



Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo

Generational response to genetic improvement by weight in families of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under a mass selection and rotational mating scheme

Teresa Damas Pérez¹ 
Daylen Barrueta López¹ 

¹ Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas. Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba.

Autor de correspondencia: Teresa Damas Pérez. Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA). Carretera Central km 20 ½, Loma de Tierra. Cotorro. La Habana, Cuba. mafeperez@hotmail.com

Como citar: Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo. Tropical Aquaculture 3(2):e5752. DOI10.19136/ta.a3n2.5752

Recibido: 06 de noviembre de 2025

Aceptado: 02 de febrero de 2026

Licencia creative commons:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International



Resumen

Los estudios realizados en tilapia manifiestan que el peso es un rasgo con heredabilidad moderada y alta, lo que, aplicado a la mejora selectiva por peso en esta especie, ha permitido evaluar el crecimiento y el comportamiento generacional mediante el método de selección multietapa individual establecido en el Manual de Tecnología de la GIFT (WorldFish Center 2004). Los valores del peso se mantuvieron en un rango central debido a las incorporaciones escalonadas de los grupos familiares, al proceso de selección masal del carácter peso y al tamaño efectivo de la población de cada grupo familiar. El cruce rotativo permitió la variabilidad y la mejora gradual de los caracteres cuantitativos de la población. Los diferentes pesos promedio alcanzados por generación en los grupos familiares, así como su comportamiento, presentaron un aumento del peso promedio a medida que se pasaba de una generación a otra, con un rango de peso entre 500 y 700 g. Se propone una clasificación de los reproductores por peso: las hembras se agruparon en tres grupos: Altos (600 g), Medios (400-500 g) y Bajos (300 g); mientras que los machos se clasificaron en Altos (900-1000 g) y Medios (700 g). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento de los grupos familiares generacionales en función del peso de la tilapia nilótica GIFT, como resultado de la mejor selectiva, y aplicar un método de clasificación de las familias según peso y sexo como herramienta para el apareamiento interfamiliar.

Palabras clave: Crianza selectiva, ganancia genética, selección masiva, apareamiento entre familias, rendimiento fenotípico.

Abstract

Studies on tilapia indicate that body weight has moderate to high heritability. When applied to selective breeding programs focused on weight improvement in this species, these findings have enabled evaluation of growth performance and generational behavior using the individual multi-stage selection method described in the GIFT Technology Manual (WorldFish Center, 2004). Weight values remained within a central range due to the staggered incorporation of family groups, the mass selection process for the weight trait, the effective population size of each family group, and the implementation of rotational crossing, which allowed for variability and the gradual improvement of quantitative traits around the population mean. The average weights of successive generations of family groups, along with their growth patterns, showed a consistent increase from one generation to the next, reaching a weight range of 500-700 g. A broodstock weight classification is proposed: females were grouped into three categories: High (600 g), Medium (400–500 g), and Low (300 g). Males were classified as High (900–1000 g) and Medium (700 g). The objective of this study is to determine the weight performance of generational family groups of GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resulting from selective improvement, and to apply a classification method for families based on weight and sex as a tool for implementing inter-family mating strategies.

Keywords: selection, family groups, weight, generations.

Introducción

Las tilapias (*Oreochromis niloticus*) se crían en más de 130 países, con una producción mundial de 5.5 millones de toneladas en 2018, lo que corresponde al 10% de todos los peces producidos mundialmente (Levy-Pereira *et al.*, 2020; Acosta y Gupta 2009; Mayorga-Castañeda 2012).

En México, la tilapia representa una importante expectativa pesquera y ocupa el segundo lugar, por debajo del cultivo de camarón, y constituye una actividad acuícola para investigadores y pobladores. México ocupa el lugar número 28 a nivel mundial con una producción de 143,747 t de especies de agua dulce, entre las cuales destaca la tilapia, que ha aportado el 91% de la producción nacional (Castañeda 2011, Mayorga *et al.*, 2011, FAO 2020, Ornelas *et al.*, 2017).

