo o también conocido como tasa de crecimiento, representa el criterio de selección más empleado en los diferentes programas de mejoramiento genético, pues el objetivo de estos programas es aumentar en el tiempo la tasa de crecimiento de los individuos (Lopes de Oliveira *et al.*, 2015).

Otro de los aspectos a tener en cuenta en la presente investigación es lo referente al dimorfismo sexual de la especie. El mismo consiste en las diferencias físicas, anatómicas y comportamentales que existen entre los individuos de diferentes sexos en una especie. Estas diferencias pueden ser evidentes en aspectos como el tamaño, la forma del cuerpo, la coloración, la estructura ósea y los rasgos sexuales secundarios. Durante la etapa reproductiva de la tilapia las hembras desvían gran parte de sus reservas corporales al cuidado de los huevos y posteriormente larvas. Durante este periodo no consumen ningún tipo de alimento al ser incubadoras bucales. Sin embargo, el macho durante esta etapa continúa alimentándose y aumentando por consiguiente su ganancia en peso diaria (Gonçalves *et al.*, 2007).

Por tanto, la selección genética en tilapia ha avanzado considerablemente con varios estudios que han evaluado la heredabilidad y variabilidad genética de los criterios antes mencionados, teniendo en cuenta aspectos como el sexo de los peces (Gjedrem 2012). Es así que se plantea como objetivo de la presente investigación, evaluar el peso vivo y dimorfismo sexual en seis generaciones de tilapia nilótica GIFT obtenidas por medio de la metodología de selección masal durante el programa de mejoramiento genético de la tilapia en Cuba..

Materiales y métodos

El presente estudio fue realizado en la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA), específicamente en la Unidad de Desarrollo e Innovación (UDI) El Dique. Los datos analizados fueron tomados de seis generaciones del programa de mejoramiento genético de la tilapia nilótica GIFT en Cuba. Todos los procedimientos de manipulación de animales estuvieron de acuerdo con las normas éticas y estándares, aprobados por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, así como el Ministerio de la Industria Pesquera.

Formación de los grupos de familias a lo largo de seis generaciones

El programa obtuvo en su totalidad durante seis generaciones un total de 86 grupos de familias. La población base importada estuvo constituida por 13 grupos de familias, procedentes de Brasil (10), Vietnam (2) y Tailandia (1). A partir del apareamiento interfamiliar y selección de la población base se obtuvo una primera generación formada por 12 grupos de familias. La segunda y tercera generación también estuvieron constituidas por

12 grupos de familias. Sin embargo, a partir de la cuarta generación fue necesario incluir en el programa nuevas variedades de tilapia con el objetivo de refrescar el banco de reproductores, incluyendo la Chitralada e Inglaterra. En la quinta generación se incorporó otro grupo de familia de tilapia Chitralada procedente de la ciudad de Pinar del Río, Cuba (Fig. 1).

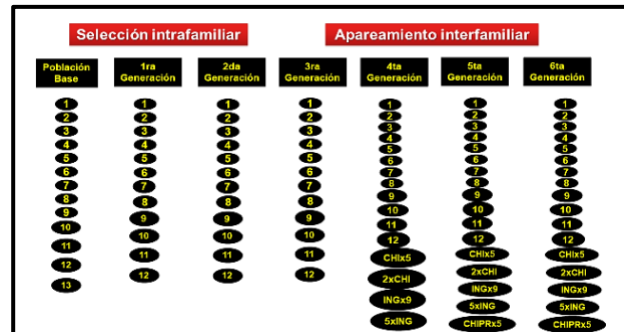


Figura 1. Formación de los grupos de familias del núcleo élite de tilapia nilótica GIFT en seis generaciones.

Proceso de formación del grupo elite de reproductores por generación

El crecimiento, selección y reproducción de los peces se realizó en estanques de concreto, nueve circulares de 128 m² y siete rectangulares de 140 m² durante el periodo reproductivo de la tilapia en Cuba (abril-octubre). El método de selección empleado fue el masal multietapa, descrito por el WorldFish Center (2004) (Fig. 2).

