

Crecimiento de *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades en sistema superintensivo con biofloc

Rodrigo García*, José Solís, Ángel Ancona, Román Centurión, Diana Cabañas y Álvaro Escamilla

Departamento de Ingeniería en Acuicultura

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Lerma

Lerma, Camp.; México

*Autor de correspondencia: rodrigo.gt@lerma.tecnm.mx

Abstract— The present study was carried out in the experimental aquaculture module of the Technological Institute of Lerma, Campeche, with the purpose of evaluating the growth of the tilapia species *Oreochromis niloticus* at different culture densities in circular ponds in a super-intensive culture system using biofloc in water brackish using C:N ratios 20:1 for 16 g fish, 12:1 when fish reached 50 g, and 8:1 when fish reached 100 g. The fattening of *O. niloticus* was carried out in plastic ponds with a capacity of 1 m³, through proper management of the culture ponds and efficiency in the supply of food. Growth in juveniles was evaluated using an ANOVA analysis of variance at three culture densities: 250, 200 and 150 organisms/m³, in triplicate. The juveniles used in the experiment presented an initial average weight of 16.8 ± 0.36 g, at 90 days they increased to 293.03 ± 18.20 g and at 180 days they reached a final average weight of 575.66 ± 11.70 g, 592.73 ± 10.45 and 608.33 ± 5.75 g, for treatments 1, 2 and 3, respectively. Regarding growth, it was possible to determine that there are no significant differences between the culture densities ($p > 0.05$). The final Feed Conversion Factor was 1.18, a value that is among the best for commercially farmed tilapia nilotica. Regarding survival, at the end of the experiment the percentage was 72% for T1, 78% for T2 and 85% for T3.

Keywords - culture, growth, superintensive, biofloc, brackish.

Resumen— El presente estudio se realizó en el módulo experimental de acuicultura del Instituto Tecnológico de Lerma, Campeche, con la finalidad de evaluar el crecimiento de la especie tilapia *Oreochromis niloticus* a diferentes densidades de cultivo en estanques circulares en un sistema superintensivo de cultivo utilizando biofloc en agua salobre utilizando las relaciones C:N 20:1 para peces de 16 g, 12:1 cuando los peces alcanzaron los 50 g, y 8:1 cuando los peces llegaron a 100 g. La engorda de *O. niloticus* se desarrolló en estanques de plástico con capacidad de 1 m³, mediante un manejo adecuado de los estanques de cultivo y eficiencia en el suministro del alimento. Se evaluó el crecimiento en juveniles utilizando un análisis de varianza ANOVA a tres densidades de cultivo: 250, 200 y 150 organismos/m³, por triplicado. Los juveniles utilizados en el experimento presentaron un peso inicial promedio de 16.8 ± 0.36 g, a los 90 días incrementaron a 293.03 ± 18.20 g y a los 180 días alcanzaron un peso promedio final de 575.66 ± 11.70 g, 592.73 ± 10.45 y 608.33 ± 5.75 g, para los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. En cuanto al crecimiento, se pudo determinar que no existen diferencias significativas entre las densidades de cultivo ($p > 0.05$). El Factor de Conversión Alimenticia final fue de 1.18, valor que se considera dentro de los mejores para la tilapia nilotica cultivada comercialmente. En cuanto a la sobrevivencia, al final del experimento el porcentaje fue del 72 % para T1, 78 % para T2 y 85 % para T3.

Palabras claves - cultivo, crecimiento, superintensivo, biofloc, salobre.

I. INTRODUCCIÓN

La tilapia es una especie tropical que presenta un rápido crecimiento y una alta adaptabilidad a diferentes ambientes de cultivo [1]. Su cultivo está en expansión, principalmente en Asia, América del Sur y África. La producción mundial alcanzó 3'670,260 toneladas en 2014 [2]. En México la producción de tilapia es una actividad acuícola importante ya que juega un papel transcendental como actividad productiva en el país, donde el mayor número de granjas y los datos indican que es la especie con el mayor tonelaje para el consumo en México y que se importa al no satisfacer la demanda nacional. La tilapia es cultivada en 31 de sus estados siendo los mayores productores: Chiapas, Jalisco, Sinaloa, Tabasco, Guerrero, Estado de México y Veracruz [3].

La utilización de alta tecnología en el sector acuícola mexicano es muy limitada, ya que de las 4,623 granjas de tilapia que operan en el país son predominantemente extensivas y semiintensivas generalmente con rendimientos y con un uso ineficiente de los recursos [4]. El cultivo de la tilapia (*O.*

niloticus) se ha vuelto competitivo y, como tal, la tecnología utilizada debe ser eficiente en todos los aspectos: productividad, calidad, sostenibilidad, bioseguridad [5].

El sistema biofloc es actualmente una tecnología altamente empleada para el cultivo de *O. niloticus* debido a su alta eficiencia, productividad, sostenibilidad, bioseguridad y menor uso de alimento.

El enfoque sostenible de la tecnología de biofloc se basa en el crecimiento de microorganismos en el medio de cultivo, beneficiado con el mínimo o cero recambio de agua requerido [6], así los cultivos bajo este sistema son conocidos también por sus altas densidades de población de peces [7], además de estar equipados con aireación y agitación del agua para producir agregados de biota aeróbica y heterótrofa de flóculos microbianos (es decir, bacterias, microalgas, protozoos, rotíferos, heces, restos de alimento y animales muertos)[8,9]. Bajo estas condiciones, la tilapia puede utilizar de manera eficiente la proteína microbiana unicelular producida a través de nitrógeno amoniacal disuelto en la comunidad bacteriana heterótrofa. Estas características de la tilapia favorecen que sean especies de peces adecuadas que se pueden cultivar con la tecnología biofloc [10]. Tal y como lo indican Widanarni [11], que la aplicación de biofloc en el cultivo de tilapia roja puede mejorar la calidad del agua y la supervivencia de los peces, así como reducir la necesidad de alimentación externa.

La dinámica de la tecnología biofloc en el sistema de cultivo se basa en el adecuado manejo de la relación C: N para la remoción y asimilación de nutrientes en el agua a través de bacterias heterótrofas, las cuales estimulan la producción de proteína microbiana, fenómeno influenciado por la interacción de los parámetros físicos y químicos del agua, que a su vez influyen en los organismos presentes en el sistema [12,13].

