

Short Communication

Evaluación de la eficiencia productiva de tres líneas de tilapia con reversión sexual en un sistema de recirculación (RAS)

César A. Hernández-Barraza¹, Alejandro B. Trejo-Martínez¹
Jorge Loredo-Osti¹ & Gilberto Gutiérrez-Salazar¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Dr. Norberto Treviño Zapata
Universidad Autónoma de Tamaulipas, Victoria Tamaulipas, México
Corresponding author: César A. Hernández-Barraza (cahernan@email.arizona.edu)

RESUMEN. El presente estudio se evaluó el comportamiento productivo de las líneas de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), híbrida de Spring (*O. niloticus* x *O. mossambicus*) y Pargo-UNAM de 25% híbrido Rocky Mountain (*Oreochromis aureus* x *Oreochromis niloticus*), 25% color rosa *O. niloticus* y 50% híbrido rojo Florida Red Tilapia (*O. urolepis hornorum* x *O. mossambicus*), cultivados en sistema de recirculación. El estudio duró 75 días y se realizó en estanques de polietileno con una capacidad individual de 3.146,6 L. Cada estanque fue dividido en tres compartimentos. Los alevines, previamente masculinizados con la hormona 17- α -metil-testosterona (MT), se contaron individualmente, pesaron y distribuyeron aleatoriamente en tres grupos iguales de 60 alevines cada uno. El primer grupo de tilapia del Nilo tuvo un peso promedio inicial de $1,43 \pm 0,38$; el segundo, híbrido de Spring de $1,20 \pm 0,23$ g y el tercero Pargo-UNAM de $1,28 \pm 0,24$ g. Las variables medidas fueron ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y sobrevivencia para cada una de las líneas. Al final del ensayo, las líneas de tilapia del Nilo e híbrido de Spring, mostraron un mejor desempeño (crecimiento e índice de conversión), con diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en comparación con el pargo UNAM, que mostró un incremento promedio de peso y conversión alimenticia inferior. No se observaron diferencias significativas entre las líneas, en lo que a sobrevivencia se refiere ($P \geq 0,05$).

Palabras clave: *Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus*, tilapia, sistema de recirculación (SRA), alevines.

Evaluation of the productive efficiency of three strains of tilapia sex reversal in a recirculation system (RAS)

ABSTRACT. This study was conducted to evaluate the productive performance of three strains. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), hybrid of Spring (*O. niloticus* x *O. mossambicus*) and Pargum-UNAM from 25% hybrid Rocky Mountain (*Oreochromis aureus* x *Oreochromis niloticus*), 25% pink *O. niloticus* and 50% of red hybrid Florida Red Tilapia (*O. urolepis hornorum* x *O. mossambicus*), reared in a recirculating aquaculture system (RAS). The study lasting 75 days was carried out in polyethylene tanks with an individual capacity of 3.146,6 L. Each tank was divided in three compartments. Fry were previously masculinized with 17- α -methyl-testosterone (MT) hormone, counted individually, weighed and randomly distributed into three equal groups of 60 each. The first group Nile tilapia, had an average initial weight of $1,43 \pm 0,38$ the second, hybrid of Spring, recorded a weight of 1.20 ± 0.23 g and the third red Pargum-UNAM, weighed 1.28 ± 0.24 g. The variables measured were: daily weight gain, feed conversion and survival rate for each of the strains. At the end of the trial, the strains of Nile tilapia and hybridizes of Spring, showed a better performance (growth and conversion factor) with significant differences ($P \leq 0.05$) compared with Pargum-UNAM, which showed a lower weight and conversion factor. There were not significant differences among the strains in survival ($P \geq 0.05$).

Keywords: *Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus*, tilapia, recirculating aquaculture system (RAS), fry.