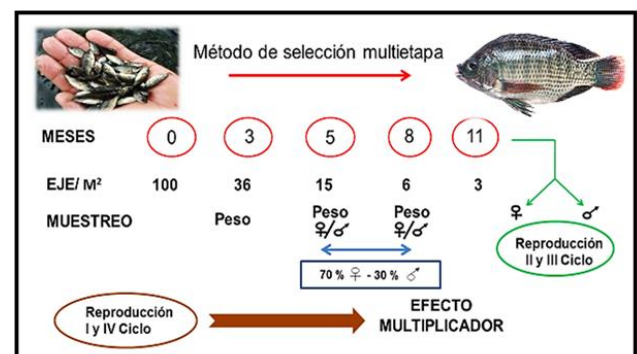


Figura 2. Proceso de formación del núcleo élite de reproductores por generación.

Todo el periodo de crecimiento y selección de los individuos tuvo una duración total de 11 meses de cultivo, aplicando cuatro cortes selectivos y seleccionando los peces a partir de la metodología de selección masal antes mencionada. En cada corte selectivo fue utilizada una balanza monoplato de reloj para establecer la medición del peso vivo en los individuos.

En el mes cero inició dicho crecimiento de los grupos de familias con un total de 14 000 alevines de dos g de peso vivo (100 alevines/m²). Al tercer mes se aplicó el primer corte selectivo, seleccionando los animales con mayor peso vivo, eligiendo 5040 alevines (36 ejemplares/m²). En el segundo y tercer corte, correspondiente al quinto y octavo mes, además de seleccionar en base al rasgo peso vivo se tuvo en cuenta el sexo de los animales. Fue seleccionado el 70 % de hembras y 30% de los machos con mayor peso. Esta proporción fue establecida debido a la tasa sexual empleada que fue de dos hembras por un macho (2H:1M), para un total de 2 100 ejemplares (1 470 hembras y 630 machos) al segundo corte selectivo. Para el octavo mes se seleccionaron 840 ejemplares (558 hembras y 252 machos).

A los 11 meses de cultivo se realizó el cuarto y último corte selectivo, seleccionando 3 ejemplares/m², representado por 420 reproductores (294 hembras y 126 machos), constituyendo el núcleo “Élite” de reproductores en cada generación. Los grupos de familias obtenidas fueron mantenidos separados para evitar el apareamiento y por consiguiente evitar la consanguinidad entre ellos. La alimentación de los reproductores fue en base a concentrado peletizado al 24% de proteína bruta, ofertándolo dos veces al día para un mayor aprovechamiento.

La etapa de reproducción inició cada año durante el periodo de abril a octubre, estableciendo cuatro ciclos reproductivos. La descendencia obtenida del segundo y tercer ciclo fue destinado al proceso de formación del núcleo elite de reproductores por generación mencionado anteriormente. Ahora, la descendencia del primer y cuarto ciclo estuvo destinado al llamado efecto multiplicador. El mismo consiste en la entrega de alevines mejorados de tilapia nilótica GIFT a las diferentes estaciones de cultivo del país, con el objetivo de establecer el crecimiento de los individuos hasta alcanzar el peso de reproducción e iniciar su etapa reproductiva.

Al obtener la descendencia descrita anteriormente del segundo y tercer ciclo reproductivo, se dio inicio al proceso de formación del núcleo elite de reproductores nuevamente. Todo este proceso tiene la característica de ser cíclico.