En la mayoría de investigaciones con peces esta relación C:N se encuentra en rangos que van desde 10:1 hasta 25:1 [14, 15, 16 y 17], de acuerdo a las condiciones de cultivo y de la especie. Crab *et al.*, recomiendan que para el cultivo de tilapia se debe trabajar con relaciones de 20:1; sin embargo Pérez-Fuentes *et al.*, [18] encontraron que la relación C:N de 10:1 es adecuada para la reducción mínima del amoníaco, obteniendo excelentes resultados en performance del cultivo de tilapia. La fuente y cantidad de carbono orgánico (diferentes relaciones carbono/ nitrógeno), influencia sobre las comunidades microbianas y composición centesimal del biofloc [19, 20].

Las ventajas del cultivo en sistema bioflocs han sido demostradas a través de varias investigaciones que mencionan resultados favorables en el crecimiento y la supervivencia de tilapia. Avnimelech explica el potencial de la alimentación que se brinda en el cultivo de *O. mossambicus*, obteniendo un rápido crecimiento mediante el consumo exclusivo de proteína microbiana durante 24 horas. Otros autores, entre los que destacan Avnimelech y Kochba [21], Long *et al.* [22] y Pérez-Fuentes *et al.*, coinciden en mencionar que la utilización del sistema biofloc mejora la conversión alimenticia ya que es el indicador de la retención proteica en organismos cultivados, la actividad enzimática, actividad hematológica y la respuesta inmunológica de peces.

El empleo de altas densidades de cultivo en sistemas que utilizan tecnología biofloc ha sido citado como uno de sus puntos positivos [23]. La tecnología biofloc se ha utilizado en el cultivo intensivo de tilapia debido a su capacidad de soportar altas densidad, tolerar condiciones ambientales y a sus hábitos alimenticios omnívoros que ingiere diversos tipos de alimento [24]. Así mismo, Widanarni *et al.*, estudiaron el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) a altas densidades en un sistema biofloc, reportando que estos factores tienen influencia en la calidad del agua y el rendimiento de la producción de peces. Lo cual queda demostrado con el trabajo de Wambach [25], en el cual reporta que los valores más altos en peso final, peso específico y supervivencia se alcanzó con una densidad de 45 org/m³ bajo un sistema biofloc.

De igual manera se ha observado que el principio básico del sistema biofloc es el mínimo recambio de agua, esta tecnología puede operar, por ejemplo, con agua en la salinidad óptima para cada especie acuícola [26]. De hecho, se ha observado que el crecimiento de la tilapia del Nilo es mejor en una salinidad moderada [27 y 28]. Por lo que el uso de agua salina no sería un problema en un sistema de biofloc de mínimo intercambio de agua, ya que la salinidad reduce la toxicidad del nitrito [29]. Schofield *et al.* [30] reportan que *O. niloticus* presenta un buen desarrollo a salinidades de 0 a 18 g/l sin afectar su supervivencia. Sin embargo, cuando esta especie se cultiva en agua de mar (>30 g/l) su crecimiento se reduce en un 60% [31].

Estudios más recientes han obtenido resultados satisfactorios a salinidades de hasta 25 g/l [32]. Entre los productores se cree que una salinidad de 20 g/l debería ser el límite recomendado [33]. Algunos estudios reportan los efectos de la salinidad en el agua utilizada en el cultivo de tilapia del Nilo asociado al sistema biofloc [34, 35]. En este sentido Alves *et al.* [36] han demostrado que el agua salina puede reducir la mortalidad de los alevines de tilapia del Nilo (*O. niloticus*) transferidos a sistemas de biofloc durante la fase de formación, cuando generalmente se producen picos de nitrito peligrosos.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento y sobrevivencia en la tilapia (*O. niloticus*) a diferentes densidades en estanques circulares utilizando biofloc en agua salobre.

II. METODOLOGÍA

Zona de estudio

El estudio se realizó en el Módulo experimental del área de acuicultura del Instituto Tecnológico de Lerma, ubicado en el km 10 carretera Campeche-Champotón, Lerma, Campeche.

Obtención de organismos

Para el experimento, se utilizaron 1800 alevines de tilapia (*O. niloticus*) del laboratorio de producción central acuícola de la localidad de China, Campeche (Fig. 1).



Fig. 1. Alevines de tilapia *O. niloticus*

Transporte de organismos al área de cultivo

Los organismos fueron transportados en 2 rotoplas con capacidad de 1000 litros c/u, a los cuales se le suministro aire mediante un tanque de oxígeno durante el viaje. El transporte se realizó en una camioneta cerrada, el viaje se realizó en un tiempo aproximado de 30 minutos, del laboratorio de producción al laboratorio experimental del Instituto Tecnológico de Lerma.

Aclimatación y siembra de organismos

Previo a la siembra, se procedió al registro de los parámetros ambientales como: temperatura (°C), oxígeno (mg/l), salinidad (ups) y pH, tanto en el rotoplas utilizado en el transporte como en los estanques donde se sembraron los organismos, los cuales fueron preparados previamente. La diferencia de la temperatura del agua de transporte y el agua del estanque fueron menores de 2°C, esto permitió una rápida homogenización de la temperatura, concluyendo el proceso de aclimatación en 20 minutos. Previo a la siembra en los tanques de cultivo, a los organismos se les aplicó un baño profiláctico con azul de metileno, con la finalidad de eliminar microorganismos en los peces. La siembra se realizó de manera aleatoria utilizando tres tratamientos (T1= 250 org/m³, T2= 200 org/m³ y T3= 150 org/m³).

Posteriormente, los organismos fueron colocados en 9 estanques de plástico con un volumen de 1 m³ c/u (Fig. 2). El sistema de aireación fue continuo para todo el ciclo de cultivo, empleando para esto un blower de 3 HP.



Fig. 2. Cultivo de Tilapia (*O. niloticus*) en sistema Biofloc.

Cálculo, preparación y suministro del biofloc

Inicialmente se realizó el cálculo para poder determinar la cantidad de biofloc en cada estanque de cultivo, para ello se consideró la biomasa del estanque y la densidad de cultivo.

La preparación del biofloc se realizó mezclando los siguientes ingredientes, melaza, urea, probiótico y agua del estanque. Posteriormente, se llevó a cabo el suministro en cada uno de los estanques (Fig. 3).