Entre los países que cultivan tilapia, se encuentra México, que ocupa un lugar importante como productor, con sistemas de producción dedicados principalmente a su cultivo (Young & Muir, 2000; Castillo, 2003; Tingman *et al.*, 2010; Sosa-Villalobos *et al.*, 2016). La actividad acuícola en el país, se basa principalmente en el cultivo de siete especies introducidas entre las que la tilapia, ocupa un lugar relevante en el mercado (SEMARNAT, 2012), siendo el segundo producto pesquero más importante en la acuicultura mundial, por debajo únicamente de la producción de la carpa, con una producción anual que excedió los 3 millones de toneladas en el 2010 (FAO, 2012). El cultivo de tilapia en México es relativamente reciente y sin embargo, su producción se ha incrementado en forma constante y progresiva, representando más del 60% de la producción nacional (Apún *et al.*, 2009). Durante el periodo 1984-2002, creció a una tasa anual de 12,8%. En 2006, las cifras oficiales mostraron una producción de 69.214 ton (CONAPESCA, 2006), mientras que en el 2011 se alcanzó un total de 75.927 ton (CONAPESCA, 2011), logrando un crecimiento de 5,4% para el 2015, lo que significa un volumen de producción de 80.000 ton, obtenidas en más de 3.000 unidades acuícolas distribuidas en el país (CONAPESCA, 2015).

Entre las diferentes líneas de tilapia, *Oreochromis niloticus* ha sido ampliamente reconocida y utilizada por su potencial desempeño productivo y sujeta a evaluación bajo diferentes métodos de cultivo en los diversos países donde se produce, de hecho, es la variedad de tilapia más comúnmente cultivada en el mundo entero (Jousupeit, 2007). *O. niloticus*, es considerada como una de las especies de mejor crecimiento y sobrevivencia dentro de las tilapias, mostrando tolerancia a condiciones de salinidad y una notable aceptación en el mercado consumidor (Meyer *et al.*, 2006; Khaw *et al.*, 2012; Pérez-Fuentes, 2016).

Además, los productores están observando cuidadosamente, un segmento del mercado mexicano que demanda la tilapia roja (*Oreochromis* spp.), siguiendo la misma tendencia determinada en consumidores de otros países, donde su consumo es cada vez mayor (Ramírez-Paredes *et al.*, 2011). A pesar de esta predilección, el incremento de la producción global de tilapia roja, ha sido poco significativo desde 1995 (Jousupeit, 2007), debido quizás, a que sus rendimientos productivos no son tan atractivos económicamente, comparados con los de otras líneas de tilapia (Muñoz-Córdova *et al.*, 2009). Sin embargo, la tilapia roja, posee la ventaja de ser altamente tolerante a la salinidad y se adapta a cualquier sistema de producción, lo cual la hace interesante para su cultivo (Pradeep, 2014). La tilapia roja, es un tetra híbrido, producto de

un cruce híbrido entre cuatro especies representativas del género *Oreochromis*: *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum* y *O. aurea*. Cada una de estas especies aporta al híbrido sus mejores características, resultando uno de los peces con mayor potencial para la acuicultura comercial en el mundo (Castillo, 2001). La tilapia se cultiva bajo diferentes sistemas y uno de ellos es de recirculación de agua (SRA). En este sistema, el agua tratada biológicamente, se recicla de nuevo a los estanques (Wik *et al.*, 2009) y los residuos sólidos que se filtran son eliminados, mientras que el oxígeno se incorpora para mantener una concentración acorde con la densidad de peces, lo que incrementa los niveles de bio-seguridad (Merino, 2005). Las características de estos sistemas son: la reutilización de agua, reducción de descarga de efluentes y óptima conservación del agua (El Sayed, 2006), que es tratada en un biofiltro para la conversión biológica de nitrógeno de amoníaco a nitrato (Timmons *et al.*, 2009). Considerando que el cultivo comercial de tilapia representa un valioso recurso generador de fuentes de empleo e ingresos para el sector primario nacional, resulta necesario encontrar opciones que incrementen su rentabilidad en los centros de producción acuícola. Por lo anterior, es importante realizar estudios que evalúen los parámetros de producción (conversión alimenticia, ganancia de peso y supervivencia), en diferentes líneas de tilapia, para determinar su eficiencia y adaptabilidad en la región donde se cultive.

La presente investigación se realizó para evaluar el comportamiento productivo de tres líneas de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), híbrida de Spring (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*) y Pargo-UNAM, población sintética, conformada por los grupos genéticos: Rocky Mountain (25%), *Oreochromis niloticus* (25%) y tilapia roja de Florida (50%), cultivándolas bajo un sistema de recirculación.