Análisis estadístico

A partir del software R Studio (versión 4.1.3) se llevaron a cabo los diferentes análisis estadísticos de la investigación. Primeramente, se realizó una estadística descriptiva del peso vivo obtenido para cada generación con el objetivo de evaluar el comportamiento fenotípico de este indicador. Posteriormente se realizó un ANOVA para evaluar las diferencias en el peso vivo entre las diferentes generaciones de tilapia nilótica GIFT. Seguido de un test de Tukey para comparaciones múltiples entre las medias de las generaciones, el sexo y sus interacciones. Adicionalmente se evaluó el comportamiento del peso vivo por sexo y generación para determinar la existencia del dimorfismo sexual a través de una estadística descriptiva. Se consideró un nivel de

significancia de $\alpha = 0.05$ para todos los análisis estadísticos.

También se realizó un análisis a partir del modelo mixto lineal, ajustando el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) para determinar los efectos aleatorios y fijos, en este caso la variabilidad entre las generaciones, el sexo y su interacción a partir del peso vivo. La fórmula del modelo empleado es:

$$PV \sim G \times \text{Sexo} + (1|G)$$

Donde: PV= peso vivo; G= Generación.

Resultados

El peso vivo promedio de los animales fue en aumento con el avance del programa selectivo desde la primera generación (206.46 g) hasta la sexta (612.90 g). Los mejores resultados se obtuvieron en las generaciones cinco y seis, superando los 500 g de peso vivo a los 11 meses de cultivo. Estos resultados sugieren una selección genética efectiva para el rasgo peso vivo.

Los valores obtenidos demuestran un incremento en peso a lo largo de las generaciones, desde 112.69 g en la primera generación hasta 207.90 g en la sexta (Tabla 1). Esto indica que, la variabilidad del rasgo peso junto con la dispersión ha ido en aumento al pasar de una generación a la siguiente.

Se muestra a su vez una disminución significativa del coeficiente de variación (CV) desde la primera (54.58 %) hasta la quinta generación (21.53 %). Esto se debe a la mejora en la uniformidad del peso vivo a lo largo de estas generaciones. Sin embargo, a nivel de la sexta generación se produce un aumento causado por la llamada presión de selección,

causada al seleccionar los individuos con mayores características fenotípicas al pasar de una generación a la siguiente. Esto puede ser corregido al establecer nuevas estrategias de selección para mantener la dicha uniformidad en las poblaciones.

Tabla 1. Estadística descriptiva del peso vivo (gramos) por generación en tilapia nilótica GIFT.

Generación	Media (gramos)	DE (gramos)	CV (%)
1	206.46	112.69	54.58
2	361.36	129.26	35.77
3	416.59	164.69	39.53
4	472.36	187.94	39.79
5	513.52	110.58	21.53
6	612.90	207.90	33.92

Los datos referentes al peso vivo y números de generaciones muestran un aumento significativo del peso vivo al pasar de una generación a la siguiente (Fig. 3).

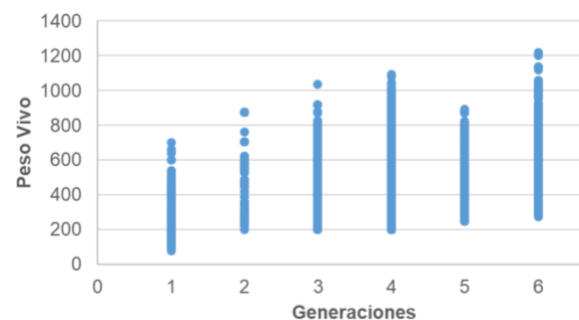


Figura 3. Valores de peso vivo en las generaciones obtenidas a partir del peso vivo.

El análisis de varianza, (ANOVA) indica diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.001$) en el peso vivo: la generación, el sexo y la interacción entre ambos (Tabla 2). Todos los valores de F son altos, sugiriendo que el factor generación influye significativamente en el rasgo peso vivo. Para el sexo se mostró un efecto superior con relación al peso vivo en comparación al resto de los parámetros. Por último, la interacción entre generación y sexo indicó que su efecto

varía dependiendo del sexo significativamente en los individuos.