Parámetros fisicoquímicos

Diariamente se registraron los parámetros fisicoquímicos en los estanques de cultivo, durante el tiempo que duró el experimento. Los parámetros registrados fueron el pH, medido con un potenciómetro de campo, marca HANNA, modelo HI-8519, serie 1128172; el oxígeno disuelto y la temperatura, se determinaron con un oxímetro EcoSense, Marca YSI, modelo DO200A y la salinidad con un

refractómetro marca YSI con escala de 0100 ups. Los parámetros se registraron 2 veces al día (09:00 y 16:00 horas).



Fig. 3. Suministro del biofloc al sistema de cultivo de Tilapia (*O. niloticus*).

Alimento suministrado

La alimentación de los peces inició al día siguiente de que los organismos fueron sembrados en los estanques, a estos se les suministraron tres raciones diarias (8:00, 12:00 y 16:00 horas) con alimento peletizado para tilapia en la fase de alevín, la alimentación fue del 6 % del total de la biomasa de los organismos. El porcentaje de proteína del alimento en el cultivo de los juveniles fue del 42 %, en adultos tempranos del 38 % y en adultos del 28 %.

Biometrías

La medición morfológica de los peces se realizó cada 15 días (Fig. 4). Para determinar el peso (g) alcanzado se muestreo el 10 % de los peces [37], de cada estanque, esto debido a que la población presento un factor de variabilidad muy homogéneo con respecto al peso, empleando la ecuación:

$$\text{Peso ganado (g)} = \text{peso promedio final} - \text{peso promedio inicial} \quad (1)$$

Con esto se determinó el peso promedio individual y así poder obtener un peso estimado por m³.

El peso diario ganado (DWG) fue determinado de acuerdo a Damodaran *et al.*, [38] mediante:

$$\text{DWG} = (W2 - W1) / (t2 - t1) \quad (2)$$

Donde:

W2= peso final, W1= peso inicial, t2= tiempo final y t1= tiempo inicial. Para lo anterior se utilizó una balanza digital marca Ohaus con capacidad de 2000 g. El periodo de estudio fue del 01 de julio al 31 de diciembre de 2021. El peso promedio de los organismos utilizados al inicio de cultivo fue de 16.80 ±0.36 g.

Factor de Conversión Alimenticia

El factor de conversión alimenticia (FCA) se determinó al final de experimento según Da Cunha *et al.* [39] con la siguiente ecuación:

$$\text{FCA} = \text{alimento seco suministrado (g)}/\text{biomasa ganada (g)}. \quad (3)$$

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) para muestras independientes con un nivel de significancia del 5% para determinar la existencia de diferencias significativas en el peso promedio (g) y en el factor de conversión alimenticia obtenido entre los tratamientos, una vez que se comprobó la existencia de diferencias entre estos, se aplicó la prueba de comparación de medias por el método de Tukey. Para verificar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo, se empleó la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas. Los datos fueron analizados mediante Real Statistics[©]2022.



Fig. 4. Biometría de juveniles de tilapia (*O. niloticus*) durante el cultivo.

Sobrevivencia

La sobrevivencia fue calculada diariamente durante los 6 meses del estudio, registrándose en una bitácora las mortalidades; esto con la finalidad de ajustar el % de alimentación por semana. Para determinar la sobrevivencia al final de período de estudio, se aplicó la ecuación propuesta por Ferdous *et al.* [40] donde: $\text{Sobrevivencia (\%)} = \frac{\text{Número de peces cosechados}}{\text{Número de peces sembrados}} \times 100$.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado para este estudio consistió en probar tres densidades de cultivo como tratamientos: 250 org/m³ (T1), 200 org/m³ (T2) y 150 org/m³ (T3), teniendo como referencia los estudios realizados por Sierra De La Rosa *et al.*, [41], el experimento se realizó por triplicado (Fig. 5). Los organismos fueron divididos aleatoriamente en los nueve estanques, manteniendo 750 organismos en 3 estanques, 600 organismos en 3 estanques más y 450 organismos en los estanques restantes, para

ajustar con esto las densidades bajo estudio. Los parámetros ambientales que serán monitoreados diariamente son, el oxígeno, la temperatura, pH y salinidad.

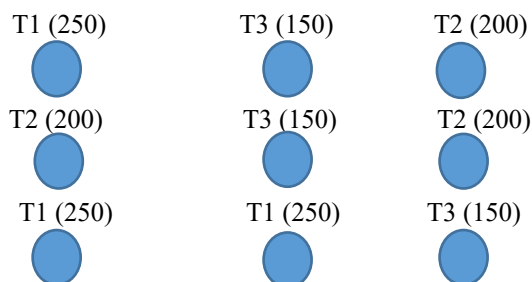


Fig. 5. Modulo experimental.

Manejo del cultivo

Los recambios de agua realizados fueron debido a la evaporación del agua del estanque y a veces al exceso de sedimento, utilizando un porcentaje aproximado del 10 % de la capacidad del estanque. El abastecimiento de agua salobre fue directo del pozo a los estanques de cultivo. De igual manera, se realizó cada tercer día el sifoneo de los estanques de cultivo con una manguera de 1 pulgada y la limpieza de la superficie en los mismos.

III. RESULTADOS

El crecimiento de los organismos mostró un comportamiento similar para cada tratamiento en cada una de las repeticiones (Tabla I).

Tabla I. Resultados de las biometrías del cultivo de tilapia (peso en g).

Densidades	Réplicas	Biometrías		
		Inicial	Intermedia	Final
T1 (250 org/m ³)	R1	16.2	274.6	564.2
	R2	16.8	265.5	575.2
	R3	17.3	280.9	587.6
T2 (200 org/m ³)	R1	16.9	299.2	582.4
	R2	16.6	284.9	603.3
	R3	16.8	292.5	592.5
T3 (150 org/m ³)	R1	16.4	308.8	602.7
	R2	17.5	310.5	608.1
	R3	16.9	320.4	614.2

Al término de la etapa experimental el peso (g) promedio se registró para cada tratamiento, observándose los promedios fueron de 575.66±11.70, 592.73±10.45 y 608.33±5.75 para T1, T2 y T3, respectivamente (Fig. 6).

Los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas (Tabla II) se cumplieron en el ANOVA (Fig. 7).

