

Comparación de la Eficiencia Productiva de Tilapia Roja en Sistemas de Geomembrana con Tecnología Biofloc y Raceways

Comparison Of The Productive Efficiency Of Red Tilapia In Geomembrane Systems Using Biofloc Technology And Raceways

Ingris Yohana Hernandez-Martinez^{*a}; Margarita del Rosario Salazar-Sánchez^b; Luis Francisco Pereira-Flores^c

^a Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UDR Aguachica, Colombia; ingris.hernandez@unad.edu.co;

^b Universidad del Cauca, Colombia; mdsalazar@unicauca.edu.co

^c Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Colombia; lfpereira@unicesar.edu.co

Correspondence: ingris.hernandez@unad.edu.co

Submitted: May 20, 2024. Accepted: February 23, 2025.

Resumen

El estudio comparó la eficiencia productiva de la tilapia roja criada en estanques de geomembrana con tecnología biofloc y raceways. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos clave en ambos sistemas, destacando correlaciones entre variables y su impacto en la calidad del agua y el rendimiento de los peces. En biofloc, se encontró una correlación positiva moderada entre oxígeno disuelto, pH y temperatura, resaltando la importancia de mantener niveles óptimos de oxígeno. En raceways, se halló una fuerte correlación positiva entre oxígeno disuelto y pH, subrayando la influencia del pH en la disponibilidad de oxígeno. No se encontraron diferencias significativas en tasas de alimentación, conversión alimenticia, mortalidad y supervivencia entre los sistemas, indicando su igual eficacia productiva y control de la mortalidad. Estos hallazgos respaldan que tanto biofloc como raceways son opciones viables para el cultivo de tilapia, con resultados comparables en calidad del agua, rendimiento de los peces y eficiencia económica. Este estudio puede orientar a productores acuícolas en la elección del sistema de cultivo más adecuado según sus necesidades y condiciones específicas.

Palabras clave: Acuicultura; Tilapia; Biofloc; Raceways.

Abstract

The study compared the productive efficiency of red tilapia raised in geomembrane ponds with biofloc and raceways technology. Key physicochemical parameters in both systems were analyzed, highlighting correlations between variables and their impact on water quality and fish performance. In biofloc, a moderate positive correlation was found between dissolved oxygen, pH and temperature, highlighting the importance of maintaining optimal oxygen levels. In raceways, a strong positive correlation was found between dissolved oxygen and pH, underlining the influence of pH on oxygen availability. No significant differences were found in feeding rates, feed conversion, mortality, and survival between the systems, indicating their equal productive efficiency and mortality control. These findings support that both biofloc and raceways are viable options for tilapia culture, with comparable results in water quality, fish performance and economic efficiency. This study can guide aquaculture producers in choosing the most appropriate culture system according to their specific needs and conditions.

Keywords: Aquaculture; Tilapia; Biofloc; Raceways.

1. Introducción

La piscicultura es el sector de producción de alimentos de mayor crecimiento, actualmente, la pesca y la acuicultura han tenido un reconocimiento con relación a su aporte en la seguridad alimentaria, creciendo un 3,2% anualmente, superando la tasa de crecimiento poblacional en el mundo que es del 1,6 % según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [1]. No obstante, en Colombia la producción se viene implementando desde los años 90, siendo la especie más

utilizada la tilapia roja (*Oreochromis* sp). Sin embargo, existen algunas limitaciones para la implementación de estos sistemas, como es la adecuación y sostenibilidad en el tiempo, debido a que deben tener calidad de agua para el mantenimiento de los animales [2].

En Colombia, los sistemas semi-intensivos tradicionales, como los estanques de tierra, son procesos de producción con niveles de eficiencias bajos, generando impactos ambientales en diferentes medios físicos por adición de alimentos sin digerir,

materia orgánica y productos químicos empleados en las operaciones productivas [3]. Por otro lado, el sistema Raceways también llamado sistema de flujo de agua, requieren de cantidades considerables del recurso hídrico, aumentando la huella hídrica; debido a que el 15% del agua es cambiada diariamente, implicando una mayor tasa de uso que no es controlada, este aspecto se debe directamente al bajo conocimiento sobre prácticas del reusó del agua o tratamientos [4]. Los vertimientos de estos dos sistemas mencionados anteriormente conllevan una carga elevada de materia orgánica y compuestos químicos, aumentando de forma directa estas en las aguas naturales cercanas como caños, ríos o residuales colectadas en las redes sanitarias, en esta última muchas ocasiones no son tratadas de forma adecuada en las plantas de tratamiento siendo vertidas a cuerpos de agua alterando las condiciones físico-químicas ocasionando eutrofización, disminución de oxígeno disuelto, turbidez, superproducción de algas y sedimentación [5].