El coeficiente de determinación (R^2) fue 60,9 %, por lo que los factores generación y sexo explican aproximadamente el 61 % de la variabilidad fenotípica mostrada por el rasgo peso vivo.

El dimorfismo sexual en los individuos representó otro de los temas importantes a tratar en el presente estudio. A partir de los datos obtenidos del peso vivo durante las seis generaciones se evaluó el comportamiento del sexo de cada individuo (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de varianza para el peso vivo (gramos), sexo, generación y la interacción entre ambas en seis generaciones de tilapia nilótica GIFT.

Indicador	GL	SQ	QM	F	p
Generación	5	44526597	8604982	613,51	<0.001
Sexo	1	48759777	2747986 ₂	1959,2 ₂	<0.001
G*S	5	8596305	1719261	122,58	<0.001
Residual	4647	65178446	14026		
Total	4658	167061126			

Tabla 3. Estadística descriptiva del peso vivo (g) atendiendo al sexo y número de generaciones de tilapia nilótica GIFT.

Generación	Sexo	Media (gramos)	DE (gramos)	CV (%)
1	M	232.62	126.2	54.26
	H	171.1	78.74	46.02
2	M	396.7	139.59	35.19
	H	317.36	98.92	31.18
3	M	541.1	139.72	25.82
	H	307.4	90.81	29.55
4	M	601.2	144.27	23.99
	H	316.8	92.49	29.2
5	M	553.54	99.4	17.96
	H	426.9	79.9	18.72
6	M	775.92	167.9	21.64
	H	469.3	111.47	23.75

En todas las generaciones se manifestó un aumento significativo del peso vivo para ambos sexos, con mayor notoriedad en los machos, obteniéndose en la sexta generación pesos promedios de 776 g y 470 g para machos

y hembras, respectivamente. A su vez se mostró una diferencia entre sexos en la primera generación de 61.5 g a favor de los machos. Para la última generación la diferencia fue a favor también de los machos con un valor de 306.6 g.

Al analizar el coeficiente de variación (CV) se evidenció un mayor impacto de la llamada presión de selección durante el proceso selectivo en los machos. Sus valores oscilaron entre 54.26 % y 21.64 % y en las hembras de 46.02-23.75 %. Esto demostró que a pesar de un incremento del peso promedio, se presentó una disminución del estadígrafo, indicando que la dispersión relativa del peso está reduciéndose con el tiempo (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros genéticos para la característica peso vivo en seis generaciones de tilapia nilótica GIFT.

Parámetro	σ^2_a	σ^2_e	σ^2_p	h ²
Peso Vivo	2871	16302	19173	0.15

Se observa un claro dimorfismo sexual en los individuos a partir del rasgo evaluado durante las seis generaciones de tilapia nilótica GIFT (Fig. 4). Al analizar los resultados del modelo lineal mixto se obtuvieron las varianzas aditivas, residual y fenotípica, permitiendo posteriormente calcular la heredabilidad total del programa de mejora genética. La heredabilidad obtenida fue de 0.15, clasificándose de baja. Esto sugiere que la característica estudiada es influenciada más significativamente por factores ambientales o de otra índole que por factores genéticos. A su vez también este valor bajo está dado por el tipo de metodología de selección empleada en el programa, que fue la masal, donde no existe un control individual de los individuos al no estar identificados con chips internos.

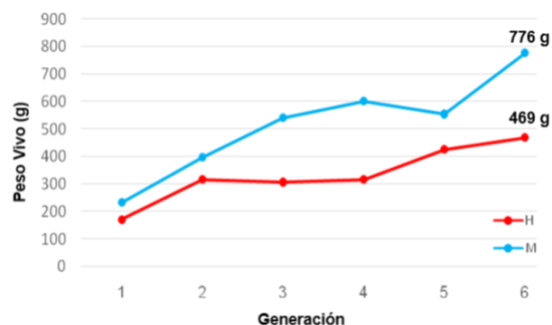


Figura 4. Tendencia de cambio de los valores de peso vivo (g) de tilapia nilótica GIFT en ambos sexos por generaciones durante un programa de mejora genética.