Investigaciones realizadas en tilapia manifiestan que el peso es un rasgo con heredabilidad moderada y alta (Ponzoni *et al.*, 2005; Rutten *et al.*, 2005; Dos Santos, 2009; Santos *et al.*, 2011; Damas *et al.*, 2016), resultados que, aplicados a la mejora selectiva por peso en esta especie, han permitido evaluar el crecimiento y el comportamiento generacional. Los programas de selección se implementan en el mundo en función de la ganancia de peso; de esta forma, la mayoría de los estudios sobre parámetros genéticos están vinculados al peso (Ponzoni *et al.*, 2005, Rutten *et al.*, 2005, Charo-Karisa *et al.*, 2006, Khaw *et al.*, 2008).

Materials and methods

Crecimiento, selección y reproducción

Las investigaciones se desarrollaron en la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA), en la Unidad de Desarrollo e Investigación “El Dique”, donde se estableció el núcleo élite de Tilapia nilótica GIFT en el periodo 2007-2016, por

generaciones, cultivados en piscinas de cemento con dimensiones entre 100 y 140 m², con circulación de agua regulada pero constante, en el área de genética donde se realizó el crecimiento, la selección y la reproducción. Los grupos familiares se mantuvieron por separado para preservar la ganancia genética familiar y evitar la consanguinidad.

Selección masal

Este estudio incluyó ocho generaciones parentales (G1 a G8) y siete filiales (G2 a G8), empleando el método de selección multietapa individual establecido en el Manual de Tecnología de la GIFT (WorldFish Center 2004). Estas selecciones de reproductores se basaron en el valor fenotípico del peso. Para evitar la consanguinidad, se empleó un cruce interespecífico entre los grupos de familias mediante el apareamiento de hembras y machos de distintos grupos de forma rotacional. Se eligieron las hembras en una proporción de un macho/m² y, en función de ello, dos hembras por macho, a una densidad de siembra de 2.5/m².

Conformación de familias

Se logró formar, escalonadamente, un total de 17 familias en ocho generaciones, que se constituyeron a partir de la población base, de la cual se generó el resto de las generaciones mediante cruzas sucesivas, introducida en el 2007, proveniente de Brasil, de la Universidad de Maringá. Codificadas con letras del alfabeto y un número, indicando la generación en relación con la población base importada de Brasil, Vietnam y Tailandia, y la entrada a la EDTA de reproductores de III generación y de tilapia nilótica procedentes de Inglaterra, así como de tilapia nilótica Chitralada (cultivada en Pinar del Río).

Alimentaciones

La alimentación se realizó con un alimento con 10 % de harina de pescado y de materias vegetales (maíz, trigo y salvado de trigo), con 29 – 30 % de

proteína bruta (PB), alimentado entre el 1 % y el 3 % de la biomasa, dos veces al día.

Análisis estadístico

Se determinaron los mejores grupos de familias a los 11 meses de edad, estableciendo los cruces interfamiliares mediante los paquetes estadísticos SAS® y MINITAB®. Para el procesamiento de los datos se empleó el programa estadístico MINITAB (2000). Una vez aplicados los análisis estadísticos, se efectuó la separación por generaciones considerando el conjunto de todas las familias.

Se realizó un ANOVA multifactorial con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para determinar los efectos de las familias, las generaciones y el sexo. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de los datos mediante un análisis de varianza de clasificación simple con el paquete STATISTICA® para Windows, versión 6.0 (2000). Con la utilización de clases representadas por sexos, familias y generaciones, con 9079 datos acumulados.

Resultados

Se conformaron un total de 17 grupos familiares, a lo largo de ocho generaciones del núcleo de élite de tilapia nilótica GIFT, que fueron incorporados de forma escalonada al banco genético. A lo largo del periodo de evaluación se observó un incremento progresivo del peso corporal, asociado al proceso de selección masal por peso, al tamaño efectivo de cada grupo familiar y al esquema de apareamiento rotativo implementado.

La variación generacional del peso evidenció diferencias marcadas entre familias (Figura 1), con valores máximos superiores a 1000 g en algunos grupos. Al analizar ambos sexos en conjunto, la mayor proporción de individuos se concentró en torno a 500 g y los machos presentaron pesos sistemáticamente mayores.