Recientemente, los sistemas de producción piscícola con sistema biofloc (BFT) disminuyen el impacto ambiental debido a las comunidades microbianas reciclan y reutilizan los nutrientes, manteniendo estable las características físico-químicas, dando como resultado una alternativa viable de producción, a diferencia del sistema Raceways donde su enfoque es la recirculación de agua constante el cual permite que las sustancias tóxicas sean degradadas. No obstante, se desconoce el impacto ambiental en forma general ocasionado por estos sistemas en los medios físicos [6].

Estos problemas descritos en la producción piscícola requieren un análisis en profundidad, por lo que se desea usar el potencial y la experiencia de las granjas para comparar los dos sistemas Biofloc y Raceways para posteriormente realizar correcciones sobre el pos-manejo del agua saliente de los sistemas y continuar produciendo proteína animal más amigable con el medio ambiente.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización

El estudio se realizó en dos granjas piscícolas aledañas al municipio de Aguachica, Cesar a 160msnm, con una temperatura promedio anual de 30°C [7].

2.2. Diseño experimental y material biológico

En el presente estudio se utilizaron dos granjas, La granja N°1 cuenta con 2 estanques circulares en geomembrana HDP (diámetro:9 m, altura 1,20 m y capacidad hídrica de 70 m³). Se dejó un francobordo de 5 cm para evitar derrames, tal y como lo describe Deb et al., 2020 [8], El llenado del estanque fue realizado con el agua proveniente del acueducto del municipio de Aguachica, Cesar, dejándose decantar naturalmente durante ocho días para garantizar la evaporación del cloro, Luego la maduración del agua de biofloc se realizó según la metodología propuesta por Shourbela et al., (2021) [9]. Asimismo, se realizaron muestreos

cada 3 días de los parámetros físicoquímicos con la finalidad de verificar que el estanque se mantenga bajo las condiciones requeridas, una vez terminado este proceso en el tiempo estimado se inició con la siembra de los alevinos. La oxigenación se realizó por medio de la instalación de un sistema de aireación por Blower de 1.1 HP (EKZ 140-20, Ekko, Colombia) y manguera poli difusora.

Por otro lado, la granja N°2 cuenta con 1 estanque en geomembrana HDP circular (diámetro 14 m, altura 1 m para un volumen de 153 m³), El llenado fue realizado con flujo de agua continuo (recurso obtenido del Caño Lucaical) con un ingreso y salida de 1 pulgada de diámetro. Además, el estanque posee un sistema de aireación doble, consistente en un sistema por Blower de 1.1 HP (EKZ 140-20, Ekko, Colombia) usado en horario nocturno, y un sistema de caída de agua continua en forma de lluvia artificial en horario diurno.

Se utilizaron 11.000 alevinos de tilapia roja con 0.6 g de peso promedio, una longitud de 2,5 cm y aparentemente sanos. En cada granja se sembraron 5.500 alevinos. Su alimentación fue basada en concentrado comercial según su etapa de producción, alevinaje, levante y cebsa.

2.3. Parámetros físicoquímicos

En los dos sistemas se realizó medición del Oxígeno disuelto (OD) (mg/L) usando el Oxímetro HI8043 Hanna®, pH, temperatura (°C), amoniaco (ppm), nitrito (mg/L) y nitrato (mg/L) con la ayuda de un Test de APIs y la concentración de sedimentación por medio del cono Imhoff según la metodología descrita por Avnimelech, (2009) [10], realizándose tres veces a la semana antes de cada alimentación.

2.4. Indicadores productivos

Se evaluaron los siguientes indicadores productivos y algunas variables productivas, según Yoshimatsu & Hossain, (2014) [11] mediante las siguientes ecuaciones:

- Ganancia de peso (Gp) :

$$Gp = Pf - Pi \quad (1)$$

Donde Pf es peso promedio final y Pi peso promedio inicial

- Ganancia diaria de peso Gdp:

$$Gdp = \frac{Gp}{t} \quad (2)$$

Donde: t es el tiempo de cultivo (días).

- La tasa específica de crecimiento (TCE):

$$TCE = \ln\left(\frac{Pf}{Pi}\right) \times \frac{100}{t} \quad (3)$$

- Ganancia en biomasa (GB):

$$GB = Bi - Bf \quad (4)$$

Donde Bi es biomasa inicial y Bf biomasa final (Kg)

2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico incluyó la aplicación de pruebas de hipótesis para comparar los parámetros fisicoquímicos entre

las dos granjas, análisis de series temporales para identificar tendencias a lo largo del tiempo, y cálculos de correlación entre diferentes variables en los dos sistemas de cultivo.

3. Resultado y discusión

A continuación, se compara de manera visual los parámetros fisicoquímicos clave entre los sistemas Biofloc y Raceways (Figura 1). Cada sector de la gráfica representa un parámetro específico, y la proximidad entre sectores indica la fuerza y dirección de la correlación entre ellos.