Discusión

El proceso de selección masal del carácter peso de cada grupo familiar y el cruce rotativo, permiten obtener una variabilidad y mejora gradual de los caracteres cuantitativos de la media del peso de la población (Ponzoni *et al.*, 2011, Portales *et al.*, 2013, Damas y Berovides 2017).

Rutten *et al.* (2005) lograron en la tilapia nilótica GIFT un peso corporal promedio de cosecha entre 286 a 403.6 g, datos que coinciden con los obtenidos en el presente estudio en la generación dos y tres. A su vez, Dos Santos *et al.* (2011) alcanzaron un peso final promedio de 325.81 g, con una desviación estándar de 131.82 g, coincidiendo con la generación dos de este estudio.

El programa de mejora genética implementado permitió obtener una reducción en el coeficiente de variación del peso, en ambos sexos, a medida que avanzó el número de generación sometida a la selección. Al respecto, Charo-Karisa *et al.* (2006) observaron que los coeficientes de variación aumentan por efecto del medio ambiente, entre sexos, por generaciones y densidades de siembra, entre otros factores.

Al comparar la especie con otras de interés comercial, Neumann *et al.* (2009) evidenciaron la superioridad en peso a favor de la tilapia nilótica GIFT en comparación con el híbrido de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*). Similares hallazgos fueron encontrados por García *et al.* (2015), quienes obtuvieron un peso final de 338.28 g en el caso de la tilapia nilótica GIFT y un máximo de 193.87 g en la tilapia San Pedro con un coeficiente de variación de 20.52 %. Los resultados permiten afirmar que la especie cultivada debe ser genéticamente mejorada, para asegurar un crecimiento exitoso y rentabilidad de la acuicultura (Ponzoni *et al.*, 2011).

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido en el análisis de varianza efectuado en el estudio, fue moderado (0.61). Valores superiores fueron encontrados por Souza de Castro *et al.* (2015) quienes obtuvieron regresiones lineales significativas, con coeficientes de determinación que van desde 0.77 a 0.86 (77.43-86.28 %), aunque encontraron también efectos significativos en cuanto a la generación, el sexo, así como la interacción entre ellos.

Portales *et al.* (2013) infieren que diversos factores pueden influir en el peso de los peces a una edad determinada, pero uno de los indicadores que permiten establecer el porqué de estas diferencias entre sexo y generaciones es la tasa de crecimiento (g/día). En la misma, pueden influir las condiciones climáticas, la alimentación, la densidad de siembra y el manejo del estanque.

En el gráfico 2 se evidenció la superioridad de los machos desde el inicio del programa de mejor, con pesos máximos de 776 g mientras las hembras alcanzaron 470 g, diferencia entre sexos que se hace más marcada con el

transcurso de las generaciones. Nogueira de Oliveira *et al.* (2019) alcanzaron pesos superiores a la presente investigación, pero también constataron un marcado dimorfismo sexual y los machos presentaron pesos más altos que las hembras, 1551 g y 761 g, respectivamente.

Rutten *et al.* (2005) encontraron evidencias similares en tilapia nilótica, pues los machos tenían mayor peso, lo cual complica la homogeneidad de las poblaciones cuando los peces de ambos sexos permanecen mezclados. Al respecto, Kuanhong (2011) planteó que las hembras tienen reproducción temprana y son incubadoras bucales, por lo que durante el cuidado parental no consumen alimento, mantienen sus funciones vitales y metabolismo a partir de sus reservas, sucesos que no acontecen en los machos que mantienen un aprovechamiento continuo del alimento suministrado. Este comportamiento fisiológico de la reproducción no es casual sino sistemático en peces tropicales donde su reproducción se mantiene desde abril hasta octubre, con una periodicidad de 45 días entre ciclos reproductivos.