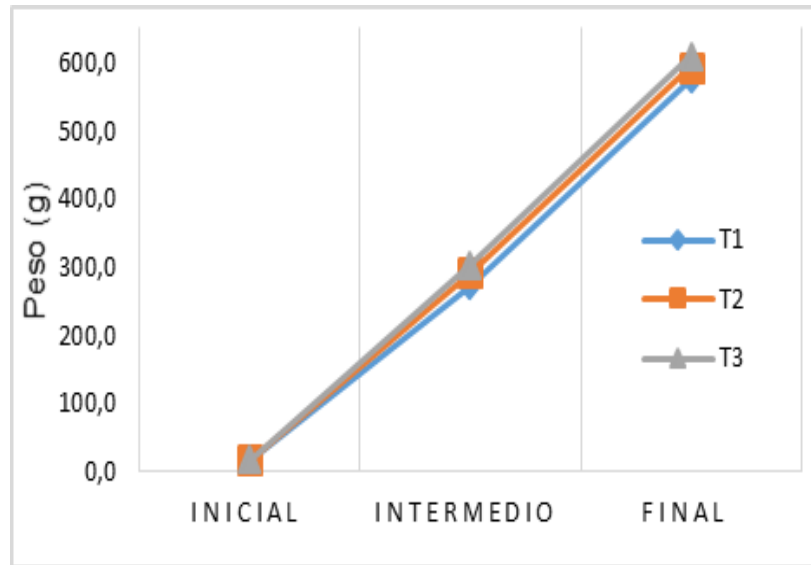


Fig. 6. Peso promedio final obtenido de Biometrías en el cultivo de tilapia por tratamiento.

Tabla II. Resultado de la prueba normalidad (Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianzas para el peso final (Levene).

	<i>p</i> -valor	α	Significancia
Shapiro-Wilk	0.943	0.05	NS
Levene	0.648	0.05	NS

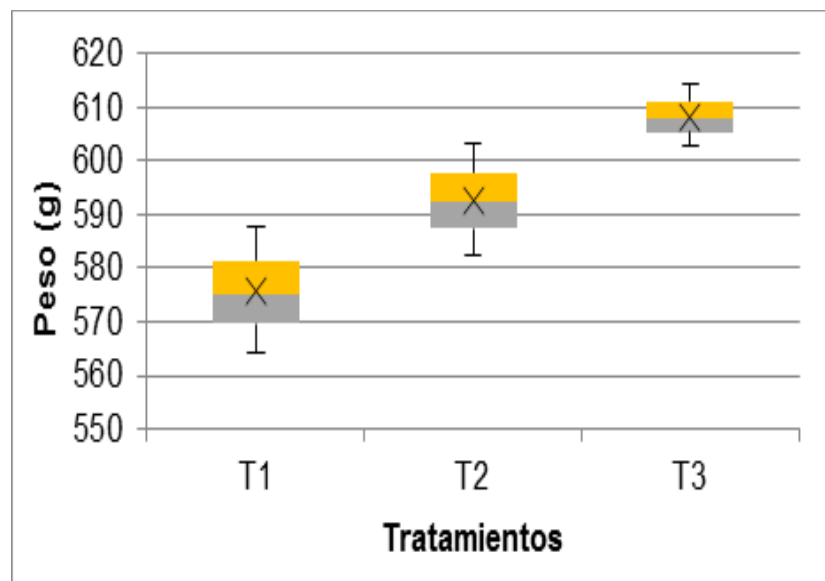


Fig. 7. Comprobación de homogeneidad de varianzas para el peso promedio (g) de los tratamientos.

El análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos, la prueba de medias mostró que los tratamientos de 150 (T3) y 200 (T2) org/m³ con peso promedio final de 608.33 y 592.73 g, respectivamente, no presentaron diferencias significativas, por lo que estos fueron los que presentaron el mayor peso promedio. Los tratamientos T1 y T2, así como T2 y T3 no presentaron diferencias significativas entre ellos (Tabla III).

Respecto al sistema biofloc, se inició con una relación C:N de 20:1 en peces con peso promedio de 16 g, posteriormente cuando los peces alcanzaron en promedio los 50 g, la relación se modificó a una relación C:N de 12:1 y por último cuando los peces llegaron a un peso promedio de 100 g, se utilizó una relación C:N de 8:1.

Tabla III. Resultado de la prueba de comparación de medias (Tukey) entre los tratamientos.

Tratamientos		Diferencia	<i>p</i> -valor	Significancia
T1	T2	17.06	0.156	NS
T1	T3	32.66	0.014	*
T2	T3	15.6	0.197	NS

El peso promedio ganado por mes, el más alto correspondió al tratamiento (T3) 101.38 g y el peso promedio ganado por día fue 3.28 g. En relación al factor de conversión alimenticia (FCA) el promedio por tratamiento al final del experimento se registró con 1.35 para el T1, 1.22 para el T2 y 0.98 para el T3 (Fig. 8). El análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para el FCA.

Los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas (Tabla IV) se cumplieron en cada prueba (Fig. 8).

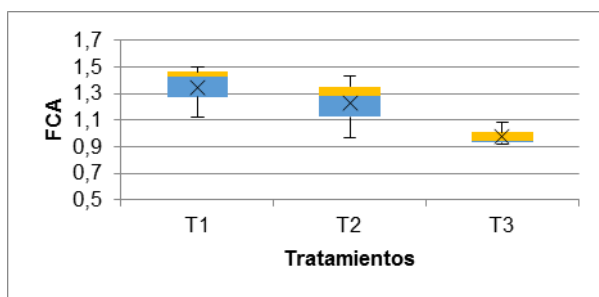


Fig. 8. Comprobación de homogeneidad de varianzas para el FCA de los tratamientos.

Tabla IV. Resultado de la prueba normalidad (Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianzas para el FCA (Levene).

	<i>p</i> -valor	α	Significancia
Shapiro-Wilk	0.391	0.05	NS
Levene	0.279	0.05	NS

En cuanto a la sobrevivencia promedio mensual (Fig. 9), para cada tratamiento al final del experimento, se registró un 72% para el T1, 78 % para el T2 y 85 % para el T3.

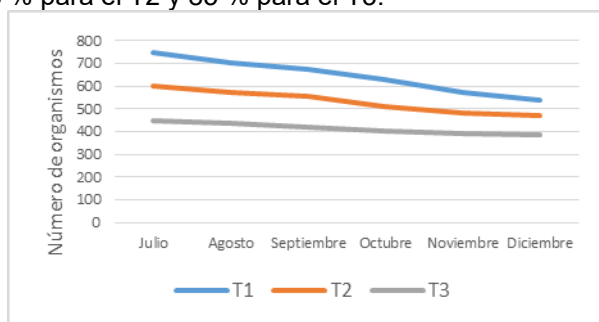


Fig. 9. Porcentaje de sobrevivencia promedio mensual por tratamiento del cultivo de tilapia.