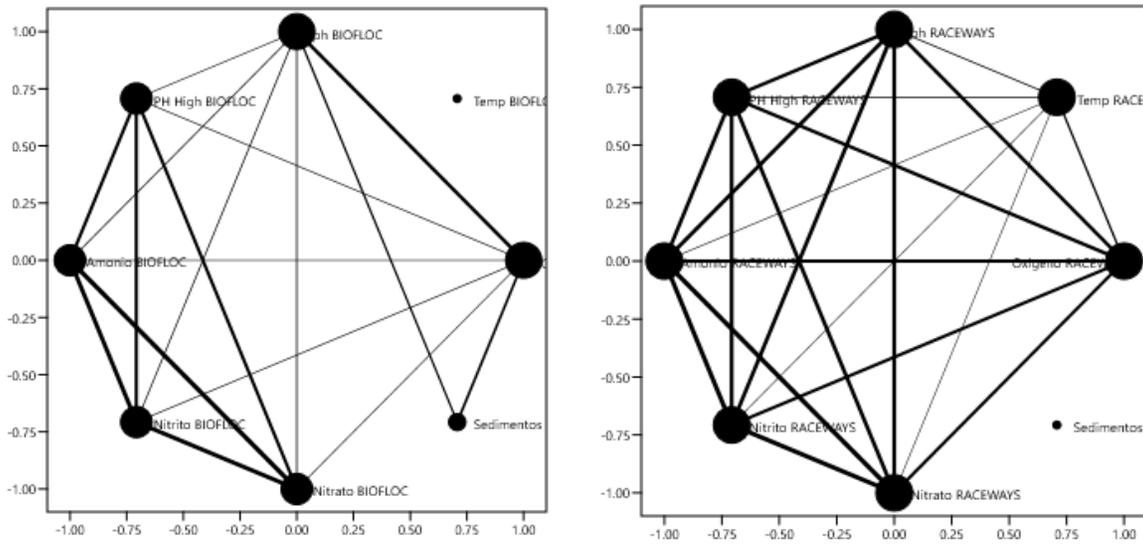


Figura 1. Comparación de los parámetros fisicoquímicos entre los sistemas Biofloc y Raceways

El análisis de correlación entre variables fisicoquímicas en el cultivo de tilapia en sistemas de biofloc, se observa una correlación positiva moderada entre el OD y el pH, así como con el pH High, lo que sugiere que niveles óptimos de oxígeno son cruciales para mantener un equilibrio adecuado de pH y condiciones favorables para los peces. Del mismo modo, la temperatura muestra correlaciones positivas con el pH y el pH High, destacando la influencia de las condiciones térmicas en la regulación del pH. Según König et al., (2021) [12], mencionan que en el sistema el oxígeno debe oscilar entre 5 - 8 mg/L y el pH óptimo es de 7,5 – 8.0 siendo estos los elementos básicos para la sobrevivencia de los peces y mantener un sistema estable. Cabe resaltar que el oxígeno disuelto es crucial para la salud de los animales, teniendo en cuenta que para el sistema biofloc el alto contenido de materia orgánica aumenta la demanda de este y en el sistema Raceways el flujo continuo del agua promueve una buena oxigenación [3], [13].

Además, la fuerte correlación positiva entre nitrato y nitrito indica la interacción entre estos compuestos en el sistema,

teniendo implicaciones directas para la calidad del agua y la eliminación de productos de desecho. A pesar de la baja correlación entre el amoníaco y las otras variables, la presencia de este sigue siendo una consideración importante para el control de la calidad del agua. Esto concuerda con lo argumentado por Abinaya et al., (2019) [14], donde afirma que el BFT utiliza microorganismos en el agua para tratar el amoníaco que surge de los desechos de alimentos, las heces y la orina. Así mismo, Yu et al., (2023), considera que el amoníaco generado del residuo de los procesos metabólicos del pez y el alimento no consumido se eliminan mediante el proceso de nitrificación y desnitrificación [15].

Por consiguiente, estos hallazgos subrayan la importancia de monitorear y gestionar cuidadosamente los parámetros fisicoquímicos en los sistemas Biofloc para garantizar un entorno saludable para el animal [16]. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la correlación no implica causalidad, y un análisis más profundo es necesario para comprender completamente los mecanismos subyacentes y las

implicaciones biológicas de estas relaciones en el contexto de la acuicultura.