Ries Neto *et al.* (2014) observaron a su vez que los machos pueden responder a la selección del peso corporal más rápido que las hembras, debido a sus características morfométricas. Estudios recientes realizados por Corrêa *et al.* (2018) afirmaron que, en las hembras, la longitud de la cabeza está relacionada con el comportamiento reproductivo, pues incuban huevos y albergan larvas recién nacidas en la boca. Teóricamente, una cabeza de mayor longitud tendría una cavidad bucal más grande, permitiendo así una mayor tasa de

supervivencia de la progenie; esto también implicaría un menor rendimiento en canal.

El tema del dimorfismo sexual se abordó en la especie por varios autores, atribuyendo estas diferencias en peso a factores tales como: el comportamiento, las interacciones sociales (Toguyeni *et al.*, 2002), los factores genéticos (Fryer 1972) y el período de inanición en las hembras por su carácter de incubadoras bucales (Huet 1972). Entre las causas del dimorfismo sexual de la tilapia del Nilo se encuentran:(a) las familias, algunas responden mejor que otras en términos de respuesta al diferencial de selección por sexo y (b) la efectividad de una selección, por cuanto la estimación de parámetros genéticos en una población, tales como: heredabilidad y correlación genética, pueden cambiar de forma relevante en el tiempo (Ponzoni *et al.*, 2005, Vehviläinen *et al.*, 2008).

Conclusiones

Se mostró un incremento del peso vivo en la tilapia nilótica GIFT con el avance del programa de mejoramiento genético del país para ambos sexos, superior en los machos y se obtuvo una heredabilidad de 0.15, clasificada como baja debido al empleo de la metodología masal de selección y apareamiento. Así como también a la influencia de factores ambientales.

Literatura citada

- Charo-Karisa H, Komen H, Rezk MA, Ponzoni RW, Arendonk JA, 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.
- Corrêa B, Da Costa N, Müller F (2018) Morphometric measurements and phenotypic correlations of the tilapia GIFT after individual selection. *Agropecuária Catarinense* 31(3): 38-40.
- Damas T, Portales A, Millares N, Díaz G (2015) Mejoramiento genético de tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *O. aureus*) y su cría en ambiente marino. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras* 32(1): 138-8452.
- Damas T, Berovides V (2017) Heredabilidad realizada por caracteres morfológicos de la tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*). *AcuaCuba* 19(1): 11-20.
- Dos Santos AI (2009) Estimativa de parâmetros genéticos para peso y sobrevivência em tilapias (*Oreochromis niloticus*) melhoradas no Brasil. (Tese doutor em zootecnia). *Facultai em Zootecnia. Universidade Estadual de Maringá. Estado de Paraná.*
- Dos Santos AI, Pereira R, Vargas L, Mora F, Filho, LA, Fornari DC, et al. (2011) Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46(1): 33-43.
- FAO (2010) Visión general del sector acuícola nacional Cuba. Departamento de Pesca y Acuicultura. https://firms.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=countrysector&xml=naso_cuba.xml&lang=es.
- FAO (2011) Programa de información de especies acuícolas. *Oreochromis niloticus*. Obtenida el 5 de mayo de 2024. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es.
- FAO (2017). Programa de mejoramiento genético para peces de agua dulce en Cuba. Empresa de Desarrollo de tecnologías Acuícolas.
- Fryer G, Iles TD (1972) The cichlid fishes of the great lakes of Africa: their biology and distribution. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Flor JC (2013) Evaluación de tres densidades de siembra y tres porcentajes de alimento balanceado más alimento natural (termitas y guayaba) en el cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*). Tesis para grado de ingeniero agropecuario. Universidad Estatal Amazonica de Ecuador.
- García N, Curty LM, López de Olivera CA, Massako G, Miwa N, Pereira R (2015) Morphological traits and growth performance of monosex male tilapia GIFT strain and Saint Peter®. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n5p3399.
- Gonçalves E, De Seixas FJ, Pereira A, Lima C (2007) Produção de tilápia Mercado, espécie, biologia e recria. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Circular técnica.
- Gjedrem T (2012) Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture: a personal opinion review. *Aquaculture* 344: 12-22.
- Huet M (1972) Breeding and cultivation of fish. Fishing News (Books) Ltd., Farnham, Surrey.