Con respecto a los parámetros físicos y químicos del cultivo, estos se mantuvieron en los intervalos aceptables para esta especie, obteniendo los siguientes valores promedio en tratamientos: temperatura $27.2 \pm 1.66^\circ\text{C}$, oxígeno disuelto $6.2 \pm 0.38 \text{ mg/l}$, salinidad de $11.13 \pm 0.40 \text{ ups}$ y un pH de 7.76 ± 0.36 , para todos los tanques cultivados durante los 180 días que duro el experimento (Figuras 10,11, 12 y 13).

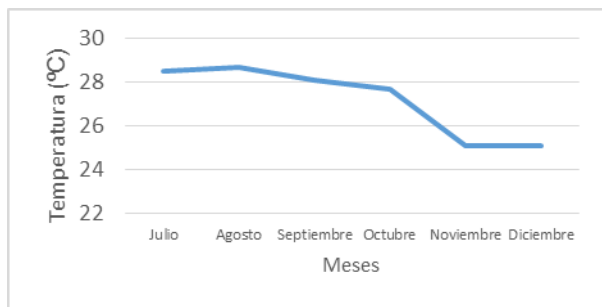


Fig. 10. Temperatura (°C) promedio mensual registrada en el cultivo de tilapia.

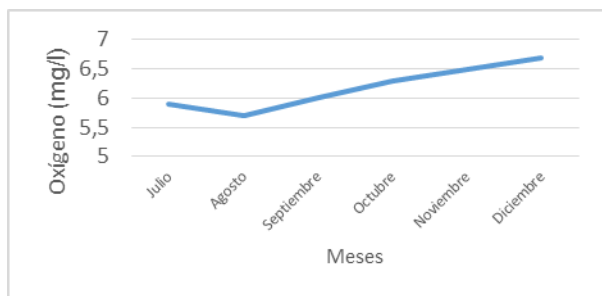


Fig. 11. Oxígeno disuelto (mg/l) promedio mensual registrado en el cultivo de tilapia.

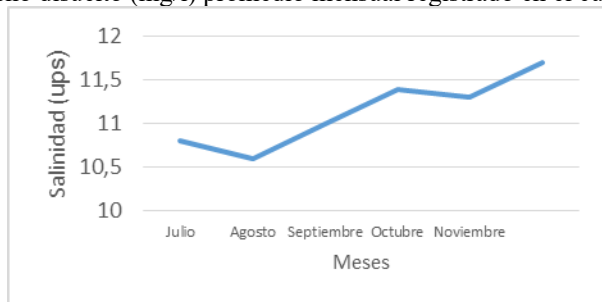


Fig. 12. Salinidad (ups) promedio mensual registrado en el cultivo de tilapia.

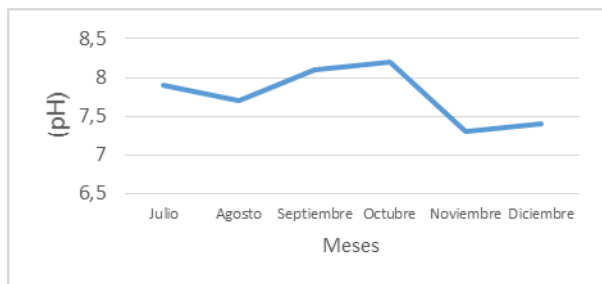


Fig. 13. pH promedio mensual registrado en el cultivo de Tilapia.

IV. DISCUSIÓN

En relación con los resultados de crecimiento y sobrevivencia obtenidos en estudios previos, nuestros resultados indican de manera preliminar, que el cultivo de tilapia a densidades altas de cultivo en estanques de geomembrana en agua salobre utilizando la tecnología de biofloc, es factible para implementarse de forma comercial.

El uso de biofloc en el cultivo de tilapia, a diferentes densidades de población en sistemas que utilizan tecnología biofloc ha sido citado como uno de sus puntos positivos. Azim y Little quienes observaron que la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) sembrada a una densidad de 12 Kg/m³ presento pesos individuales 10% más altos en los tratamientos con bioflocs y estos contribuyeron en un 45% a la ganancia de peso individual, así como en la producción de total de peces. Widanarni *et al.*, al estudiar la aplicación del sistema biofloc en el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en densidades de 25, 50 y 100 org/m³, encontraron el menor peso final de 129.03 g en la densidad de 100 peces m³. Sin embargo, Ayroza *et al.*, evaluaron diferentes densidades de población (100, 200, 300 y 400 org/m³) para juveniles de tilapia del Nilo en jaulas y observaron una disminución en la ganancia de peso diaria con un aumento en la densidad de población. Para el mismo sistema de cultivo, Araujo *et al.*, evaluaron las densidades 100, 150 y 200 org/m³ para la tilapia del Nilo (*O. niloticus*), observando la misma tendencia registrada por Ayroza *et al.*, [42]. Nuestros resultados presentaron una tendencia similar a la reportado por esto autores, ya que el crecimiento más alto se logró a la densidad más baja de 150 org/m³ y se observó que conforme se incrementa la densidad el crecimiento disminuye como reportan Ayzoza *et al.*, y Araújo *et al.*, [43].

En estudios realizaos con densidades de cultivo menores, Lima *et al.*, [44] estudiaron densidades de 15, 30 y 45 org/m³ con *O. niloticus*, concluyendo que las densidades de cultivo no influyeron en la ganancia de peso diaria de los peces durante todo el cultivo, así mismo determinaron que con la densidad de 45 org/m³, lograron la mayor productividad con 16.6 kg/m³. En este mismo sentido, Manduca *et al.*, [45] Evaluaron los efectos de diferentes densidades de población (20, 40, 60 y 80 org/m³) en el rendimiento de crecimiento de la tilapia del Nilo en la etapa de crecimiento en un sistema de biofloc de con cero recambio de agua, concluyendo que la máxima densidad de población en el sistema biofloc es de 75 org/m³ (13 Kg/m³). En los resultados de estos autores se destaca que las densidades más altas que probaron en cada experimento fueron las que mostraron el mejor crecimiento, lo cual parece indicar que es posible seguir incrementado las densidades de cultivo, como la menciona Putra *et al.*, en el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) a una densidad de 300 org/m³ con diferentes fuente de carbono en un sistema biofloc en el cual concluyen que este sistema es capaz de optimizar el crecimiento de los peces a altas densidades de cultivo.

