CULTIVO DE TILAPIA *Oreochromis niloticus* EN SISTEMA DE FLÓCULO BACTERIANO - BIOFLOC

BIOFLOC SYSTEM APPLIED TO *Oreochromis niloticus* FARMING

Luis Gonzales Molina[1] *Francisco Ganoza Chozo*[1] *Cruz Prieto Dueñas*[1]
Jhon Alvarez Veliz[1] *Jean García Valladares*[1] *Rosmery Corasma Bartolo*[1]
Jesús Barreto Meza[2]

RESUMEN

Gonzales Molina, L., Ganoza Chozo, F., Prieto Dueñas, C., Alvarez Veliz, J., García Valladares, J., Corasma Bartolo, R. & Barreto Meza, J. (2023). Cultivo de tilapia Oreochromis niloticus *en sistema de floculo bacteriano – Biofloc. Inf Inst Mar Perú, 50(3), 410- 420.-* Este trabajo se realizó en el Laboratorio Costero de Imarpe – Huacho, durante cuatro meses, con la finalidad de cultivar juveniles de tilapia, alimentadas con plancton mediante el sistema biofloc. Se emplearon los procedimientos de maduración del biofloc, acondicionamiento y crecimiento de juveniles, se evaluaron los procesos de conversión de compuestos nitrogenados (nitrógeno amoniacal total, NO_2 y NO_3) y su relación con las variables físicas y químicas que influyeron en la estabilidad del crecimiento del alimento natural. Se acondicionaron 300 juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus*, en 3 tanques de 2 m^3. La etapa experimental se dividió en autotrófica y heterotrófica; esta última fue especialmente controlada mediante la adición de bicarbonato de sodio y melaza como fuentes de alcalinidad y carbono orgánico, respectivamente (relación C: N de 10:1). Al inicio los ejemplares tuvieron longitud y peso promedio de 6,12 cm y 4,14 g, al final del experimento alcanzaron 17,38 cm y 96,08 g. La alcalinidad del cultivo estuvo entre 100 y 150 mg/L mediante la adición de bicarbonato de sodio (250 g por 1 m^3). El oxígeno fue saturado y continuo, varió entre 7,5 mg/L y 8,5 mg/L; se conservaron los sólidos en suspensión distribuidos en toda la columna de agua para ser filtrados por los peces. El pH permaneció estable por debajo de 11. Los resultados permitieron concluir que el sistema biofloc, generó el crecimiento de los organismos del plancton, que sirvió como alimento natural de calidad. Como resultados, a las tilapias se les redujo la adición del alimento comercial, disminuyendo el factor de conversión alimenticia, obteniendo ganancia en peso; además los parámetros fisicoquímicos del agua con cero recambios se mantuvieron en condiciones apropiadas para el cultivo de juveniles de tilapia.

Palabras clave: *Oreochromis niloticus*, biofloc, juveniles de tilapia, cultivo

ABSTRACT

Gonzales Molina, L., Ganoza Chozo, F., Prieto Dueñas, C., Alvarez Veliz, J., García Valladares, J., Corasma Bartolo, R. & Barreto Meza, J. (2023). Biofloc system applied to Oreochromis niloticus *farming. Inf Inst Mar Perú, 50(3), 410- 420.-* This study, conducted at the Imarpe's Coastal Laboratory in Huacho over four months, aimed to cultivate juvenile *Oreochromis niloticus* using a biofloc system that relies on plankton as a primary food source. The research encompassed biofloc maturation, juvenile conditioning, and growth evaluation while considering the conversion of nitrogenous compounds (total ammonia nitrogen, NO_2, and NO_3) and their correlation with physical and chemical factors influencing natural food stability. Three hundred juvenile *O. niloticus* were conditioned in three 2 m^3 tanks. The experimental phase comprised autotrophic and heterotrophic stages, with the latter being meticulously regulated through the addition of sodium bicarbonate and molasses as sources of alkalinity and organic carbon, respectively, maintaining a C:N ratio of 10:1. Initial specimens had an average length and weight of 6.12 cm and 4.14 g, respectively, and during the final stage of the study, they exhibited a noticeable growth, reaching an average length and weight of 17.38 cm and 96.08 g, respectively. Alkalinity levels in the culture ranged between 100 and 150 mg/L, achieved through the addition of sodium bicarbonate (250 g per 1 m^3). Oxygen levels remained consistently saturated, fluctuating between 7.5 mg/L and 8.5 mg/L, with suspended solids evenly distributed throughout the water column to facilitate filtration by the fish. The pH levels remained stable, consistently below 11. Our findings indicated that the biofloc system effectively promoted the growth of planktonic organisms, serving as a high-quality natural food source. Consequently, the addition of commercial feed was reduced, resulting in improved feed conversion ratios and weight gain. Furthermore, physicochemical water parameters remained suitable for the cultivation of juvenile *O. niloticus*, even in the absence of water exchange.