Ese trabajo se efectuó en el laboratorio de producción acuícola de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, localizada en Cd. Victoria, Tamaulipas (23°44'06"N, 97°09'50"W), altura 340 m.s.n.m., precipitación anual promedio 900 mm, temperatura media anual de 25°C y clima semicálido. Se utilizaron tres estanques plásticos circulares de 3.146 L por unidad. De manera adicional, se emplearon láminas de policarbonato con espesor de 8 mm, doble pared y aislante térmico, para dividir cada uno de los estanques en tres compartimentos iguales. Los estanques fueron equipados con sistema de aireación de piedras difusoras de 15 cm, manguera para aireación de 10 mm y tubería PVC hidráulico C40 de 5,8 cm. Se emplearon alevines de tilapia masculinizados, adquiridos en dos centros de producción especializados establecidos en los estados de Veracruz y Sinaloa, México. Las dos primeras líneas

tilapia del Nilo y Pargo-UNAM, fueron producidas en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, Veracruz. La tercera línea denominada híbrida de Spring, se obtuvo del laboratorio de Spring Genetics, en el Municipio de Mazatlán, Sinaloa. El bioensayo tuvo una duración de 75 días empleando 180 alevines por estanque, los cuales fueron pesados y distribuidos al azar en tres grupos de 60 tilapias cada uno, dando un total de 540 alevines utilizados. El diseño experimental fue de tres tratamientos con tres repeticiones, el primero de la línea tilapia del Nilo, el segundo de la línea híbrida de Spring y el tercero de la línea Pargo-UNAM. Para medir las variables de ganancia de peso, índice de conversión alimenticia y sobrevivencia, se realizaron registros de peso y talla de los ejemplares cada 15 días, determinando para cada tratamiento los parámetros zootécnicos característicos como tasa específica de crecimiento, índice de conversión alimenticia y sobrevivencia de acuerdo a las ecuaciones descritas por Ricker (1979). Se empleó un alimento comercial flotante de Nutripec de Purina, con 50% de proteína, 15% de grasa cruda, 2,5% de fibra cruda y 12% de cenizas, respectivamente, alimentando los peces tres veces al día, sobre la base del 9% de su biomasa. Los resultados obtenidos, fueron sometidos a análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos. El nivel de sobrevivencia se expresó en porcentaje y se analizó mediante la prueba estadística de chi-cuadrado (χ^2), con el mismo nivel de significancia ($P < 0,05$).

Las tres líneas evaluadas, tilapia del Nilo, híbrida de Spring y Pargo-UNAM se sembraron con pesos individuales promedio de 1,43 g \pm 0,38; 1,20 g \pm 0,23 y 1,28 g \pm 0,24, respectivamente. Al término del estudio, los pesos promedio de las líneas tilapia del Nilo (31,96 g \pm 7,89) e híbrida de Spring (31,37 g \pm 7,15), resultaron similares, en contraste con Pargo-UNAM (20,48 g \pm 3,68), observándose diferencias significativas ($P < 0,05$). La ganancia de peso promedio por día, resultó en 0,407 g para tilapia del Nilo, 0,402 g para la tilapia híbrida de Spring y 0,256 g para Pargo-UNAM, que representa una diferencia de aproximadamente 35% entre las dos primeras líneas y el Pargo-UNAM ($P > 0,05$) (Tabla 1).

El mejor desempeño se obtuvo en la tilapia del Nilo e híbrida de Spring (1,25 y 1,14 respectivamente), mientras que Pargo-UNAM, los peces obtuvieron un ICA de 1,40 observándose para este parámetro diferencias significativas ($P < 0,05$). La sobrevivencia de los peces al final del ensayo, no presentó diferencias significativas para esta variable ($P > 0,05$). Los

parámetros de calidad de agua se mantuvieron en rangos aceptables para los tres grupos (Tabla 2), siendo la temperatura media del agua durante todo el experimento de 28,1 \pm 0,4°C, pH 7,8, oxígeno disuelto 4,7 \pm 0,14 mg L⁻¹, amonio 0,20 \pm 0,6 mg L⁻¹, nitrato 0,5 \pm 0,04 mg L⁻¹ y nitrito 0,02 \pm 0,002 mg L⁻¹.

