



DESEMPEÑO PRODUCTIVO BAJO CONDICIONES COMERCIALES DE CULTIVO DE LA PROGENIE DE MACHOS YY DE TILAPIA DEL NILO *Oreochromis niloticus* (L.) †

[PRODUCTIVE PERFORMANCE UNDER COMMERCIAL CULTURE CONDITIONS OF YY-MALE NILE TILAPIA *Oreochromis niloticus* (L.) PROGENY]

Daniel Calzada-Ruiz¹, Carlos Alfonso Álvarez-González¹, Emyr Peña^{1,4}, José Manuel Juárez-Barrientos², Martha E. Aguilera-Morales³, Juan Pablo Alcántar-Vázquez^{2*} and Raúl Moreno-de la Torre³

¹Laboratorio de Acuicultura Tropical, División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco, C.P. 86150, México. emails: calzada.rd@hotmail.com, alvarez_alfonso@hotmail.com, ocemyr@yahoo.com.mx

²Laboratorio de Bioquímica y Mejoramiento Genético, Des: Ciencias Agropecuarias. Universidad del Papaloapan (UNPA). Av. Ferrocarril s/n, Loma Bonita, Oaxaca, 68400. México. Tel. +52 (281) 8 72 92 30, Fax. +52 (281) 87 211 97, emails: juarez_jose13@hotmail.com, jupasoul@hotmail.com

³Laboratorio de Acuicultura, Des: Ciencias Agropecuarias. Universidad del Papaloapan (UNPA). Av. Ferrocarril s/n, Loma Bonita, Oaxaca, 68400. México. emails: aguilena02@hotmail.com, raulbuzo@hotmail.com

⁴Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Del. Benito Juárez C.P. 03940, Ciudad de México, México

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is one of the most important species worldwide for aquaculture; however, the use of steroids to masculinize large volumes of fry is seen negatively by the market and environmental groups. The use of the progeny of YY males is a recent alternative that, in theory, allows to maintain the same yields, with the advantage of marketing a product free of hormones. **Objective.** To evaluate the performance during growth, the gonadosomatic index, the biochemical composition, as well as the percentage of males obtained in the progeny of YY males and compare them against those obtained in a commercially masculinized progeny using flouxymesterone. **Methodology.** Juveniles produced from a YY male and masculinized juveniles were stocked in external tanks of 3 m² (in triplicate) and were cultivated for 105 days following a commercial type feeding protocol. **Results.** No significant differences were detected between both progenies with respect to productive performance during growth, including fillet yield. However, the progeny of YY males showed significantly higher values ($P < 0.05$) of moisture, ashes and lipids in muscle, as well as in the gonadosomatic index, probably due to the presence of a small percentage of females (8%). **Implications.** The study contributes to the insertion of YY technology into the commercial culture of Nile tilapia. **Conclusion.** The performance shown by the progeny of YY males compared to that of a masculinized line is similar in terms of growth, yield and survival; therefore, its implementation in the region could reduce production costs and environmental contamination, thanks to the reduction in the use of hormones.

Keywords: Progeny, growth, biochemical composition, gonadosomatic index.

RESUMEN

Antecedentes. La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies más importantes en la acuicultura a nivel mundial; sin embargo, el uso de esteroides para masculinizar grandes volúmenes de alevines es visto negativamente por el mercado y por grupos medioambientales. El uso de la progenie de machos YY es una alternativa reciente que, en teoría, permite mantener los mismos rendimientos, con la ventaja de

† Submitted January 29, 2020 – Accepted May 22, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License. ISSN: 1870-0462.

comercializar un producto libre de hormonas. **Objetivo.** Evaluar bajo condiciones comerciales de cultivo el desempeño productivo, el índice gonadosomático, la composición bioquímica, así como el porcentaje de machos obtenido en la progenie de machos YY y compararlos contra los de una progenie masculinizada comercialmente con flouximesterona. **Metodología.** Se sembraron, juveniles producidos a partir de un macho YY y juveniles masculinizados en estanques exteriores de 3 m² (por triplicado), se cultivaron durante 105 días y se alimentaron siguiendo un protocolo de alimentación tipo comercial. **Resultados.** No se detectaron diferencias significativas entre ambas progenies con respecto al desempeño productivo durante el crecimiento, incluyendo el rendimiento del filete. Sin embargo, la progenie de machos YY mostró valores significativamente más altos ($P < 0.05$) de humedad, ceniza y lípidos en músculo, así como de índice gonadosomático, esto último, probablemente debido a la presencia de un pequeño porcentaje de hembras (8%). **Implicaciones.** El estudio contribuye a la inserción de la tecnología YY al cultivo comercial de tilapia del Nilo. **Conclusión.** El desempeño mostrado por la progenie de machos YY en comparación contra el de una línea masculinizada es similar en términos de crecimiento, rendimiento y supervivencia; por lo que su implementación en la región podría disminuir el costo de producción y reducir la contaminación del medio ambiente, gracias a la reducción en el uso de hormonas.