En cuanto a, el análisis de correlación en el cultivo de tilapia en sistemas Raceways en el presente estudio se observa una fuerte correlación positiva entre el OD y el pH, indicando que los niveles óptimos de oxígeno están vinculados a un ambiente con un pH adecuado, como lo reporta Abd El-Hack et al., (2022) [17], quienes mencionan que el pH del agua está influenciado por varios factores, incluyendo el sistema de carbonatos, el tipo de roca, el suelo y los contaminantes presentes en el agua. Esta variabilidad del pH puede afectar la disponibilidad de OD, ya que el CO₂ y los carbonatos son factores que influyen directamente en la capacidad del agua para sostener el oxígeno necesario para los organismos acuáticos.

Del mismo modo, White et al., (2015), menciona que las condiciones ambientales específicas del agua afectan la fisiología de los peces, cuando el pH se desvía del rango ideal, puede afectar negativamente la supervivencia y desempeño de los peces [18], esto sugiere que mantener un pH óptimo en los sistemas de cultivo es crucial para el bienestar y rendimiento de la producción. Al mismo tiempo El Sherif & El Feky, (2009), considera que el crecimiento de las tilapias se afecta negativamente en pH extremadamente bajo (6) y alto (9), con una disminución significativa en la eficiencia de conversión de alimento (FCR) [19]. Esto indica que mantener un pH dentro de ciertos límites es fundamental para maximizar la productividad y la salud los animales cultivados en sistemas de Biofloc o Raceways.

Con relación al pH, varios estudios realizados consideran que el rango óptimo de este puede variar considerando, El Sherif & Mohamed (2009) que este debe estar entre 5.0 – 8.0 [19] a diferencia de Saldaña et al., (2022) donde menciona que los rangos pueden oscilar entre 6.0 – 8.5 [20] Sin embargo, en general, existe consenso en que mantener un pH estable y dentro de ciertos límites es esencial para el éxito del cultivo de tilapia y otros organismos acuáticos, teniendo en cuenta que este puede variar de acuerdo a el tipo de estructura, sustratos utilizados, aireación y la carga de nutrientes.

De igual manera, la temperatura también muestra una correlación positiva moderada con el pH, destacando su influencia en la regulación de la alcalinidad. A diferencia de los sistemas de biofloc, en el cultivo en raceways, la relación entre nitrato y nitrito es nula, lo que sugiere que estos compuestos se mantienen independientes en el sistema. Fantini-Hoag et al., (2022) [13], indica que la aireación es fundamental para la eliminación de los desechos sólidos del sistema y así lograr mantener una calidad de agua. De forma similar Chen et al., (2020), expresa que los parámetros como el OD, la alcalinidad, pH y concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto disminuye el consumo de alimento y el crecimiento de los peces [21].

Con respecto, a la presencia de amoníaco en el sistema Raceways no parece correlacionarse significativamente con las demás variables, lo que puede influir en el proceso de nitrificación de manera diferente en comparación con el sistema de Biofloc. La correlación negativa entre sedimentos y varias de las variables fisicoquímicas sugiere que la presencia de sedimentos puede afectar negativamente la calidad del agua en los raceways.

Según Abd El-Hack et al., (2022), el amoníaco es un subproducto de desecho nitrogenado disuelto en el agua, principalmente proveniente de la descomposición de materia orgánica, siendo una sustancia soluble en el agua, especialmente en niveles bajos de pH, y su presencia puede ser tóxica para los peces, particularmente en su forma no ionizada (NH₃), la cual aumenta con el incremento del pH [22]. Igualmente, en los sistemas Raceways la acumulación de amonio puede afectar negativamente a los peces, debido a que pH en 7.0 o superior con relación al amoníaco en su forma no ionizada, puede resultar tóxico para los peces. Así mismo, las concentraciones elevadas de este pueden disminuir la eficiencia de crecimiento, la resistencia a enfermedades y la conversión de alimento en biomasa [23]. También, El Sherif & El Feky (2008), destaca que concentraciones de amonio bajas como 0.1 mg/L pueden tener efectos negativos en los peces, mientras que concentraciones óptimas se sitúan por debajo de 0.05 mg/L. Estos hallazgos sugieren que es fundamental mantener niveles de amonio dentro de rangos seguros para asegurar el bienestar y el rendimiento de los peces cultivados [24].

Cabe destacar, la relación entre la densidad de cultivo y la excreción de amonio es evidente Ali et al., (2006), donde relaciona un aumento significativo en los niveles de amonio con el incremento de la densidad de peces en los tanques de cultivo [25]. Este aumento en los niveles de amonio se asoció con tasas de crecimiento más bajas y una menor eficiencia en la conversión del alimento, lo que subraya la importancia de mantener densidades de cultivo adecuadas para minimizar la acumulación de amonio y sus efectos adversos.