La calidad del agua en este experimento, se mantuvo dentro de los rangos aceptables para la tilapia de acuerdo a Ross (2000) y Pompa & Masser (1999). La concentración de oxígeno disuelto varió entre 4,6 y 4,8 mg L⁻¹, que coincide con Boyd (1992), quien menciona que los niveles de oxígeno disuelto para la tilapia, deben ser >4 mg L⁻¹. Las líneas tilapia del Nilo e híbrida de Spring obtuvieron un mayor crecimiento y mejor conversión de alimento que la línea Pargo-UNAM. Estas dos líneas, tienen una fácil adaptación a diferentes condiciones de clima y agua. Aguilera & Noriega (1986) han señalado que en México, *O. niloticus* es una de las especies más adecuada y productiva, en virtud de su buen crecimiento y excelente conversión alimenticia. En contraparte, Muñoz & Garduño (1994), han sostenido que la tilapia roja, tiene un crecimiento inferior al de otras especies de tilapia. De acuerdo con Suresh (2000), las tilapias deben mostrar una ganancia de peso diaria de al menos 0,50 g bajo condiciones favorables. En estudios sobre crecimiento de tilapia del Nilo, Cruz & Ridha (2001) reportaron resultados similares a los alcanzados en este bioensayo, con una ganancia diaria de peso en 0,43 g en sistema de recirculación. Adicionalmente, Abo-State *et al.* (2009) reportaron un crecimiento menos significativo en grupos de *O. niloticus* alimentados con dietas diferentes, con ganancias diarias entre 0,256 y 0,320 g día⁻¹. A pesar que la mayor parte de los estudios sobre crecimiento de tilapia, reportan mayor crecimiento en tilapia del Nilo (*O. niloticus*) que en tilapia roja (*O. mossambicus*), hay algunos autores como Castro *et al.* (2004) y Botello *et al.* (2011), que al evaluar varias líneas encontraron mayor eficiencia en la tilapia roja con una ganancia diaria promedio de 0,390 g. Por otra parte, Llanes *et al.* (2007) reportaron una ganancia diaria individual de 0,220 g en tilapia roja (*O. mossambicus* x *O. niloticus*), muy por debajo de los resultados alcanzados con la línea híbrida de Spring, producto también de *O. niloticus* x *O. mossambicus*, con la que se logró obtener 0,402 g día⁻¹. En relación al índice de conversión alimenticia (ICA), la línea híbrida de Spring mostró un mejor desempeño con 1,14 en contraste con los alevines de tilapia del Nilo y Pargo-UNAM, que obtuvieron 1,25 y 1,40 respectivamente. Ruiz *et al.* (2006) consiguieron un ICA, similar para tilapia nilótica correspondiente a 1,21. Con respecto a la sobrevivencia no se encontró diferencias significati-

Tabla 1. Parámetros de producción de las distintas líneas de tilapia (tilapia del Nilo, híbrida de Spring y Pargo UNAM), cultivada por 75 días, en tres estanques de 3,14 m³ de agua, en sistema de recirculación de agua (SRA). Peso (media ± desviación estándar), TEC: tasa específica de crecimiento, ICA: índice de conversión alimenticia; FCA: factor de conversión alimenticia.

Parámetros/líneas	Tilapia del Nilo	Híbrida de Spring	Pargo-UNAM
Nº de peces	60	60	60
Peso inicial (g) ⁽¹⁾	1,43 g ± 0,38	1,20 g ± 0,23	1,28 g ± 0,24
Peso final (g) ⁽¹⁾	31,96 g ± 7,89	31,37 g ± 7,15	20,48 g ± 3,68
Tasa de crecimiento (% gramo/día ⁻¹) ⁽²⁾	0,407	0,402	0,256
FCA	1,25	1,14	1,40
Sobrevivencia (%)	85,6	85,0	84,4

⁽¹⁾Media ± desviación estándar de la población, ⁽²⁾Media ± desviación estándar de las tres repeticiones.

Tabla 2. Temperatura, pH, oxígeno disuelto, amoníaco y nitratos obtenidos durante el periodo experimental en los tanques con recirculación de agua (SRA).

Parámetros	Tilapia del Nilo	Híbrida de Spring	Pargo-UNAM
Temperatura (°C)	28,27 ± 0,25°C	28,15 ± 0,28°C	28,25 ± 0,22°C
pH	7,8 ± 0,23	7,8 ± 0,26	7,8 ± 0,24
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	4,7 ± 0,2	4,6 ± 0,1	4,8 ± 0,2
Amoníaco-NH ₃ (mg L ⁻¹)	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,001
Nitratos-NO ₃ (mg L ⁻¹)	0,5 ± 0,04	0,5 ± 0,06	0,5 ± 0,04
Nitritos-NO ₂ (mg L ⁻¹)	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,002	0,02 ± 0,002

vas entre los tres grupos. Estos resultados, fueron igual o menor que los reportados en otras investigaciones. Llanes *et al.* (2007) obtuvieron una sobrevivencia de 93,3% utilizando tilapia roja; mientras que Ruiz *et al.* (2006), reportaron un 99,85% con tilapia del Nilo.