En dos ensayos realizados por Rakocy *et al.*, [46], cultivaron tilapias en sistema biofloc en dos tanques de 200 m³ durante 175 y 201 días de crecimiento. En su estudio, los peces alcanzaron un peso final de 678 g y 912 g, y un factor de conversión alimenticia de 2.2, resultados similares logramos obtener con la densidad de 150 org/m³ donde se alcanzó un crecimiento de 608.33 g en un periodo de 180 días, sin embargo, el FCA estuvo por debajo del reportado por estos autores.

En el presente trabajo se logró un crecimiento promedio de 575 g en 6 meses de cultivo en estanques, lo cual está por arriba de lo reportado por Sierra De La Rosa *et al.*, para *O. niloticus* cultivado con biofloc, donde se obtuvo un crecimiento de 500 g en 226 días.

Los porcentajes de sobrevivencia encontrados en el presente estudio parecen indicar que conforme se incrementa la densidad de cultivo de la tilapia disminuye este valor, de manera que para la densidad de 150, 200 y 250 org/m³ se registraron porcentajes de sobrevivencia de 85, 78 y 72%, respectivamente.

Estos resultados se encuentran un poco por debajo de los reportados por varios investigadores para sistemas de cultivo de tilapia, Widanarni *et al.*, registraron una tasa de supervivencia de 97.7, 93.5 y 93 % a densidades de 25, 50 y 100 org/m³ respectivamente. Lima *et al.*, en el cultivo de tilapia *O. niloticus* en un sistema de biofloc con diferentes fuentes de carbono orgánico, obtuvieron una tasa de supervivencia de 80.3 a 99.1%. Sin embargo, Maduca *et al.*, reportan sobrevivencias entre el 80 y 95% para densidades de 75 org/m³ en cultivo de tilapia en sistemas biofloc. Por otro lado, Putra *et al.*, a densidades de cultivo de 300 org/m³ obtuvieron una supervivencia de 82 y 92% a empleando diferentes fuentes de carbono, al parecer estos valores muestran ser similares a los obtenidos en el presente estudio a una densidad de 150 org/m³.

Con relación al factor de conversión alimenticia (FCA) en el cultivo de tilapia en el sistema biofloc, Lima *et al.*, reportan un FCA de 1.58 a densidad de 45 org/m³. El FCA obtenido en el presente trabajo es de los más bajos en las tilapias cultivadas comercialmente en el mundo y alimentados con piensos secos hasta la talla comercial. En nuestros resultados no se registraron diferencias significativas ($p > 5\%$) en el FCA entre las densidades probadas.

Los valores de FCA obtenidos en el presente estudio fueron mejores que los encontrados por diversos investigadores como Azim y Little, utilizando un sistema de biofloc en cultivo de tilapia quienes reportan un FCA de 2.2 a una densidad de 100 org/m³. De igual manera, fueron similares a los publicados por autores como Wambach, en donde obtuvo un FCA entre 1.13 y 1.72 para juveniles de tilapia del Nilo cultivados a diferentes densidades de población; Souza *et al.*, quienes reportan FCA de 1.5 a salinidad de 12 ups y Luo *et al.*, que evaluaron el crecimiento de tilapia cultivada en sistema biofloc a diferentes salinidades, obtuvieron una conversión alimenticia 1.39 a salinidad de 10 ups, similares a las empleadas en este estudio, así mismo estos autores concluyen que es posible cultivar la especie *O. niloticus* a salinidades de hasta 12 ups en un sistema de biofloc. En este mismo sentido, Alvarenga *et al.*, reportan que los alevines de tilapia del Nilo criado en biofloc presentaron un mejor rendimiento de crecimiento en el rango de salinidad de 4–8 ups.

En el presente estudio las salinidad se mantuvo entre 10.8 y 11.7 ups de salinidad, estos intervalos están dentro de los recomendados por Luo *et al.*, sin embargo Schofield *et al.*, amplían el rango de salinidad para el buen desarrollo de *O. niloticus* hasta 18 ups sin afectar su supervivencia, por lo que consideramos que es posible llevar a cabo el cultivo de tilapia en la región de estudio porque la salinidad se mantiene dentro de los intervalos idóneos para esta especie, como lo siguieron Alvarenga *et al.*, el uso de agua salinizada en el sistema biofloc, con un mínimo de recambio de agua, puede ser un ambiente viable para el cultivo de tilapia.

Los demás parámetros fisicoquímicos de cultivo se mantuvieron en los rangos óptimos de crecimiento, los cuales fueron para el oxígeno 6.2 mg/l, temperatura 27.2 °C, salinidad 11.13 ups y pH 7.76. Durante el estudio, una disminución de la temperatura ambiente provocó una reducción de la temperatura del agua fuera del rango óptimo para el cultivo de tilapia del Nilo (28–30 °C) (Emerenciano *et al.*, sin embargo, es posible que la reducción de la temperatura del agua pueda haber ayudado a la formación de flóculos estables. El promedio de temperatura que se obtuvo en el presente trabajo fue similar al registrado por Gallardo *et al.*, con 26.7°C en el cultivo de tilapia en el sistema biofloc con agua reutilizada. En relación al pH, en este estudio, se registró un promedio de 7.76 presentándose los valores más altos hacia el final del cultivo (mes de diciembre) y los más bajos al inicio del cultivo (mes de julio). Promedios similares de pH fueron reportados por Lima *et al.*, y Souza *et al.*, con valores de 7.82 y 7.45, respectivamente, a salinidades cercanas a las del presente estudio. Se observó una disminución del pH a lo largo de las semanas de experimentación en todos los tratamientos.

Este comportamiento es de esperar en el sistema biofloc y fue observado por Alves *et al.*, y Azim y Little. Esta reducción en el pH podría estar asociada con la demanda de iones de carbonato y bicarbonato por parte de la comunidad microbiana, lo que lleva al consumo de carbonato de calcio y a la reducción de los niveles de pH [47]. La reducción prominente en el pH comenzó en el mes 4 de experimentación. La reducción significativa del pH durante el tiempo de cultivo es un desafío para el sistema biofloc y se necesita el desarrollo de estrategias para mitigar este problema en este sistema. La concentración de oxígeno disuelto se mantuvo por encima de 5.0 (5.7-6.7) mg/L en todos los tratamientos, que fue el nivel mínimo reportado por diversos investigadores en el cultivo de tilapia bajo un sistema biofloc.