El análisis de comparación de las tasas de alimentación entre el cultivo en Biofloc y el cultivo en Raceways indican que no existe una diferencia significativa entre los dos grupos (Biofloc y Raceways), ya que el valor de F es 0.3175 con un $p > 0.05$, lo que sugiere que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ambos grupos. Podemos incluir la tasa de alimentación también puede estar influenciada por la densidad de cultivo. En la piscicultura con tecnología Biofloc, pueden tener alta densidades de peces debido a la capacidad de reciclaje de nutrientes del sistema, en comparación el Raceways, lo que puede afectar la cantidad de alimento que se puede suministrar, así mismo la calidad del agua y los niveles de OD puede influir en la tasa de alimentación debido a que si los niveles de oxígeno son bajos, el estrés les reduce la capacidad de asimilar los nutrientes.

Además, se realizó una prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianza entre los grupos, que arrojó un p-valor de 0.053. Esto indica que la igualdad de varianzas no se cumple, lo que sugiere una posible desviación en la homogeneidad de la varianza entre los grupos. Sin embargo, se llevó a cabo un Welch F test para el caso de varianzas desiguales (F de 0.60 con un $p > 0,05$), respaldando la conclusión de que no hay diferencias significativas en las tasas de alimentación entre los dos grupos, incluso teniendo en cuenta la desigualdad de varianzas.

Este resultado es diferente a lo propuesto por Monroy-Dosta (2013) donde indica que los flóculos ayudan como fuente de alimento natural in situ, debido a que los organismos heterotróficos asociados a los géneros *Sphingomonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nitrospira*, *Nitrobacter* y la levadura *Rhodotorula sp.*, favoreciendo la calidad del agua y el bienestar fisiológico de los organismos en cultivo [26].

La ausencia de diferencias significativas en la conversión alimentaria entre el cultivo de tilapia en biofloc y el cultivo en raceways destaca hallazgos esenciales en términos de eficiencia de producción acuícola (Tabla 2). Este resultado sugiere que ambos métodos de cultivo han demostrado ser igualmente efectivos en la conversión de alimento en biomasa de tilapia. La conversión alimentaria, medida como la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la biomasa producida, es un indicador crucial de la eficiencia en la utilización de recursos en la acuicultura.

Con relación a la conversión alimenticia entre los grupos Biofloc y Raceways, se evidencia que ambos métodos han demostrado ser igualmente efectivos en la conversión de alimento en biomasa de tilapia. La conversión alimentaria, medida como la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la biomasa producida, es un indicador crucial de la eficiencia en la utilización de recursos en la acuicultura.

En cuanto a la conversión alimentaria, Oliveira et al., (2021), encontró que cuando en el sistema Biofloc, este eran el único alimento, el aumento de peso de los juveniles de tilapia fue equivalente alrededor del 20% del de los peces que recibieron al menos el 5% de su peso corporal como alimento, concluyendo que las tilapias criadas en el sistema BFT se evidencia una rentabilidad y crecimiento [27].

Así mismo, la falta de diferencias estadísticas en este aspecto implica que tanto el sistema de biofloc como los Raceways han logrado maximizar la transformación de alimento en crecimiento de tilapia de manera similar. Este resultado tiene implicaciones significativas en la toma de decisiones para los productores acuícolas, ya que les proporciona flexibilidad al elegir entre estos dos métodos de cultivo. Ambos sistemas ofrecen una eficiencia comparable en la conversión de recursos alimentarios en biomasa de peces, lo que permite a los productores adaptar su elección de acuerdo con otros

factores operativos, logísticos o económicos que puedan influir en la gestión de sus instalaciones.

Con respecto a, la conversión alimentaria Suárez Puerto et al., (2021), utilizaron estanques de geomembrana y el biofloc actuó como sustrato adicional como alimento para los peces se obtuvieron una reducción del 25 – 30% de la alimentación no afectó las tasas de crecimiento de los peces ni la supervivencia [28]. A diferencia con el raceways donde el alimento es suministrado por el productor en forma de pellets o gránulos, la eficiencia alimentaria puede variar dependiendo del tamaño del alimento [13]. Por tal motivo, la eficiencia de conversión alimentaria puede atribuirse a la adaptabilidad de las tilapias a diferentes entornos de cultivo, así como a la efectividad de las prácticas de manejo implementadas en ambas tecnologías. El valor de F obtenido fue de 0.39 con un $p > 0,05$. Además, se realizó una prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianza entre los grupos, que arrojó un $p > 0,05$. Esto indica que la igualdad de varianzas no se cumple, lo que sugiere una posible desviación en la homogeneidad de la varianza entre los grupos. Sin embargo, se llevó a cabo un Welch F test para el caso de varianzas desiguales, y el resultado mostró un F de 0.71 con un p-valor de 0.84, lo que respalda la conclusión de que no hay diferencias significativas en la conversión alimentaria entre los dos grupos, incluso teniendo en cuenta la desigualdad de varianzas (Figura 2).