Palabras clave: Progenie, crecimiento, composición bioquímica, índice gonadosomático.

INTRODUCCIÓN

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es, dentro del grupo de las tilapias, la de mayor producción a nivel mundial, con un 99.2% de la producción acuícola (FAO, 2014; Fishstat, 2016). Lo anterior es resultado de su rápido crecimiento y tolerancia a un amplio rango de temperaturas y salinidades. Sin embargo, a pesar de su baja fecundidad, el control de su maduración precoz es un problema recurrente (Phelps & Popma, 2000). En cultivos mixtos, la tilapia del Nilo alcanza la madurez sexual (30-50 g) mucho antes que la talla comercial (350-400 g) (Jiménez y Arredondo, 2000; Arboleda-Obregón, 2005), lo cual puede ocasionar al momento de la cosecha la presencia de alevines y juveniles de tamaños heterogéneos en lugar de peces grandes y uniformes (Jiménez y Arredondo, 2000; Tariq-Ezaz *et al.*, 2004).

Los machos de tilapia del Nilo crecen más rápido que las hembras, por lo que los cultivos monosexo se presentan como una opción conveniente para resolver el problema de maduración precoz. La técnica más utilizada a nivel comercial para lograr cultivos monosexo es la reversión sexual con hormonas exógenas (Jiménez y Arredondo, 2000; Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014a), ya que permite alcanzar porcentajes de machos del 98 al 100% (Jiménez y Arredondo, 2000; Daza *et al.*, 2005; Vidal *et al.*, 2010). Sin embargo, una de las principales desventajas del uso de hormonas es la percepción negativa del consumidor, ya que existe un rechazo creciente al consumo de alimentos que hayan sido tratados directamente con hormonas u otras sustancias activas (Müller y Hörstgen, 2007). Adicionalmente, la acumulación de hormonas en los cuerpos de agua y/o en el mar es otro aspecto negativo de su uso a nivel comercial (Leet *et al.*, 2011).

Lo anterior ha impulsado la búsqueda de nuevas tecnologías que reduzcan o bien eliminen por completo el uso de hormonas exógenas del cultivo comercial de la tilapia del Nilo. Una de estas tecnologías y con una clara aplicación a nivel comercial es la producción de machos con genotipo YY, también llamados machos YY (Beardmore *et al.*, 2001; Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014b). El objetivo detrás de esta técnica es que los machos YY al cruzarse con hembras normales (XX) arrojen poblaciones compuestas por un 100% de machos genéticos. Lo cual eliminaría la necesidad de utilizar hormonas para producir las poblaciones monosexo que son directamente comercializadas (Mair *et al.*, 1997a; Beardmore *et al.*, 2001; Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014b).

Los machos YY de tilapia del Nilo han sido producidos con éxito en la Universidad del Papaloapan durante los últimos cinco años, por lo cual, el siguiente paso es evaluar el desempeño de su progenie. Si se busca reemplazar a mediano plazo a la progenie masculinizada es necesario que la progenie de machos YY (pMY) tenga un rendimiento en cultivo comercial, similar o superior al mostrado por las líneas masculinizadas (mediante hormonas) comercializadas en la región. En este sentido, pocos estudios han abordado el desempeño bajo cultivo comercial de la pMY (Hopkins *et al.*, 1995; Mair *et al.*, 1995; Tuan *et al.*, 1998; Perschbacher *et al.*, 2002; Khan *et al.*, 2014; Zahirul-Islam *et al.*, 2015); sin embargo, en los resultados reportados es posible observar que existe una fuerte variación en el desempeño productivo, relacionado con la línea genética de la cual provienen los machos YY. Lo anterior hace necesario analizar la progenie desarrollada en nuestra institución, ya que esta proviene de una línea de machos YY desarrollada a partir de líneas regionales, es decir es una línea nueva, no “pura” como en algunas ocasiones se ha planteado como

requisito necesario para el desarrollo exitoso de la tecnología YY.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes parámetros del crecimiento, la supervivencia, el índice gonadosomático, la composición bioquímica del músculo, así como el porcentaje de machos obtenido en la pMY Y y compararlos contra los observados en una progenie masculinizada comercializada con éxito en la región.