Finalmente, se encontró que las líneas de tilapia del Nilo e híbrida de Spring, mostraron un desempeño productivo más sobresaliente que la línea Pargo-UNAM, además de un mayor grado de adaptación al medio ambiente, lo que les permitió alcanzar mejores resultados. Las variaciones y respuestas en el comportamiento productivo entre las diferentes líneas de tilapia, pueden ser un posible reflejo de dificultades de adaptación de los peces a un clima diferente al de su origen, además de sus características genéticas individuales. Bajo esta premisa, la tilapia del Nilo e híbrida de Spring, poseen un atractivo potencial de producción, por lo que se recomienda promover su cultivo en esta región centro del estado y continuar realizando evaluaciones productivas y económicas, en las tres líneas diferentes, hasta que alcancen su peso y valor comercial. Adicionalmente, se sugiere realizar ensayos de estas mismas líneas en agua salada donde por sus antecedentes, la Pargo-UNAM, ha mostrado mejores rendimientos de producción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por el

apoyo financiero proporcionado para el desarrollo de esta investigación. El presente estudio, fue realizado en el marco del proyecto UAT-AGRO-1357 Análisis de la productividad de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de recirculación de agua.

REFERENCIAS

- Abo-State, H.A., A.M. Tahoun & Y.A. Hammouda. 2009. Effect of replacement of soybean meal by DDGS combined with commercial phytase on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerling growth performance and feed utilization. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 5(4): 473-479.
- Aguilera, H.P. & C.P. Noriega. 1986. La tilapia y su cultivo. Fondepesca, Secretaría de Pesca, México D.F., 59 pp.
- Apún, J.P., A.P. Santamaría, A. Luna, S.F. Martínez & M. Rojas. 2009. Effect of potential probiotic bacteria on growth and survival of tilapia *Oreochromis niloticus* L., cultured in the laboratory under high density and suboptimum temperature. *Aquacult. Res.*, 40: 887-894.
- Botello, A.L., T.M.C. Viana, M.V.L. Cisneros, M.N. Valdiviá, E.P. Ariza, E.T.G. Girón, G.S. Silvera, Y.R. Valera, M.E. Cutido, O.M. Miranda, I.A. Gómez, A.R. Botello & J. Guerra. 2011. La harina de caña proteica como alimento local en la producción de tilapia roja (*Oreochromis spp.*). *REDVET*, 12(6): 1-10.