Los pesos promedio por familia y por generación mostraron una tendencia ascendente a lo largo de las generaciones (Tabla 1). En general, los valores oscilaron entre 500 y 700 g en generaciones intermedias y avanzadas, lo que refleja una respuesta sostenida a la selección.

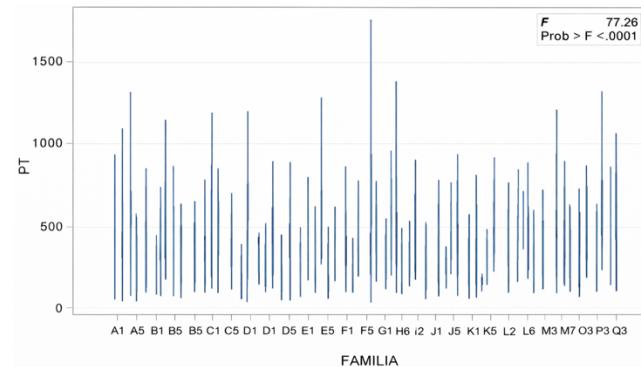


Figura 1. Figura 1. Variabilidad de los valores de peso total de los grupos familiares a lo largo del tiempo. Cada grupo de datos representa generaciones por familia.

El análisis de la variación del peso por generación indicó un incremento progresivo hasta la séptima generación. Posteriormente, se registró una ligera disminución en la octava generación (Figura 2), lo que sugiere la proximidad a un posible plateau de selección o la influencia de las condiciones de manejo y cultivo.

Al agrupar los datos por generación, independientemente de la familia (Figura 3), se observó que la séptima generación presentó el mayor peso promedio y el mejor rendimiento durante el periodo de estudio.

El análisis de varianza multifactorial reveló efectos altamente significativos ($P < 0.005$) de la familia y del sexo sobre el peso corporal a los 11 meses de edad (Tabla 2). Los machos presentaron sistemáticamente pesos mayores que las hembras, mientras que las diferencias entre familias reflejaron una heterogeneidad genética que puede aprovecharse mediante la selección.

A partir de los promedios de peso por sexo, se estableció una clasificación práctica de los

reproductores para orientar los cruzamientos interfamiliares (Tabla 3). Las hembras se agruparon en categorías de alto, medio y bajo peso, mientras que los machos se clasificaron en alto y medio peso. Esta clasificación permitió diseñar esquemas para combinar hembras de menor desempeño con machos de mayor desempeño.

En conjunto, los resultados demuestran que la selección masal por peso y el apareamiento rotativo entre familias mantuvieron la variabilidad genética y promovieron aumentos graduales en el crecimiento a lo largo de las generaciones. Esta estrategia se considera efectiva para mejorar el peso corporal en tilapia nilótica GIFT.

Tabla 1. Peso promedio de los grupos familiares por generación.