MATERIALES Y METODOS

Reproductores

Para este experimento se utilizó un macho YY (1,200 g) obtenido a partir de hembras XY (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014b) y comprobado mediante prueba de progenie en cruces con hembras XX y XY (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2019). Este macho fue seleccionado debido a que en desoves previos produjo una progenie compuesta por un 100% de machos genéticos. El macho YY se colocó en un estanque de ferrocemento de 3 m de diámetro con tres hembras de genotipo conocido (XX, 450-500 g). Durante esta etapa los reproductores se alimentaron dos veces al día con alimento comercial al 32% de proteína (Purina®, Agribands, México).

Producción de alevines y condiciones experimentales

Los alevines se obtuvieron 18 días después de iniciar el proceso de reproducción mediante el sifoneo del 90% del agua del estanque. Una vez retirados el macho YY y las hembras XX, las crías se colectaron mediante una malla fina (25x10 cm) y se transportaron a acuarios de acrílico de 85 L de capacidad ordenados en un sistema de recirculación cerrado compuesto por un filtro mecánico y un filtro de bio-bolas. Los alevines se sembraron a una densidad inicial de 1 alevín L⁻¹ y se alimentaron con dieta comercial al 53% de proteína (< 0.35 mm, Purina® Agribands, México) durante el periodo de alevinaje (30 días).

Una vez terminado el periodo de alevinaje, los juveniles se transfirieron a estanques exteriores de ferrocemento de 3 m de diámetro suministrados con agua verde. Al mismo tiempo que se transfirió la pMY Y, se transfirió progenie de la misma edad masculinizada oralmente mediante flouximesterona (20 mg kg⁻¹, pMFL), adquirida a un laboratorio productor de la región (Granja Unidad de Producción del Tesechoacan, línea isaluma). La

pMFL se utilizó para comparar el desempeño productivo durante el crecimiento de la pMY Y. Ambas progenies se aclimataron durante 21 días, en los cuales se alimentaron seis veces al día a saciedad aparente (migaja 1 mm, 53% proteína, Purina® Agribands, México).

Para el inicio del experimento los juveniles de cada progenie se distribuyeron en los tanques de ferrocemento a una densidad de 13 juveniles por m² (por triplicado). Se alimentaron cinco veces al día a una tasa del 10% de la biomasa total por réplica con alimento comercial al 44% de proteína (1.5 mm, purina®). Se realizaron biometrías cada 21 días para obtener el peso húmedo y la longitud total de aproximadamente el 25% de los peces en cada réplica por tratamiento. Después de realizar cada biometría se ajustó la ración diaria y el tamaño de partícula del alimento proporcionado de acuerdo con los protocolos sugeridos para el cultivo comercial de la tilapia del Nilo (Nutripec, Purina®), hasta llegar a un 5% de la biomasa total por réplica y a un tamaño de partícula de 3.5 mm (25% de proteína, Purina®). En total el experimento duró 105 días.

Desempeño durante el crecimiento

A partir de los datos obtenidos de peso húmedo y longitud total se calcularon los siguientes índices de crecimiento:

1.- Peso ganado (PG)

$$PG = PHF - PHI$$

donde:

PHF = Peso húmedo final

PHI = Peso húmedo inicial

2.- Ganancia en peso diaria (PGD)

$$PGD = (PHF - PHI) / \text{días de cultivo.}$$

3.- Factor de condición (FC)

$$FC = (PHF/LTF^3) \times 100$$

donde:

LTF = Longitud total final

4.- Tasa de crecimiento específico (TCE)

$$TCE = 100 \times [(\ln PHF - \ln PHI) / \text{días de cultivo}]$$

5.- Ganancia en peso porcentual (GP%)

$$GP\% = [(PHF - PHI) / (PHF)] \times 100$$

Rendimiento

A partir de los peces sacrificados al final de experimento, se obtuvieron los siguientes índices corporales para evaluar el rendimiento obtenido de cada una de las progenies.