- Kuanhong M (2011) Biology of Major Freshwater Cultivate Fishes in China. Reference material for China-Aid Training Programs. Training Course On Aquaculture for Developing Countries. Freshwaters Fisheries Center of Chinese Academy of Fishery Sciences Wuxi, April 28th to June 22nd, p. 25-46.
- Lopes de Oliveira CA, Yoshida G, Nogueira de Oliveira S, Kunita N, Dos Santos A, Alezander filho L, et al. (2015) Avaliação genética de tilápias-do-nilo durante cinco anos de seleção. Pesquisa Agropecuária Brasileira 50(10): 871-877. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001000002.
- Neumann E, Koberstein TC, Braga FM (2009) Desempenho de três linhagens de tilápia submetidas ao tratamento com 17- α -metiltestosterona em condições ambientais não controladas. Revista Brasileira de Zootecnia 38(6): 973- 979.
- Nogueira de Oliveira S, Ribeiro RP, Lopes de Oliveira CA, Lopera-Barrero NM, Aspilcueta RR, Da Silva Oliveira AM, et al. (2019) Multivariate analysis using morphometric and ultrasound information for selection of tilapia (*Oreochromis niloticus*) breeders. Revista Brasileira de Zootecnia 48, e20170179.
- Ponzoni RW, Hamzah A, Tana S, Kamaruzzamana N (2005) Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 247: 203-210.
- Ponzoni RW, Nguyen HN, Khaw HL, Hamzah A, Abu-Bakar KR, Yee HY (2011) Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the WorldFish Center with the GIFT strain. Reviews in Aquaculture 3(1): 27-41.
- Portales A, Cobas L, Damas T, Días G, Morales R, Ross M (2013) Influencia de la mejora selectiva en peces y reproducción del núcleo élite de tilapia nilótica GIFT. AcuaCuba 15(1): 24-33.
- Pulgarín CE (2012) Estimación de los efectos aditivos y de heterosis para peso de cosecha, sobrevivencia y mancheamiento en siete poblaciones de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en Colombia. Tesis para optar al título de Magister en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia.
- Ries Neto RV, De Oliveira CA, Ribeiro RP, De Freitas RT, Allaman IB, De Oliveira SN (2014) Genetic parameters and trends of morphometric traits of GIFT tilapia under selection for weight gain. Scientia Agricola 71: 259-265.
- Rutten MJ, Komen H, Bovenhuis H (2005) Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) body weight using a random regression model. Aquaculture 246, 101.
- Souza de Castro T, Dos Santos LD, Da Silva LC, Michelato M, Rossetto V, Massamitu W (2015) Length–weight relationship and prediction equations of body composition for growing-finishing cage-farmed Nile tilapia. Revista Brasileira de Zootecnia 44(4): 133-137.
- Toguyeni A, Fauconneau B, Fostier A, Abucay J, Mair G, Baroiller JF (2002) Influence of sexual phenotype and genotype and sex ratio on growth performances in tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 207(3-4): 249-261.
- Vehviläinen H, Kause A, Quinton C, Koskinen H, Paananen T (2008) Survival of the currently fittest: genetics of rainbow trout survival across time and space. Genetics 180: 507-516.
- WorldFish Center (2004) GIFT Technology Manual: An aid to tilapia selective Breeding. WorldFish Center, Penang, Malaysia; 56 p.