FAMILIA	$\bar{x} \pm ES$								
A1	118.8 ± 22.4 a	D1	276.4 ± 22.4 b	G1	290.0 ± 18.9 b	K1	107.5 ± 22.9 a	O1	-
A2	241.6 ± 19.4 b	D2	174.4 ± 22.4 a	G2	178.4 ± 22.2 a	K2	406.5 ± 17.4 c	O2	467.8 ± 26.4 d
A3	408.8 ± 6.4 c	D3	414.8 ± 16.0 c	G3	463.8 ± 17.6 d	K3	363.7 ± 13.5 h	O3	607.1 ± 34.6 e
A4	400.5 ± 3.5 c	D4	236.8 ± 13.5 b	G4	244.9 ± 12.8 b	K4	211.7 ± 13.1 b	O4	630.5 ± 24.2e
A5	457.0 ± 5.9 d	D5	410.9 ± 24.8 c	G5	408.7 ± 34.6 c	K5	400.9 ± 25.7 c	O5	-
A6	620.9 ± 7.6 e	D6	742.8 ± 35.5 g	G6	494.9 ± 35.5 d	K6	490.2 ± 50.2 d	O6	-
A7	590.3 ± 6.8 f	D7	236.8 ± 13.5 b	G7	574.9 ± 25.4 f	K7	709.0 ± 29.0 g	O7	-
A8	456.7 ± 14.8 d	D8	456.6 ± 30.5 d	G8	-	K8	700.0 ± 29.0 g	O8	-
B1	197.2 ± 22.9 g	E1	155.5 ± 22.7 a	H1	173.3 ± 14.7 a	L1	292.0 ± 22.4 b	P1	197.7 ± 33.8 a
B2	385.2 ± 22.4 h	E2	155.5 ± 22.7 a	H2	236.4 ± 25.7 e	L2	279.8 ± 22.4 b	P2	547.3 ± 23.9 f
B3	406.9 ± 16.4 c	E3	238.4 ± 8.4 b	H3	406.3 ± 9.6 c	L3	431.3 ± 16.0 d	P3	646.6 ± 31.7 e
B4	246.0 ± 25.7 b	E4	256.0 ± 13.4 b	H4	269.1 ± 16.5 b	L4	220.1 ± 11.6 b	P4	844.8 ± 26.4 j
B5	485.7 ± 27.2 d	E5	517.0 ± 27.7 f	H5	470.3 ± 18.2 d	L5	492.4 ± 25.1 d	P5	-
B6	647.8 ± 26.1 e	E6	425.2 ± 34.6 d	H6	699.4 ± 20.1 e	L6	569.3 ± 31.7 f	P6	-
B7	517.4 ± 29.5 i	E7	600.0 ± 25.7 e	H7	560.6 ± 16.9 f	L7	500.7 ± 29.0 f	P7	-
B8	438.6 ± 29.5 d	E8	323.9 ± 14.4 h	H8	391.2 ± 24.5 h	L8	474.8 ± 30.5 d	P8	-
C1	72.8 ± 22.4 j	F1	290.0 ± 18.9 b	J1	111.2 ± 22.4 a	M1	-	Q1	395.7 ± 15.8 h
C2	74.4 ± 22.4 j	F2	828.9 ± 12.8 k	J2	216.6 ± 14.9 b	M2	308.1 ± 19.4 h	Q2	687.2 ± 35.4 e
C3	359.0 ± 12.8 h	F3	412.3 ± 13.4 c	J3	451.1 ± 16.5 d	M3	431.3 ± 16.0 d	Q3	560.4 ± 26.4 f
C4	242.7 ± 26.1 b	F4	259.7 ± 13.1 b	J4	217.5 ± 11.5 b	M4	278.0 ± 13.2 b	Q4	465.5 ± 25.4 d
C5	407.1 ± 35.5 c	F5	496.7 ± 25.7 d	J5	463.9 ± 25.4 d	M5	543.1 ± 25.7 i	Q5	-
C6	632.9 ± 18.7 e	F6	608.0 ± 35.5 e	J6	603.2 ± 33.1 e	M6	688.5 ± 35.5 e	Q6	-
C7	545.7 ± 12.6 f	F7	685.1 ± 27.2 e	J7	709.0 ± 29.0 g	M7	584.1 ± 25.7 f	Q7	-
C8	632.9 ± 35.5 e	F8	401.5 ± 24.8 c	J8	401.5 ± 24.8 c	M8	613.8 ± 25.7 e	Q8	-

Las familias se caracterizan por una letra y un número: X#. La letra se refiere al grupo familiar de referencia: A, B, C, etc. Mientras tanto, el número indica la generación de la que se trata: 1.^a, 2.^a, 3.^a, etc.

Tabla 2. Resultados del ANOVA para evaluar el efecto de la familia y el sexo en el peso promedio a los 11 meses de edad de la tilapia nilótica GIFT

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor de F	Probabilidad
Familia	16	56136641	370196	13.94	0.0001
Sexo	1	26747109	267447109	1007.4	0.0001
Error	1116	29630231			
Total	1133				