En este experimento empleamos melaza, urea y probiótico en la preparación del biofloc, de manera que el cultivo inicio con una proporción C: N de 20:1, a las dos semanas se modificó está a 12:1, para posteriormente mantenerse en la proporción 8:1, al respecto, Pérez Fuentes *et al.*, consideran que la relación C: N de 10:1 a 20:1 es adecuada durante los primeros tres meses del cultivo, posteriormente recomiendan mantener relaciones de 10:1 a 15:1 que contengan un mayor contenido de oxígeno disuelto. Esto coincide con otros investigadores, que afirman que la relación C:N de 10:1 es la óptima para optimizar la producción de biofloc y minimizar la regeneración de amoníaco en los sistemas de cultivo de peces. Por lo que consideramos que durante el desarrollo de este experimento se logró mantener la relación C:N dentro de las proporciones recomendadas para el cultivo de tilapia.

V. CONCLUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos se concluye que: El crecimiento promedio de los organismos fue de 575 g en 180 días de cultivo, con un crecimiento promedio mensual de 95.90 g y un crecimiento promedio diario de 3.19 g. El crecimiento encontrado en este estudio es similar a los reportados en la bibliografía, sin embargo, se debe continuar con la realización de ensayos utilizando otras densidades de cultivo, para encontrar el mejor crecimiento de la tilapia.

Se logró obtener un Factor de Conversión Alimenticia de 1.18 (1.35 para T1, 1.22 para T2 y 0.98 para T3) y una sobrevivencia promedio de 78.33 % (72 % para el tratamiento T1, 78 % para T2 y 85 para T3), presentándose la mayor mortalidad en el primer y segundo mes del cultivo, esto debido a que la talla de los peces es aún pequeña. Los parámetros ambientales del cultivo (oxígeno, temperatura, pH y salinidad) se mantuvieron en los rangos permisibles para el crecimiento adecuado de esta especie.

Se puede concluir que el uso del biofloc en el cultivo de tilapia disminuye considerablemente el FCA, debido a que los peces en biofloc se alimentan constantemente, debido a que la producción microbiana es un proceso continuo.

El uso del biofloc disminuye en un gran porcentaje el uso del agua, ya que solo se repone el agua que se evapora y un porcentaje muy pequeño de recambio cuando se tiene que sacar un excedente de sedimentos. Otro de los aspectos positivos del biofloc es que mantiene una muy buena calidad de agua en el cultivo, favoreciendo valores óptimos de crecimiento en la tilapia. Por último, el uso del biofloc disminuye el tiempo de cultivo de la tilapia, un aspecto muy importante económicamente, si hablamos de la cantidad de alimento que se ahorra el productor, lo que hace más rentable esta actividad. En el presente trabajo, se establecen los principios básicos que permitirán continuar con la investigación enfocada al desarrollo del cultivo de tilapia con biofloc en el Instituto Tecnológico de Lerma.

REFERENCIAS

- [1] Costa, A. y Fróes, R. (2012). Produção de tilápias. Programa Rio Rural. Manual Técnico 31.
- [2] FAO. (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma, Italia, 224 pp.
<https://www.fao.org/3/i5555s/i5555s.pdf>
- [3] CONAPESCA. (2017). Situación actual de la acuicultura en México. En: Memoria de la XII Foro internacional de acuicultura. Guadalajara, Jalisco, México.
<https://www.gob.mx/conapesca/agenda/12foro-internacional-de-acuicultura2017?idiom=es>
- [4] SAGARPA (2015). Situación actual de la acuicultura en Tabasco, problemática y perspectivas de desarrollo a través de la innovación tecnológica. SAGARPA-Universidad Autónoma de Zacatecas.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/347401/Acuicultura_ejecutivo.pdf
- [5] Celdrán, S.D. (2017). ¿Qué es la Tecnología Biofloc? *Divulgación Acuícola*, 40, 18-25.
https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista40_20noviembre
- [6] Choo, H.X. and Caipang, C.M. (2015). Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *AAACL Bioflux*, 8(3), 362-366.
<http://www.bioflux.com.ro/docs/2015.362366.pdf>
- [7] Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 17, 227-235.
[https://doi.org/10.1016/S00448486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S00448486(99)00085-X)
- [8] Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 140-147.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>
- [9] Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N. and Verstraete, W. (2008). The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4), 125-137.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- [10] Azim, M.E. and Little, D.C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: wáter quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283, 29-35.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- [11] Widanarni, Ekasari, J. and Maryam, S. (2012). Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis* sp. cultured at different stocking densities. *HAYATI Journal of Biosciences*, 19(2), 73-80.
- [12] Emerenciano, M., Gaxiola, G. and Cuzon, G. (2013). Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: MATOVIC, M.D. (Ed.). *Biomass Now – Cultivation and Utilization*. InTech, Manhattan, 301-328. DOI: 10.5772/53902
- [13] Martínez-Córdova, L.R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A. and Martínez-Porchas, A. (2015). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, 7(2), 131-148.
<https://doi.org/10.1111/raq.12058>
- [14] Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W. and Avnimelech, Y. (2009). Bio-flocs technology application in overwintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 40(3), 105-112.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>

- [15] Ekasari, J., Rivandi, D.R., Firdausi, A.P., Surawidjaja, E.H., Zairin, Jr. M., Bossier, P. and De Schryver, P. (2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441(1), 72–77.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.019>
- [16] Magondu, E.W., Charo-Karisa, H. and Verdegem, M.C. (2013). Effect of C/N ratio levels and stocking density of *Labeo victorianus* on pond environmental quality using maize flour as a carbon source. *Aquaculture*, 410411(1), 157-163.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.021>
- [17] Wang, G. Yu, E., Xie, J., Yu, D., Li, Z., Luo, W., Qiu, L. and Zheng, Z. (2015). Effect of C/N ratio on water quality in zero-water Exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. *Aquaculture*, 443(1), 98-104.
- [18] Pérez-Fuentes, J., Hernández, M., Pérez, C. and Fogel, I. (2016). C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, 452(1), 247-251.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.010>
- [19] Asaduzzaman, M., Rahman, M.M., Azim, M.E., Ashraful Islam, M., Wahab, M.A., Verdegem, M.C. and Verreth, J.A. (2010). Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. *Aquaculture*, 306(1-4), 127–136.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.035>
- [20] Wei, Y., Liao, S.A. and Wang, A.L. (2016). The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, 465(1), 88-93.
- [21] Avnimelech, Y. and Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15 N tracing. *Aquaculture*, 287, 163-168.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.009>
- [22] Long, L., Yang, J., ibnn, J., Li, Y., Guan, C. and Wu, F. (2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448(1), 135-141.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.017>
- [23] Avnimelech, Y. (2012). Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacultural engineering*, 34(3), 172-178.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>
- [24] Putra, I., Effendi, I., Lukistyowate, I. and Tang, U. (2019). Growth and survival rate of red tilapia (*Oreochromis sp.*) cultivated in the brackish water tank under biofloc system. *Advances in Engineering Research*, 190, 96-99.
<https://www.readcube.com/articles/10.2991%2Ficelst-st-19.2019.19>
- [25] Wambach, X.F. (2013). Influência de diferentes densidades de estocagem no desempenho produtivo de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) cultivada com tecnologia de bioflocos. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- [26] Alvarenga, E.R., De Oliveira, G.F., Araújo, F.A., Costa, R.G., Da Silva, M.A., Teixeira, E. and Turra, E.M. (2018). Moderate salinities enhance growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in the biofloc system. *Aquaculture Research*, 1-8.
<https://doi.org/10.1111/are.13728>