1.- Rendimiento eviscerado (RE)

$$RE = (PEV / PHF) \times 100$$

donde:

PEV = Peso eviscerado

2.- Rendimiento del filete en función del peso húmedo (RF)

$$RF = [(PFI / PHF) \times 100]$$

donde:

PFI = Peso del filete

3.- Rendimiento del filete en función del eviscerado (RFE)

$$RFE = [(PFI / PEV) \times 100]$$

Composición bioquímica

Los análisis bioquímicos se realizaron a partir de muestras de músculo obtenidas de la parte lateral del cuerpo de de cinco peces. Las muestras de músculo fueron cortadas en rebanadas (5-10 g), secadas a 120°C durante 24 h y homogeneizadas con ayuda de una licuadora industrial, para después determinar su contenido de humedad (método 925.09), lípidos (método 920.39), proteínas (método 954.01) y cenizas (método 923.03) de acuerdo con la norma AOAC (1997). Para evitar diferencias entre sexos, solo se utilizaron machos para realizar los análisis mencionados.

Evaluación del porcentaje de machos e índice gonadosomático

El porcentaje de machos en cada una de las progenies se determinó extrayendo la gónada de aproximadamente el 25% de la población de cada réplica por tratamiento. Las gónadas se clasificaron como ovarios o testículos. Los peces con ovarios se clasificaron como hembras, mientras que los peces con testículos se clasificaron como machos. La gónada extraída se pesó y se calculó el índice gonadosomático (IGS) utilizando la siguiente fórmula:

$$IGS = (\text{peso de la gónada} / \text{peso del pez}) \times 100.$$

Supervivencia

La supervivencia final (S) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$S = (\text{animales cosechados} \times 100) / \text{animales sembrados}.$

Análisis estadísticos

Para analizar los índices de crecimiento, rendimiento, IGS y perfiles bioquímicos se empleó una prueba t de student con un nivel de significancia de 0.05. Se aplicó una prueba de Tukey cuando se detectaron diferencias significativas. La proporción de machos obtenida fue comparada contra la proporción 1:0 (macho: hembra) esperada para machos YY utilizando una prueba de chi-cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para el desempeño productivo durante el crecimiento, rendimiento, y composición bioquímica se encuentran contenidos en el Tabla 1. No se observaron diferencias significativas entre la pMFL y la pMY Y para el PHF, la LTF final, así como los índices analizados.

La comparación de los índices que reflejan el desempeño productivo durante el cultivo de la pMY Y contra progenies mixtas ha arrojado un mejor desempeño de las primeras (Mair *et al.*, 1995; Perschbacher *et al.*, 2002; Kahn *et al.*, 2014; Zahirul-Islam *et al.*, 2015). Sin embargo, contra progenies masculinizadas los resultados han sido variables, ya que mientras algunos autores reportan un mejor desempeño por parte de la pMY Y (Hopkins *et al.*, 1995; Mair *et al.*, 1995; Mair *et al.*, 1997b; Zahirul-Islam *et al.*, 2015), otros reportan un menor crecimiento (Hopkins *et al.*, 1995; Tuan *et al.*, 1998; ADB, 2005). Tuan *et al.* (1998) mencionan que estas diferencias pueden ser el resultado de las diferencias entre las líneas genéticas a partir de las cuales se originan (en este caso, la pMY Y y la progenie masculinizada) o por problemas de adaptación, especialmente cuando la línea es cultivada bajo condiciones ambientales diferentes a donde fue desarrollada. Los resultados encontrados en la presente investigación son los primeros que muestran un crecimiento similar entre ambas progenies, lo cual puede estar relacionado con el hecho de que ambas progenies fueron desarrolladas dentro de la misma región (Papaloapan) bajo condiciones ambientales similares y de que ambas fueron generadas tomando como base líneas cultivadas en la región. Además, los resultados indican que la modificación

cromosómica presente en el macho reproductor (dos cromosomas Y), no tiene repercusiones negativas *per se* en el desarrollo de su progenie.

De la misma manera, no se observaron diferencias significativas entre progenies, para los parámetros de rendimiento evaluados. Aunque el rendimiento del filete depende del peso alcanzado al momento de la cosecha, es importante mencionar que los valores observados se encuentran dentro de lo reportado para otras líneas e híbridos de tilapia del Nilo (25.4% a 39.0%) (Garduño-Lugo *et al.*, 2003; Hermann *et al.*, 2006; Vieira-Pires *et al.*, 2011; Petterman y Phelps, 2012).