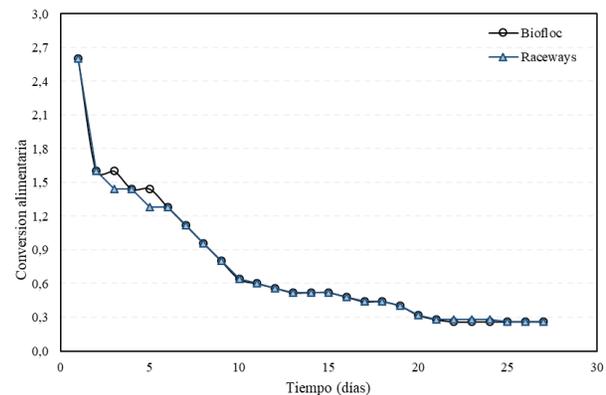


Figura 2. Conversión alimentaria para los dos sistemas.

En este sentido, se encontró que los valores óptimos del Conversión Alimenticia (ICA) en tilapia no variaron según las condiciones de cultivo, la calidad del alimento y el manejo general, y se encontró valores similares para Raceways y Biofloc, coincidiendo para las primeras etapas del cultivo con (Paz et al, 2019) quien sugiere que valores por debajo de 2.0 son deseables para una producción eficiente [29].

En cuanto a la ganancia de peso, los organismos presentaron un peso inicial promedio de 0,6 g por individuo en ambos sistemas (Biofloc y Raceways). Tras 27 días de evaluación, se registró una ganancia de peso final de 370 g en el sistema Biofloc, con una tasa de crecimiento de $0,3 \pm 0,003$ g/día, y

de 400 g en Raceways, con una tasa de crecimiento de $0,4 \pm 0,01$ g/día. No se observaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados ($p > 0,05$). Estos resultados son consistentes con lo reportado por Bru et al. (2017), quienes analizaron el bicultivo de cachama blanca y tilapia nilótica en sistemas Biofloc. Aunque su estudio se centró en el bicultivo, los valores obtenidos para la tilapia nilótica mostraron con una ganancia de peso diaria de $0,3 \pm 0,0$ g/día [30].

En relación con, la tasa de mortalidad entre el cultivo de tilapia en Biofloc y Raceways no se encontraron diferencias significativas ($F=0,40$ y $p>0,05$). Esto sugiere que ambos métodos de cultivo pueden tener tasas de mortalidad similares y, por lo tanto, pueden ser igualmente efectivos en términos de control de la mortalidad de la tilapia.

Con referencia a la mortalidad, Suarez et al., (2021; manifiesta que en la mortalidad en el sistema Biofloc presentado en su estudio fue del 2,4% debido al exceso de nitrato debido a la dificultad de mantener una relación C: N estable (10:1) [28].

El análisis comparativo de las tasas de supervivencia entre el cultivo de tilapia en biofloc y el cultivo en raceways revela la ausencia de diferencias estadísticamente significativas, sugiriendo que ambos métodos de cultivo pueden exhibir tasas de supervivencia similares, lo que implica la equiparabilidad en términos de la supervivencia de la tilapia (Figura 3). La prueba de análisis de varianza (ANOVA) aplicada para evaluar esta disparidad, (valor de F de 0.39 con un $p>0,05$), evidenciando que no existen diferencias significativas en las tasas de supervivencia promedio entre los dos métodos de cultivo.

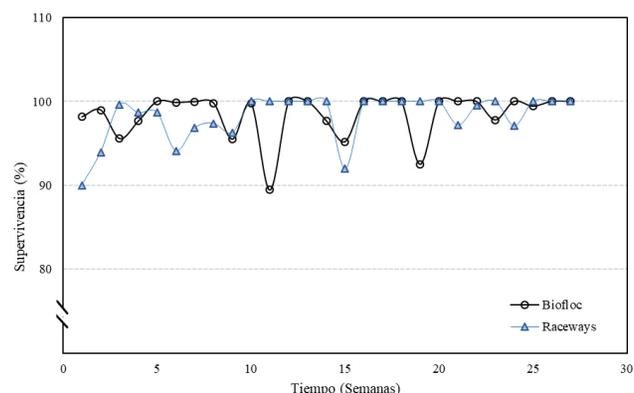


Figura 3. Tasa de supervivencia para los dos sistemas

Es esencial destacar que, al realizar una prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianza entre los grupos, se obtuvo un $p<0,05$, indicando la no igualdad de varianzas. Esta discrepancia podría plantear dudas sobre la validez de los resultados, ya que la homogeneidad de varianza es una suposición fundamental para los análisis de ANOVA. No obstante, se abordó esta inquietud mediante la aplicación de un Welch F test, diseñado para abordar varianzas desiguales.