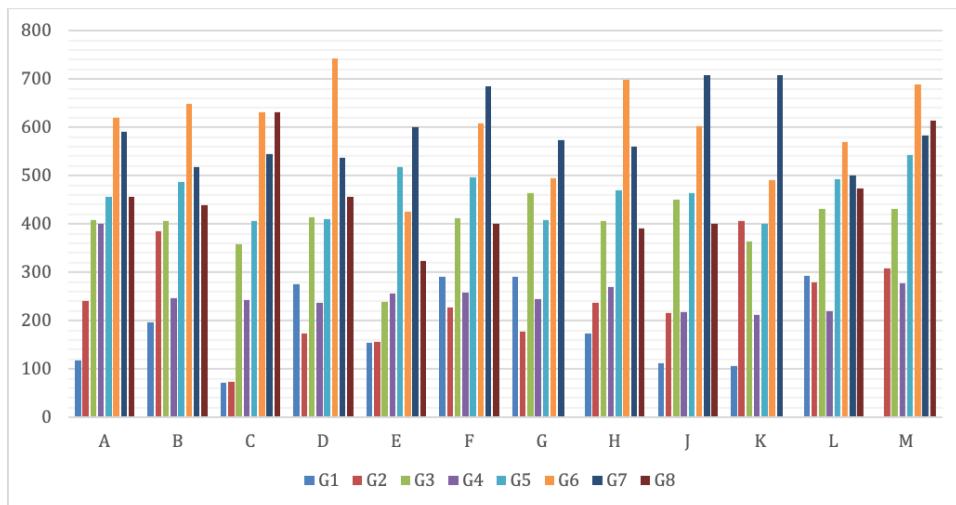


Figura 2. Comportamiento del peso de los grupos familiares de la Tilapia nilótica GIFT por generaciones.

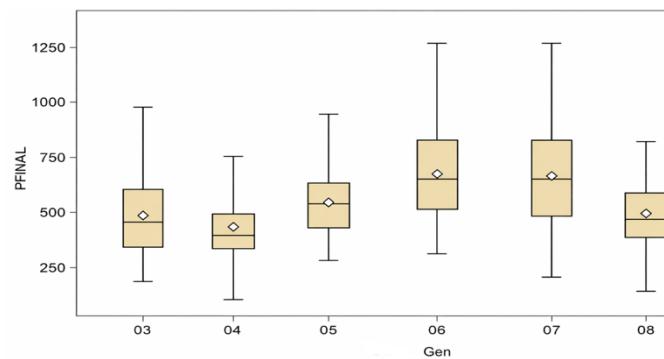


Figura 3. Diagrama de caja del peso de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) GIFT en las generaciones G3, G4, G5, G6, G7 y G8.

Tabla 3. Clasificación de los pesos promedios y de la categoría para realizar los cruces generaciones.

C			MACHOS		
Familias	Medias ± ES	Clasificación	Familias	Medias ± ES	Clasificación
H4	661.3 ± 25.0	Altos ▲	H7	905.0 ± 58.0	Altos ▲
J7	627.0 ± 35.7		P4	1028.0 ± 58.0	
K7	627.0 ± 35.7		J7	802.0 ± 22.6	
A7	590.3 ± 6.8		K7	802.0 ± 22.9	
O4	526.0 ± 38.0		D7	935.0 ± 38.1	
E7	512.0 ± 19.7		E7	932.0 ± 57.6	
D7	506.0 ± 33.0		F7	709.0 ± 9.0	
G7	447.0 ± 30.0		L7	781.4 ± 53.9	
M7	473.0 ± 32.9		Q3	735.0 ± 38.1	
A7	590.3 ± 8.9		K7	770.0 ± 26.0	
B7	383.0 ± 25.9	Bajos ▼	O7	729.0 ± 30.0	Medios ►
C7	343.0 ± 16.8		Q4	735.7 ± 53.2	
H7	343.0 ± 8.0		C7	735.0 ± 34.9	
L7	360.0 ± 18.3				

Discusión

El incremento progresivo del peso corporal observado a lo largo de las generaciones confirma la efectividad de la selección masal por peso en poblaciones de tilapia nilótica GIFT, en concordancia con estudios que reportan heredabilidades moderadas a altas para este carácter y respuestas sostenidas a la selección (Ponzoni et al., 2005; Rutten et al., 2005; Charo-Karisa et al., 2006; Santos et al., 2011). Estos resultados coinciden con experiencias de programas de mejoramiento genético en diferentes regiones, donde el crecimiento ha sido el principal criterio de selección debido a su impacto directo en la productividad acuícola (Khaw et al., 2008; Ponzoni et al., 2009).