- Boyd, E.C. 1992. Water quality in warm water fish. Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University, Alabama, 359 pp.
- Castillo, C.L.F. 2001. Tilapia roja una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. Cali, Valle, Colombia. [www.todomaiz.com/acquapia/]. Revisado: 24 enero 2016.
- Castillo, C.L.F. 2003. Modelo de desarrollo del cultivo de tilapia en América Latina: perspectivas. 1er Foro Internacional de Acuicultura, un encuentro con el mercado. Memorias de la reunión nacional de tilapia. Instituto Nacional de la Pesca (INP), Guadalajara, Jalisco. SAGARPA, México, pp. 39-92.
- Castro, R.R., G.J. Hernández & B.G. Aguilar. 2004. Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de tilapia (*Oreochromis* sp.) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca, México. Rev. Aquat., 20: 38-43.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONA-PESCA). 2006. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2006. Mazatlán, Sinaloa, 219 pp.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONA-PESCA). 2011. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, Sinaloa, 311 pp.
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONA-PESCA). 2015. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, Sinaloa, 438 pp.
- Cruz, E.M. & M.T. Ridha. 2001. Growth and survival rates of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) L. juveniles reared in a recirculating system, fed with floating and sinking pellets. Asian Fish. Sci., 14: 9-16.
- El-Sayed, A.M. 2006. Tilapia culture. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, 277 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2012. The state of world fisheries and aquaculture 2012. FAO, Rome, 209 pp.
- Jousupeit, H. 2007. World supply situation and outlook for tilapia "World tilapia trade". In: Ch. Harris, J. Linden, Ch. Wright, S. Mikesell & Ch. Johnson (eds.). Proceedings of the Second International Technical & Trade Conference & Exposition on Tilapia, 23-25 August 2007, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 3-12.
- Khaw, H.L., R.W. Ponzoni, A. Hamzah, K.R. Abu-Bakar & P. Bijma. 2012. Genotype by production environment interaction in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 326-329: 53-60.
- Llanes, J., J. Toledo & J.L. Vega. 2007. Tecnología de producción de alimentos semi-húmedo a base de ensilados de residuos pesqueros en la alimentación de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). REDVET, 8: 1-6.
- Merino, G.E. 2005. Tecnología de recirculación de agua aplicada al cultivo de moluscos. Curso-Taller de Recirculación de Agua Aplicado al Cultivo de Moluscos. Universidad Católica del Norte, Coquimbo, 150 pp.
- Meyer, D., C. Castillo & S. Triminio. 2006. Manual de prácticas de acuicultura. Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, 111 pp.
- Muñoz, G. & M. Garduño. 1994. Comparación del crecimiento entre *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* y su híbrido bajo condiciones de cultivo. Vet. Méx., 25(4): 323-326.
- Muñoz-Córdova, G., M. Salazar-Ulloa, M. Garduño-Lugo & M. Rubio-Godoy. 2009. Performance of a new synthetic population of tilapia Pargo-UNAM, Nile Tilapia and Mozambique Tilapia in Veracruz, Mexico. World Aquaculture Society Book Abstracts 2009 of The Annual International Conference and Exposition of the World Aquaculture Society & The Annual International Conference & Caribbean Chapter, WAS, 25-29 September, 598 pp.
- Pérez-Fuentes, J.L., C.I. Pérez-Rostro, M.P. Hernández-Vergara, I.A. Amaro-Espejo & Z. Huicab-Pech. 2016. Comparación e interacción genotipo ambiente del desempeño productivo en tres líneas genéticas de tilapia *Oreochromis* sp. Trop. Subtrop. Agroecosys., 19: 11-17.
- Popma, T. & M. Masser. 1999. Tilapia life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), Publication 283, USA, 4 pp.
- Pradeep, P.J. 2014. Optimal conditions for cold-shock induction of triploidy in red tilapia. Aquacult. Int., 22: 1163-1174.
- Ramírez-Paredes, J.G., M. Garduño-Lugo & G. Muñoz-Córdova. 2011. Productive performance of a new synthetic red tilapia population 'Pargo-UNAM' compared with that of wild type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquacult. Res., 43(6): 870-878.
- Ricker, W.E. 1979. Growth rates and models. In: W.S. Hoar, D.J. Randall & J.R. Brett (eds.). Fish physiology, bioenergetics and growth. Academic Press, New York, pp. 677-743.
- Ross, L.G. 2000. Environmental physiology and energetics. In: M.C.M. Beveridge & B.J. McAndrew (eds.). Tilapias: biology and exploitation, fish and fisheries. Series 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 89-128.
- Ruiz, V.A.J.M., V.R. Tapia, P.J.R. García & V.H. González. 2006. Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. REDVET, 7(11): 1-12.

- Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. México D.F., 382 pp.
- Sosa-Villalobos, C., M.R. Castañeda-Chávez, I.A. Amaro-Espejo, I. Galaviz-Villa & F. Lango-Reynoso. 2016. Diagnóstico del estado actual de los sistemas de producción acuícola con respecto al medio ambiente en México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(2): 193-201.
- Suresh, A.V. 2000. Tilapia update 1999. *World Aquacult.*, 31(4): 16-58.
- Timmons, M.B., J.M. Ebeling & R.H. Piedrahita. 2009. *Acuicultura en sistemas de recirculación*. Editorial Cayuga Ventures, Ithaca, 959 pp.
- Tingman, W., Z. Jian & Z. Xiaoshuan. 2010. Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain. *Afr. J. Biotechnol.*, 9(37): 6146-6151.
- Wik, T.E.I., B.T. Lindén & P.I. Wramner. 2009. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 287: 361-370.
- Young, J.A. & J.F. Muir. 2000. Economics and marketing In: M.C.M. Beveridge & B.J. Andrew (eds.). *Tilapias: biology and exploitation*. Kluwer Academic Publishers, London, pp. 447-487.

Received: 12 January 2016; Accepted: 25 August 2016