El resultado de esta prueba arrojó un F de 0.7056 con un p-valor de 0.8471, respaldando la conclusión de que no hay diferencias significativas en las tasas de supervivencia entre los dos grupos, incluso teniendo en cuenta la desigualdad de varianzas. Este análisis y la aplicación de pruebas adicionales refuerzan la robustez de la conclusión principal, proporcionando una perspectiva más completa de la comparación de las tasas de supervivencia entre el cultivo de tilapia en biofloc y en raceways. A pesar de la desigualdad en la varianza, la consistencia de los resultados estadísticos fortalece la afirmación de la equivalencia en términos de supervivencia, lo que sugiere que ambas metodologías son igualmente efectivas en mantener la viabilidad de la población de tilapia bajo condiciones de cultivo.

4. Conclusiones

La implementación de la tecnología Biofloc y Raceways ayudan a mejorar la producción acuícola, principalmente en su productividad e impacto ambiental, así mismo la elección entre estos dos sistemas dependerá del objetivo del productor, los recursos naturales y económicos disponibles. En las comparaciones realizadas de las dos tecnologías, se evaluaron la tasa de alimentación, conversión alimenticia, mortalidad y supervivencia, teniendo como conclusión que no existe diferencias significativas entre las tecnologías. Es importante aclarar que para lograr esos resultados se deben mantener los parámetros físicos químicos como OD, pH, Amonio, Nitritos y Nitratos, estables sin importar que tecnología se esté usando, con el fin de mejorar la productividad y disminuir los gastos de producción y uso de los recursos naturales. Por tal motivo, es recomendable monitorear los parámetros mencionados anteriormente mediante sensores electrónicos que ayuden a controlar, la aireación forzada (Blower) si usamos Biofloc o controlar el flujo de agua si usamos Raceways.

Reconocimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia del UDR Aguachica, así mismo a las dos empresas piscícolas que permitieron la ejecución, también agradecen a los revisores pares y a los editores de esta revista por sus comentarios, que ayudaron a mejorar este trabajo.

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *El estado mundial de la pesca y la acuicultura, Hacia la transformación azul*. FAO, 2022. doi: 10.4060/cc0461es.
- [2] Y. A. Sarabia Parrado, "Historia de la Acuicultura en Colombia," *Revista AquaTIC*, vol. 37, pp. 60–76, 2016.