Con respecto a la composición bioquímica, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para el contenido de humedad, cenizas y lípidos. La pMYY mostró los valores más altos en comparación con la pMFL. Estas diferencias pudieron haber sido ocasionadas por las diferencias genéticas propias cada línea de tilapia del Nilo. Sin embargo, la hormona proporcionada a la pMFL para inducir la masculinización pudo haber provocado cambios en

la composición bioquímica del músculo, ya que Alcántar-Vázquez *et al.* (2015) y Lázaro-Velasco *et al.* (2019) reportan que la aplicación de estrógenos (17 β -estradiol y etinilestradiol) en la tilapia del Nilo aumenta el contenido de lípidos en músculo, mientras que el contenido de proteína disminuye significativamente. Por el contrario, Konnur (2013) utilizando testosterona reporta, en la perca trepadora (*Anabas testudineus*), un descenso en el contenido de lípidos y cenizas. En el presente trabajo los alevines adquiridos en la granja comercial fueron masculinizados mediante un tratamiento oral con fluoximesterona, un derivado de la testosterona; por lo tanto, el menor contenido de lípidos y cenizas observado podría explicarse por un posible efecto anabólico, el cual generalmente se presenta en la mayoría de los andrógenos (Piferrer, 2001). Sin embargo, explicar la disminución de humedad resulta más complicado, pues de acuerdo a Zhang *et al.* (2014) en la mayoría de las especies se observa una relación inversa entre el contenido de lípidos y el de humedad. El descenso observado en la pMFL del contenido de lípidos, debería haber ocasionado un incremento en el contenido de humedad. Aunque

Tabla 1. Índices de crecimiento, rendimiento y composición bioquímica de la progenie masculinizada (pMFL) y progenie de machos YY (pMYY) de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Datos obtenidos al final del experimento (105 días de edad).

		pMFL	pMYY
Índices de crecimiento	PHF (g)	376.5 \pm 9.70	375.8 \pm 12.30
	LTF (cm)	25.5 \pm 0.20	25.6 \pm 0.20
	PG (g)	361.3 \pm 9.70	361.3 \pm 12.40
	PGD (g)	3.4 \pm 0.09	3.4 \pm 0.11
	FC	2.3 \pm 0.03	2.2 \pm 0.04
	TCE	3.0 \pm 0.02	3.1 \pm 0.03
	PPG (%)	2380 \pm 68.60	2523 \pm 97.30
Rendimiento	RE (%)	90.6 \pm 1.00	90.0 \pm 0.90
	RFPH (%)	30.9 \pm 0.50	30.4 \pm 0.50
	RFE (%)	34.5 \pm 0.61	33.4 \pm 0.59
Composición bioquímica	CH (%)	16.2 \pm 0.04 ^b	17.2 \pm 0.04 ^a
	CC (%)	3.9 \pm 0.02 ^b	4.5 \pm 0.04 ^a
	CL (%)	6.3 \pm 0.38 ^b	9.4 \pm 0.54 ^a
	CP (%)	43.8 \pm 0.73	42.4 \pm 1.03

PHF = peso húmedo final, LTF = longitud total final, PG = peso ganado, PGD = peso ganado diario, FC = factor de condición, TSC = tasa de crecimiento específico, PPG = porcentaje de peso ganado, RE = rendimiento eviscerado, RFPH = rendimiento del filete en función del peso húmedo, RFE = rendimiento del filete en función del eviscerado, contenido de humedad = CH, contenido de cenizas = CC, contenido de lípidos = CL, contenido de proteínas = CP. Superíndices con diferente letra en la misma fila, indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre progenies.

los valores obtenidos, muestran un descenso más marcado de los valores de lípidos en comparación con los de humedad, es posible que, como se mencionó previamente, la hormona suministrada alterará dichos patrones bioquímicos, provocando un descenso de ambos parámetros.