- [27] Fridman, S., Bron, J. and Rana, K. (2012). Influence of salinity on embryogenesis, survival, growth and oxygen consumption in embryos and yolk-sac larvae of the Nile tilapia. *Aquaculture*, 337, 182–190.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.034>
- [28] Kamal, A.H.M.M. and Mair, G.C. (2005). Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. *Aquaculture*, 247, 189–201.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.008>
- [29] Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L. and Tan, H. (2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial costeffectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.023>
- [30] Schofield, P.J., Peterson. M.S., Lowe, M.R., Brown-Peterson, N.J. and Slack, W.T. (2011). Survival, growth and reproduction of nonindigenous Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus1758). I. Physiological capabilities in various temperatures and salinities. *Marine and Freshwater Research*, 62(5), 439-449.
<https://doi.org/10.1071/MF10207>
- [31] Cnaani, A. and Hulata, G. (2011). Improving salinity tolerance in tilapias: past experience and future prospects. *The Israeli Journal of Aquaculture*, 63(1), 1-21.
<http://hdl.handle.net/10524/36296>
- [32] Pereira, D.S.P., Guerra-Santos, B., Moreira, T.E., Albinati, B.R. y Aypes, C.C. (2016). Parâmetros hematológicos e histológicos de tilápia do Nilo em resposta ao desafio de diferentes níveis de salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(3), 635-647.
<https://doi.org/10.1590/S0100736X2012001300017>
- [33] Souza, R.L., Rodriguez, E.C., Penalva, F., Padilha, F.M. and De Souza, C.E. (2019). The culture of Nile tilapia at different salinities using a biofloc system. *Revista Ciência Agronômica*, 50(2), 267-275.
- [34] Lima, P.C., Silva, L.O., Labreu, L.J., Cabral, S.S. and Severi, W. (2019). Tilapia cultivated in a low-salinity biofloc system supplemented with *Chlorella vulgaris* and different molasses application rates. *Bol. Inst. de Pesca*, 45(4), 1-11.
<https://doi.org/10.20950/16782305.2019.45.4.494>
- [35] Lou, G., Li, W., Tan, H. and Chen, X. (2017). Comparing salinities of 0, 10 and 20 in biofloc genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) production systems. *Aquaculture and Fisheries*, 2, 220-226.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.10.002>
- [36] Alves, G. F., Fernandes, A. F., Alvarenga, E. R., Turra, E. M., Sousa, A. B., and Teixeira, E. A. (2017). Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479, 564–570.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.029>
- [37] Haruna, A.E., Delwin, A. and Larby, C. (2013). Effects of stocking density on the growth and survival of *Oreochromis niloticus* cultured in hapas in a concrete tank. *African Journal of Agricultural*, 7(15), 2405-2411. DOI:10.5897/AJAR11.2313
- [38] Damodaran, D., Kumar, M.S., Kumar, V.V., Sukhdane, K., Azeez, A. and Kumar, R. (2019). Intercropping of marine finfish in shrimp ponds: A maiden feasibility study. *PLoS ONE*, 14(5), 1-14.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216648>

- [39] Da Cunha, V.L., Pereira, R., Hideo, O.M., Vieira R.R. and Sampaio, L. (2013). Feeding rate and frequency on juvenile pompano growth. *Pesq. Agropec. Bras.* 48(8), 950-954.
DOI: 10.1016/j.aquaeng.2008.12.004
- [40] Ferdous, Z., M. Ajaz and A. Moshin. (2014). Influence of stocking density on growth performance and survival of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fry. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 4(2), 99-103.
- [41] Sierra-De la Rosa, J., Martínez-Pardo, X. y Mendoza-Rivera, M. (2009). Evaluación del cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva en el sector camaronicultor colombiano. CENIACUA.
- [42] Ayroza, L.M.S., Romagosa, E., Ayroza, D.M.M., Scorvo Filho, J.D. y Salles, F.A. 2011. Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia do Nilo em tanques-redeutilizando-se diferentes densidades de estocagem. *Zootecnia*, 40(2), 231-239.
<https://doi.org/10.1590/S151635982011000200001>
- [43] Araújo, G.S., Rodríguez, J.A.G., Silva, J.W. y Farias, W.R. (2010). Cultivo da tilápia do Nilo em tanques-rede circulares em diferentes densidades de estocagem. *Bioscience Journal*, 26(3), 428-434.
<https://doi.org/10.1590/S151999402015000400018>
- [44] Lima, R.E., Souza, L.R, Wambach, F.X, Silva, L.U. y Correia, S.E. (2015). Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em Sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 16 (4), 948-957.
<https://doi.org/10.1590/S151999402015000400018>
- [45] Manduca, L.G., Silva, M.A., Alvarenga, E.R., Alves, G.F.O., Fernandes, A.F.A., Assumpção, A.F., Cardoso, C.C., Sales, S.C.M., Teixeira, E.A., Silva, M.A. and Turra, E.M. (2020). Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of Nile tilapia at different stocking densities. *Aquaculture*, 521, 735064.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735064>
- [46] Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Thoman, E.S., Shultz, R.C. (2004). Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. New dimensions on farmed tilapia. In: Bolivar, R., Mair, G., Fitzsimmons, K. (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Manila, Philippines, 584-598.
- [47] Ebeling, J.M., Timmons, M.B. and Bisogni, J.J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and hetero- trophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257, 346–358.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>