- [3] L. E. Hernández Mancipe, J. I. Londoño Velez, K. A. Hernández García, and L. C. Torres Hernández, "Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola," *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, vol. 14, no. 1, pp. 70–99, Apr. 2019, doi: 10.21615/cesmvz.14.1.6.
- [4] C. Ramírez-López, H. V. Perales-Vela, and L. Fernández-Linares, "Biomass and lipid production from *Chlorella vulgaris* UTEX 26 cultivated in 2 m³ raceway ponds under semicontinuous mode during the spring season," *Bioresour Technol*, vol. 274, pp. 252–260, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.11.096.
- [5] E. Villar-Navarro, J. Ruiz, C. Garrido-Pérez, and J. A. Perales, "Microalgae biotechnology for simultaneous water treatment and feed ingredient production in aquaculture," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 49, p. 103115, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.103115.
- [6] L. H. David, S. M. Pinho, K. J. Keesman, and F. Garcia, "Assessing the sustainability of tilapia farming in biofloc-based culture using emeryg synthesis," *Ecol Indic*, vol. 131, p. 108186, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108186.
- [7] I. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, "Boletín Predicción climática," Colombia, 2022.
- [8] S. Deb, Md. T. Noori, and P. S. Rao, "Application of biofloc technology for Indian major carp culture (polyculture) along with water quality management," *Aquac Eng*, vol. 91, p. 102106, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102106.
- [9] R. M. Shourbela, W. N. El-Hawarry, M. R. Elfadany, and M. A. O. Dawood, "Oregano essential oil enhanced the growth performance, immunity, and antioxidative status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared under intensive systems," *Aquaculture*, vol. 542, p. 736868, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736868.
- [10] Y. Avnimelech, *Biofloc technology: a practical guide book*. USA, 2009.
- [11] T. Yoshimatsu and M. A. Hossain, "Recent advances in the high-density rotifer culture in Japan," *Aquaculture International*, vol. 22, no. 5, pp. 1587–1603, Oct. 2014, doi: 10.1007/s10499-014-9767-5.
- [12] R. B. König, P. S. Furtado, W. Wasielesky, and P. C. Abreu, "Effect of hydrogen peroxide on the microbial community present in biofloc production systems of the shrimp *Litopenaeus vannamei*," *Aquaculture*, vol. 533, p. 736155, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.736155.
- [13] L. Fantini-Hoag, T. Hanson, and J. Chappell, "Production trials of in-pond raceway system growing stocker and foodsize hybrid Catfish plus Nile tilapia," *Aquaculture*, vol. 561, p. 738582, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738582.
- [14] T. Abinaya, J. Ishwarya, and M. Maheswari, "A Novel Methodology for Monitoring and Controlling of Water Quality in Aquaculture using Internet of Things (IoT)," in *2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, IEEE, Jan. 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICCCI.2019.8821988.
- [15] Y.-B. Yu *et al.*, "The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: A review," *J Environ Manage*, vol. 342, p. 118237, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118237.
- [16] M. H. Khanjani, A. Mohammadi, and M. G. C. Emerenciano, "Microorganisms in biofloc aquaculture system," *Aquac Rep*, vol. 26, p. 101300, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.aqrep.2022.101300.
- [17] A. A. H. Abdel Latef, M. F. Abu Alhmad, M. Kordrostami, A.-B. A.-E. Abo-Baker, and A. Zakir, "Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* Reinforces Maize Growth by Improving Physiological Activities Under Saline Conditions," *J Plant Growth Regul*, vol. 39, no. 3, pp. 1293–1306, Sep. 2020, doi: 10.1007/s00344-020-10065-9.
- [18] R. S. A. White, P. A. McHugh, C. N. Glover, and A. R. McIntosh, "Multiple environmental stressors increase the realised niche breadth of a forest-dwelling fish," *Ecography*, vol. 38, no. 2, pp. 154–162, Feb. 2015, doi: 10.1111/ecog.00526.
- [19] El Sherif Saad Mohamed and El Feky Mohamed Ibrahim, "Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fingerlings. I. Effect of pH," *Int J Agric Biol*, vol. 11, pp. 297–300, 2009.
- [20] R. Saldaña Escorcía, M. Salazar Sánchez, L. Rodríguez barbosa, I. Hernandez Martínez, and N. Sánchez Álvarez, "Avances en investigación científica. Tomo III: Ciencias multidisciplinares. Calidad del agua para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en etapa de alevinaje con tecnología biofloc," 1st ed., vol. 3, Nariño : Sello editorial AUNAR Cali, 2022, pp. 289–301, doi: 10.47666/avances.inv.3.
- [21] X. Chen, G. Luo, J. Tan, H. Tan, and M. Yao, "Effects of carbohydrate supply strategies and biofloc concentrations on the growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in biofloc systems," *Aquaculture*, vol. 517, p. 734808, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734808.
- [22] M. E. Abd El-Hack *et al.*, "Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)," *Int J Biometeorol*, vol. 66, no. 11, pp. 2183–2194, Nov. 2022, doi: 10.1007/s00484-022-02347-6.
- [23] S. M. Levit, *A Literature Review of Effects of Ammonia on Fish*, Montana. Montana : The Nature Conservancy, 2010.
- [24] M. S. El-Sherif and A. M. El-Feky, "Effect of ammonia on Nile tilapia (*O. niloticus*) performance and some hematological and histological measures," *Eighth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, pp. 17–22, Oct. 2008.

- [25] M. S. Ali, S. M. Stead, and D. F. Houlihan, "Effects of stocking [sic] density on ammonia excretion and the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)," *aquadocs*, pp. 13–24, Feb. 2006.
- [26] M. del C. Monroy-Dosta, R. De Lara-Andrade, J. Castro-Mejía, G. Castro-Mejía, and M. G. Coelho-Emerenciano, "Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia," *Rev Biol Mar Oceanogr*, vol. 48, no. 3, pp. 511–520, Dec. 2013, doi: 10.4067/S0718-19572013000300009.
- [27] L. K. Oliveira, L. Pilz, P. S. Furtado, E. L. C. Ballester, and Á. J. de A. Bicudo, "Growth, nutritional efficiency, and profitability of juvenile GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in biofloc system on graded feeding rates," *Aquaculture*, vol. 541, p. 736830, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736830.
- [28] B. Suárez-Puerto, M. Delgadillo-Díaz, M. J. Sánchez-Solís, and M. Gullian-Klanian, "Analysis of the cost-effectiveness and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in biofloc and green water technologies during two seasons," *Aquaculture*, vol. 538, p. 736534, May 2021, doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736534.
- [29] P. E. Paz, A. D. Martínez Turcios, and J. I. Chávez Chávez, "Producción de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) en la etapa de engorde con dos estrategias de alimentación," *Ceiba*, no. 0843, pp. 1–6, Jan. 2019, doi: 10.5377/ceiba.v0i0843.5824.
- [30] S. B. Brú-Cordero, V. Pertúz-Buelvas, J. Ayazo-Genes, V. J. Atencio-García, and S. Pardo-Carrasco, "Bicultivo de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> y tilapia nilótica <i>Oreochromis niloticus</i> en biofloc alimentadas con dietas de origen vegetal," *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, vol. 64, no. 1, pp. 44–60, Jan. 2017, doi: 10.15446/rfmvz.v64n1.65824.