En la Tabla 2, se presentan los resultados del porcentaje de machos, IGS y supervivencia final de ambas progenies. Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el IGS, presentando la pMYY un valor más alto que el observado para la progenie masculinizada. Lo anterior probablemente fue causado por la presencia de un 8% de hembras en la pMYY. A pesar de lo anterior, el análisis estadístico realizado mostró que la proporción de machos obtenida en la pMYY se comporta de acuerdo con la proporción esperada (1 macho: 0 hembra) para machos YY. Aunque el macho YY utilizado produjo un 100% de machos en su desove previo (Alcántar-Vázquez *et al.*, 2019), motivo por el cual fue seleccionado, el descenso observado en la proporción de machos pudo ser resultado del cambio de hembras con las cuales fue cruzado para obtener los alevines. En estos casos, algunos autores indican que no solo es necesario el manejo de machos YY, sino que estos sean cruzados con hembras que regularmente produzcan altos porcentajes de machos para asegurar un 100% de machos (Mair *et al.*, 1991; Beardmore *et al.*, 2001). De igual forma, Beardmore *et al.* (2001) mencionan que para un desarrollo exitoso de la tecnología YY es necesario la selección y mantenimiento cuidadoso del grupo de reproductores para asegurar porcentajes del 100% de machos.

En lo que respecta al porcentaje de supervivencia final, al igual que los índices de crecimiento, no mostró diferencias significativas entre ambos tipos de progenie. Estos resultados concuerdan con lo reportado para la pMYY en estudios previos (Perschbacher *et al.*, 2002; Zahirul-Islam *et al.*, 2015).

El cultivo bajo condiciones comerciales no mostró diferencias significativas en crecimiento, rendimiento y supervivencia entre la pMFL utilizada en la región y la pMYY desarrollada en la Universidad del Papaloapan. Lo anterior nos indica que la modificación cromosómica (dos cromosomas Y) realizada no afecta negativamente el desarrollo y supervivencia de la progenie. La única diferencia que podría comprometer su futura incorporación al cultivo comercial de la región, es el pequeño porcentaje observado de hembras. Porcentajes similares han sido observados en las pMYY obtenidas por los laboratorios productores a los

cuales la Universidad del Papaloapan ha transferido reproductores YY (92 a 98%). Lo anterior indica la necesidad de desarrollar futuros trabajos enfocados en incrementar el porcentaje de machos obtenidos, basándose en una mejor selección de hembras, que en combinación con los machos YY produzcan poblaciones compuestas por un 100% de machos genéticos. Una alternativa para evitar cualquier problema relacionado con la pequeña proporción de hembras observada, es cultivar la pMYY en jaulas flotantes, para hacer imposible la reproducción no controlada, manteniendo los mismos rendimientos. Este tipo de cultivo está en crecimiento en el estado de Oaxaca, particularmente en el embalse de la presa Cerro de Oro (Miguel de la Madrid), donde, gracias a los convenios de colaboración entre la Universidad del Papaloapan y laboratorios seleccionados de la región, se ha iniciado con la comercialización de la pMYY.

Tabla 2. Porcentaje de machos, índice gonadosomático y supervivencia final obtenidos en la progenie masculinizada (pMFL) y en la progenie de machos YY (pMYY) de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Datos obtenidos al final del experimento (105 días de edad).

	pMFL	pMYY
Porcentaje machos (%)	100.0 ± 0.00	92.0 ± 0.90
Índice gonadosomático	0.4 ± 0.05 ^b	0.9 ± 0.18 ^a
Supervivencia final (%)	98.2 ± 1.00	97.1 ± 1.40

Superíndices con diferente letra en la misma fila, indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre progenies.

CONCLUSIÓN

La pMYY no mostró diferencias con respecto a su desempeño productivo bajo cultivo tipo comercial en comparación con una línea masculinizada de éxito probado en la región del Papaloapan. Aun sin alcanzar el 100% de machos, su rendimiento no fue menor, lo cual sugiere que el cultivo de la pMYY es factible, particularmente en jaulas flotantes. Los precios más bajos a los cuales se podría ofertar la pMYY con respecto a la progenie masculinizada, debido al ahorro del esteroide utilizado para la reversión sexual, así como el beneficio ambiental al reducir la cantidad de sustancias activas en los efluentes de los laboratorios regionales, podrían estimular a los productores para utilizarla en su cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los grupos de trabajo del Laboratorio de Acuicultura de la Universidad del Papaloapan (Campus Loma Bonita) y del laboratorio de Acuicultura Tropical de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBIOL). A la Granja Unidad de Producción del Tesechoacan (Sistema Cooperativo Integral, SISCOIN), por brindar facilidades para la obtención de la línea masculinizada.

Financiamiento. Este proyecto fue financiado por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP, CA: 21092) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, 472542).

Conflicto de interés. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses relacionados con esta publicación.