La incorporación escalonada de grupos familiares y el empleo de apareamiento rotativo contribuyeron al mantenimiento de la variabilidad genética y a la mejora gradual del peso promedio. Diversos autores han señalado que el control de la consanguinidad y el manejo del tamaño efectivo de la población son factores clave para mantener la respuesta a la selección y evitar pérdidas de desempeño productivo (Ponzoni et al., 2010). En este sentido, revisiones recientes sobre programas de mejoramiento genético en peces y moluscos confirman que las respuestas generacionales positivas pueden mantenerse durante largos períodos cuando se aplican esquemas adecuados de selección y manejo poblacional (Gjedrem y Rye, 2018).

La ligera disminución del peso observada en generaciones avanzadas sugiere la posible aproximación a un plateau de selección, fenómeno ampliamente documentado en poblaciones sometidas a presión selectiva prolongada, donde la variabilidad genética aditiva disponible se reduce progresivamente a medida que avanzan las generaciones de selección (Ponzoni *et al.*, 2005; Khaw *et al.*, 2008). Sin embargo, estudios de síntesis indican que este estancamiento no es necesariamente permanente y puede mitigarse mediante estrategias como la incorporación de nuevas líneas, el aumento del tamaño efectivo de la población y la optimización de los esquemas de cruzamiento (Gjedrem y Rye 2018; Nguyen 2021). Por tanto, la disminución observada en este estudio también podría reflejar la influencia de factores ambientales y de manejo, como la densidad de cultivo y la calidad del alimento, que interactúan con el genotipo para determinar el crecimiento de la tilapia (Rutten *et al.* 2005; Ponzoni *et al.* 2010).

El marcado dimorfismo sexual observado, con machos consistentemente superiores en peso a las hembras, concuerda con lo reportado en poblaciones GIFT y en otras líneas mejoradas de tilapia nilótica (Damas *et al.* 2014; Damas *et al.*, 2016; Damas y Berovides 2017). Este patrón ha sido atribuido a diferencias fisiológicas en las tasas de crecimiento, el metabolismo energético y la asignación de recursos reproductivos, así como a respuestas diferenciales al proceso de selección entre sexos (Santos *et al.*, 2011; Vehviläinen *et al.* 2008). Revisiones recientes sobre el mejoramiento genético en tilapia destacan que la expresión del dimorfismo sexual puede variar entre poblaciones y generaciones, lo que influye directamente en la eficiencia productiva y en las estrategias de selección (Nguyen, 2021).

La clasificación práctica de reproductores por rangos de peso y sexo propuesta en este estudio constituye una herramienta operativa útil para

Damas-Pérez T (2026) Respuesta generacional al mejoramiento genético por peso en familias de tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) bajo un esquema de selección masal y apareamiento rotativo. *Tropical Aquaculture* 3(2):e5752.
DOI10.19136/ta.a3n2.5752

orientar los cruzamientos interfamiliares en sistemas productivos con recursos limitados. El uso de criterios fenotípicos simples ha demostrado ser efectivo para obtener ganancias genéticas sostenidas cuando se acompaña de un manejo poblacional adecuado (Ponzoni *et al.*, 2005; Damas *et al.*, 2013; Damas *et al.*, 2016). No obstante, revisiones recientes señalan que la integración de evaluaciones genéticas más precisas, como los modelos animales (BLUP), permite maximizar el progreso genético y mejorar la estabilidad de la respuesta a la selección en poblaciones comerciales (Gjedrem y Rye 2018; Nguyen 2021).

En conjunto, los resultados confirman que la selección masal por peso, combinada con estrategias de manejo poblacional adecuadas, constituye una vía eficaz para el mejoramiento genético del crecimiento de la tilapia nilótica GIFT, contribuyendo al incremento del rendimiento productivo y al fortalecimiento de la acuicultura tropical (FAO, 2020).

Conclusiones

Con el presente estudio se logró la mejora gradual del carácter cuantitativo del peso de la media poblacional de los grupos familiares, mediante la incorporación escalonada de nuevos grupos familiares (aumentando así el tamaño efectivo de la población) y el empleo de la clasificación de hembras y machos según su rango de peso. Por este motivo, los aportes de esta investigación constituyen una herramienta de trabajo para el apareamiento de cruces intrafamiliares con el fin de mejorar las características genéticas.