Keywords: *Oreochromis niloticus,* biofloc, juveniles, culture

1. INTRODUCCIÓN

Hace más de 30 años del descubrimiento del potencial de la tecnología biofloc en la cría de tilapia, desde entonces se han llevado a cabo múltiples estudios. Tanto en ambientes naturales como en sistemas acuícolas, los microorganismos desempeñan un papel fundamental como productores y consumidores de oxígeno disuelto, reciclando nutrientes y produciendo alimento para organismos mayores.

1 Imarpe. Laboratorio Costero de Huacho, lgonzales@imarpe.gob.pe
2 Facultad de Ingeniería Pesquera. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión - UNJFSC

Teniendo en cuenta que el uso y cultivo de los biofloc microbianos a partir de una alta relación de carbono a nitrógeno (C:N), cuyos subproductos nitrogenados pueden ser absorbidos fácilmente por bacterias heterótrofas en el agua, ha sido empleado para acuicultura como un sistema alternativo súper intensivo de producción, debido a que el nitrógeno proviene tanto del alimento no consumido como de la excreción propia de la especie en cultivo y del carbono por la adición de una fuente externa de carbohidratos; además hay poco o nulo recambio de agua y alta oxigenación (Emerenciano, Gaxiola & Cuzon, 2013; Martínez, Martínez, López & Enríquez, 2014).

Ogello, Musa, Mulanda, Abwao y Mbonge (2014), realizaron una revisión detallada del uso de la tecnología biofloc (BFT) en cultivo de tilapia, resaltando los resultados de diferentes autores, quienes al evaluar tilapias alimentadas con una dieta control de 30% de proteína bruta y otra a base de biofloc, no encontraron diferencias significativas y concluyeron que la dieta a base de proteína microbiana puede ser utilizada con éxito en la alimentación para diferentes especies de tilapia. Esa revisión, también destaca que peces cultivados usando la tecnología BTF se alimentan constantemente, debido a que la producción microbiana es un proceso continuo. Según Avnimelech (2009), el uso de proteínas se eleva de 15-25% (estanques convencionales) a 45% en cultivos BFT debido, probablemente, al reciclaje de proteína.

Para poder aumentar su producción, la acuicultura requiere resolver diversos problemas que son inherentes a su actividad, como es incrementar áreas para instalaciones, conducción del agua, construcción de estanques y drenajes para el desalojo de las aguas residuales, etc. En cualquier empresa de acuicultura intensiva el mayor costo en la producción es la alimentación, con la desventaja de que 60% del alimento que se suministra, no siempre es aprovechado por los organismos, causando que compuestos como fósforo, carbono y nitrógeno, entre otros, permanezcan en el agua como materia suspendida o como químicos disueltos, o son expulsados del sistema mediante la gasificación o el recambio del agua, contaminando otros cuerpos de agua y suelos cercanos, ocasionando pérdidas económicas a los productores (Gutierrez-Wing & Malone, 2006).

Los sistemas de producción han sido tradicionalmente controlados utilizando grandes biorreactores de celda fija que se basan en la nitrificación de amoníaco-nitrógeno a nitrato-nitrógeno por bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) y óxido de nitrito Dizing Bacteria (NOB), bacterias autótrofas. El crecimiento de bacterias heterótrofas y la acumulación de carbono orgánico se minimizan a través de la rápida remoción de sólidos del sistema y mediante el uso de algún nivel de intercambio de agua (Timmons, Ebeling, Wheaton, Summerfelt & Vinci, 2002).