Cumplimiento de estándares de ética. Los autores afirman que todos los procedimientos que contribuyeron a la realización de este trabajo cumplen con los estándares éticos de las universidades en las cuales fueron llevados a cabo.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con el autor por correspondencia (jupasoul@hotmail.com), con previa solicitud.

REFERENCIAS

- Alcántar-Vázquez, J.P., Santos-Santos, C. Moreno-de la Torre, R., Antonio-Estrada, C. 2014a. Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Oaxaca, México. Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO) - Universidad del Papaloapan (UNPA).
- Alcántar-Vázquez, J.P., Moreno-de la Torre, R., Calzada-Ruiz, D., Antonio-Estrada, C. 2014b. Production of YY-male of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) from atypical fish. Latin American Journal of Aquatic Research. 42(3): 644-648. DOI:103856/vol42-issue3-fulltext-21.
- Alcántar-Vázquez J.P., Rueda-Curiel P., Calzada-Ruiz D., Antonio-Estrada C., Moreno-de la Torre R. 2015. Feminization of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* by estradiol-17 β . Effects on growth, gonadal development and body composition. Hidrobiológica. 25 (2): 275-283.
- Alcántar-Vázquez, J.P., Pozos-Dauzón, L., Calzada-Ruiz, D., Álvarez-González, C.A., Pérez-Carbal, A., López-Hinojosa, R., Antonio-Estrada, C., Moreno-de la Torre, R. 2019. Selection of potential YY males of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and evaluation of the percentage of males obtained. Tropical and Subtropical Agroecosystems 22: 25-31.
- AOAC. 1997. Official methods of analysis of AOAC international. 16th edition. Arlington, VA, USA. Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Arboleda-Obregón, D.A. 2005. Reversión sexual de las tilapias rojas (*Oreochromis* Sp), una guía básica para el acuicultor. Revista Electrónica de Veterinaria. 6: 1-5.
- ADB (Asian Development Bank). 2005. An impact evaluation of the development of genetically improved farmed tilapia and their dissemination in selected countries. Operation evaluation department, Asian Development Bank.
- Beardmore, J.A., Mair, G.C., Lewis, R.I. 2001. Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems and prospects. Aquaculture. 197(1-4): 283-301. DOI:org/10.1016/S0044-8486(01)00590-7.
- Daza V.P. Parra, L., Ochoa, S. 2005. Reproducción de los peces en el trópico. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, INCODER.
- FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FishStatJ. 2016. Estadísticas mundiales de pesca y acuicultura de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>. [última consulta: 2 de mayo de 2017].
- Garduño-Lugo, M., Granados-Álvarez, I., Olvera-Novoa, M.A., Muñoz-Córdova, G. 2003. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia Stirling red *O. niloticus*) males. Aquaculture Research. 34: 1023-1028. DOI:org/10.1046/j.1365-2109.2003.00904.x
- Hermann, L.J., Caetano, F.M., Frossard, H., Machado, M.A. 2006. Características morfológicas, rendimiento e composição