Literatura citada

- Acosta BO, Gupta MV (2009) Success Stories in Asian Aquaculture. S.S. De Silva and F.B. Davy (eds.). Springer Science + Business

- Media B.V. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Centre Manila Office, Philippines. Aquacult.asia, 10(1):7-1216.
- Charo-Karisa H, Komen H, Rezk MA, Ponzoni RW, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2006) Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L) in low-input earthen ponds. *Aquaculture* 261: 479-486.
- Castañeda, F., Corral-Ávila, R., Gutiérrez-Ahumada, H., Arriaga-Haro, V., & Pérez-Hernández, J. A. (2011). Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (mojarra). MéxicoD. F. URL: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/dgof/publicaciones/Guia-EmpresarialTilapia.pdf>.
- Damas T, Portales A, Díaz G, Cobas L, Vicente B (2013) Valoración fenotípica del peso entre la primera, segunda y tercera generaciones de la Tilapia nilótica GIFT. *Acuacuba* 13(2): 9-10.
- Damas, T, Portales A, Díaz G, Cobas L, Berovides V (2014) Tecnología para el mejoramiento genético de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*) en Cuba. *Rev. Cubana de Investigaciones Pesqueras* 31(2): 30-34.
- Damas T, Portales A, Diaz G, Millares N, Garcia MT, Vinjoy M (2016) Mejoramiento genético de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*). *AcuaCuba* 18 1(20-16): 5-30.
- Damas T, Berovides V (2017) Heredabilidad realizada por carácter morfológico de La Tilapia nilótica GIFT (*Oreochromis niloticus*). *Acuacuba* 19(1): 11-20.
- 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 Brazil. *Pesq. Agropec. Bras.* 46(1): 3.
- Khaw HL, Ponzoni RW, Danting MJC (2008) Estimation of genetic change in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by comparing contemporary progeny produced by males born in 1991 or in 2003. *Aquaculture* 275: 64-69
- FAO (2020) The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action. Rome: FAO. 244 p.
- Levy-Pereira NL, de Sousa RL, Sebastião F, Urbinati E, Pilarski F (2020) Dietary mannan-oligosaccharide increases reactive oxygen species production but decreases serum lysozyme in high levels of inclusion for Nile tilapia. *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(3) e551.
- Mayorga-Castañeda FJ (2012) Carta nacional pesquera. Diario Oficial. pesca/documentos/industria/SAGARPA%20Actualizacion%20Carta%20Nacional%20Acuicola%202012.pdf
- Montoya AM (2018) Caracterización genética fenotípica y productiva de la tilapia en Antioquia. Colombia. Universidad de Antioquia. pp133.
- Ornelas LR, Aguilar B, Hernández A, Hinojosa JL, Godínez DE (2017) Un enfoque sustentable de cultivo de la Tilapia. Multidisciplinary Scientific Journal. Vol. 27 No. 5 Septiembre-Octubre 2017. pp-19-25.
- 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*, L). *Aquaculture* 247:203-210.

- Ponzoni RW, Nguyen NH, Khaw HL (2009) Genetic improvement programs for aquaculture species in developing countries: prospects and challenges. Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet. 18: 342-349.
- Ponzoni RW, Khaw HL, Nguyen HN, Hamzah A (2010) Inbreeding and effective population size in the Malaysian nucleus of the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.). Aquaculture 302: 42-48.
- Rutten MJM, Komen H, Bovenhuis H (2005) Longitudinal genetic analysis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) body weight using a random regression model. Aquaculture 246:101.
- Pereira R (2015) Programa para Criação de um Satelite de Seleção da Linhagem no Brasil. Genetic. Sele. Evol. 1-7.
- Rodríguez E, Alarcón GVF (2012) Comparación de parámetros reproductivos en hembras de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de alto y bajo valor genético. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A Facultad de ciencias pecuarias carrera zootecnia Bogotá 2(t12).
- Santos AI, Ribeiro RP, Vargas L, Mora F, Alexandre Filho L, Fornari DC, et al. (2011) Bayesian genetic parameters for body weight and survival of Nile tilapia farmed in Brazil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46: 33-43.
- 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.