- do filé de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, da linhagem tailandesa, local e do cruzamento de ambas. Semina: Ciências Agrárias, Londrina. 27: 125-132. DOI:10.5433/1679-0359.2006v27n1p125.
- Hopkins, D.K., Szyper, P.J., López, E. 1995. Growth comparison of three strains of Nile tilapia in fertilized ponds. Technical reports: Southeast Asia. Work Plan 7, Thailand study 9. 135-136.
- Jiménez, B.M.L., Arredondo, F.J.L. 2000. Manual técnico para la reversión sexual de tilapia. D.F., México. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- Khan, N., Ashraf, M., Sharif-Mughal, M., Aziz-Qureshi, N., Naeem-Khan, M., Rasool, F., Hafeez-ur-Rehman, M., Nasir, M., Ali, W., Javed-Iqbal, K. 2014. Survival and growth potential of genetically male tilapia (GMT) fry in flow through system under different dietary protein concentrations. Pakistan Journal of Zoology. 46(2): 377-382.
- Konnur, G.R. 2013. Effect of hormones on some biochemical composition of *Anabas testudineus*. International Journal of Advancements in Research & Technology. 2(9): 74-81.
- Lázaro-Velasco, A.J., Isidro-Cristóbal, H.M., Alcántar-Vázquez, J.P., Antonio-Estrada, C., Calzada-Ruiz, D., Moreno-de la Torre, R. 2019. Effect of the combination of a cold-water temperature and exogenous estrogens on feminization, growth, gonadosomatic index and fat muscle content of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Latin American Journal of Aquatic Research. 47: 52-64. DOI: 10.3856/vol47-issue1-fulltext-7
- Leet, K.J., Gall, E.H., Sepúlveda, S.M. 2011. A review of studies on androgen and estrogen exposure in fish early life stages: effects on gene and hormonal control of sexual differentiation. Journal of Applied Toxicology. 31(5): 379-398. DOI: 10.1002/jat.1682.
- Mair, G.C., Scott, A.G., Penman, D. J., Skibinski, D.O.F., Beardmore, J.A. 1991. Sex determination in the genus *Oreochromis* 2. Sex reversal, hybridisation, gynogenesis and triploidy in *O. aureus* Steindachner. Theoretical and Applied Genetic. 82(2): 153-160. DOI:10.1007/BF00226206.
- Mair, G.C., Abucay, J.S., Beardmore, J.A., Skibinski, D.O.F. 1995. Growth performance trials of genetically male tilapia (GMT) derived from YY-males in *Oreochromis niloticus* L.: On station comparisons with mixed sex and sex reversed male populations. Aquaculture. 137(1-4): 313-323. DOI: org/10.1016/0044-8486(95)01110-2
- Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, O.F., Abella, T.A., Beardmore, J.A. 1997a. Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* L. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 54(2): 396-404. DOI:10.1139/cjfas-54-2-396.
- Mair, G.C., Dahilig, L.R., Morales, E.J., Beardmore, J. A., Skibinski, D.O.F. 1997b. Application of genetic techniques for the production of monosex male tilapia in aquaculture: Early experiences from the Philippines. En: Proceedings of the Fourth Central America Symposium on Aquaculture. Tegucigalpa, Honduras. 225-227.
- Müller, B.A., Hörstgen, S.G. 2007. A YY-males *Oreochromis niloticus* strain developed from an exceptional mitotic gynogenetic male and growth performance testing of genetically all-male progenies. Aquaculture Research. 38(1): 773-775. DOI:10.1111/j.1365-2109.2007.01712.x.
- Perschbacher, P., Pfeiffer, T., Jalaluddin, M. 2002. Genetically male Vs. mixed-sex Nile tilapia. Performance compared in RAS. The Advocate-Global Aquaculture Alliance. 72-73.
- Phelps, R.P., Popma, T.J. 2000. Sex reversal of tilapia. En: Tilapia Aquaculture in the Americas. Baton Rouge, LA, USA. The World Aquaculture Society. 34-59.
- Petterman, A.M., Phelps, P.R. 2012. Fillet Yields from Four Strains of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and a Red Variety. Journal of Applied Ichthyology. 24: 342-348. DOI:10.1080/10454438.2012.731480.
- Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. Aquaculture. 197, 229-281. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00589-0.
- Tariq-Ezaz, M., Myers, J., Powell, S., McAndrew, B., Penman, D. 2004. Sex ratios in the progeny of androgenetic and gynogenetic

- YY male Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*. 232 (1-4): 205-214.
DOI:10.1016/j.aquaculture.2003.08.001.
- Tuan, A.P., Little, C.D., Mair, C.G. 1998. Genotypic effects on comparative growth performance of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*. 159(3-4): 293-302. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00189-0.
- Vidal, L.J., Contreras, S.W., Álvarez-González, C.A., Hernández, F.A., Hernández, V. 2010. Técnicas de reversión sexual aplicadas en acuicultura. *Kuxulkab*. 15(27): 49-54.
- Vieira-Pires, A., Mattos-Pedreira, M., Garcia-Pereira, I., da Fonseca-Júnior, A., Vieira-Araújo, C., Héli-da Silva e Silva, L. 2011. Predição do rendimento e do peso do filé da tilápia-do-Nilo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 33(3): 315-319. DOI:10.4025/actascianimsci.v33i3.10838.
- Zahirul-Islam, M., Islam-Sarder, R., Islam-Akhand, R. 2015. Growth performance of genetically male tilapia derived from YY male, sex reversed male tilapia and mixed sex tilapia of *Oreochromis niloticus* in earthen pond aquaculture system in Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2(3): 186-191.
- Zhang, Z., Liu, L., Xie, C., Li, D., Xu, J., Zhang, M., Zhang, M. 2014. Lipid contents, fatty acid profiles and nutritional quality of nine wild caught freshwater fish species of the Yangtze basin, China. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2(7): 288-394.