Para que la actividad acuícola, reduzca sus impactos sobre el medio ambiente y se desarrolle de manera sustentable, es necesario la búsqueda de nuevas tecnologías, capaces de aminorar los costos de producción, sin disminuir la biomasa de organismos producidos en las granjas acuícolas, por lo que la implementación de un sistema económico, de pocos componentes, sencillos, accesibles y de fácil operación, puede ayudar a reducir los costos de inversión y operativos (Borja, 2002). La tecnología Biofloc ofrece solución a esas problemáticas, la que se ha estudiado y aplicado, principalmente, para el cultivo de camarones peneidos y de algunos peces dulceacuícolas de hábitos omnívoros y detritívoros.

El objetivo más importante en el manejo de la calidad del agua en cualquier sistema de producción de animales acuáticos, es mantener la concentración de amonio por debajo de sus niveles tóxicos; en el sistema biofloc hay tres procesos para controlar amonio: asimilación por algas, asimilación bacteriana y nitrificación. La transformación y dinámica del amonio en sistemas biofloc son complejas, envolviendo una interacción entre algas y bacterias ante la competencia por amonio. La relativa importancia de cada uno de esos procesos depende de varios factores, entre ellos: tasa de alimentación, concentración de sólidos suspendidos, concentración de amonio, intensidad de la luz y la tasa de Carbono-Nitrógeno (Michaud, Blancheton, Bruni & Piedrahita, 2006).

En la década de los 70, el Imarpe y la Universidad Nacional Agraria La Molina introdujeron las especies *Oreochromis niloticus*, *O. hornorum* y *O. mossambica* con fines de investigación y cultivo en las zonas de selva alta, produciéndose una rápida adaptación a la zona (Ramos & Gálvez, 2000).

La tilapia es un pez teleósteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia Cichlidae, originaria de África, habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde le son favorables las aguas tropicales. Es un pez de rápido crecimiento, se adaptan al cultivo en estanques o jaulas, resiste condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno, pero no es recomendable cultivar donde el agua tenga baja concentración de oxigeno; porque disminuye la tasa de crecimiento, causa enfermedad a nivel de branquias y, lo más importante, disminuye la capacidad de reproducción; puede ser manipulado genéticamente, pero la desventaja es su precoz reproducción (Saavedra, 2006).

Febrianto, Firdayanti, Maulida, Nabila y Nur (2018), mencionaron que de los principales productos básicos de la pesca acuícola en Indonesia es la tilapia (*Oreochromis niloticus*), cuya limitación competitiva para los agricultores es el precio del alimento que significa 60-70% como costo de producción. Ellos trabajaron con tres estanques de biofloc, en el que instalaron 400 juveniles de tilapia de 10-12 cm de longitud, dieron alimento orgánico dos veces al día con dosis del 5% del peso del pez. Después de ±75 días de mantenimiento, el rendimiento fue de 223 kg. Sus resultados indicaron que el uso de alimentos orgánicos puede reducir los costos de producción hasta en 56,25 %.

El presente trabajo, se realizó en las instalaciones del Laboratorio Costero del Imarpe, Huacho, durante 4 meses (noviembre 2017 - marzo 2018) con el objetivo de cultivar y evaluar los principales compuestos nitrogenados como Nitrógeno Amoniacal Total, NO2 y NO3 y su relación con las variables físicas y químicas que influyeron en la estabilidad del crecimiento de zooplancton.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental y condiciones de cultivo

Se emplearon 300 ejemplares de *Oreochromis niloticus* cultivados en el laboratorio de Acuicultura Imarpe-Huacho, cuya longitud promedio fue 9,16 ± 1,03 cm y el peso promedio fue 14,56 ± 4,69 g. Estos especímenes fueron colectados de manera aleatoria y se instalaron en tres tanques circulares de fibra de vidrio de 2 m^3, conteniendo 100 ejemplares cada uno. Cada tanque contó con un difusor de aire en el centro, para garantizar el movimiento continuo y suspensión homogénea de las partículas de burbujas durante el desarrollo del experimento.

Las actividades se iniciaron con la maduración del sistema biofloc en tres tanques, que se usaron uno como control y dos como réplicas; luego se sembraron los especímenes en cada tanque. Todos los ejemplares fueron mantenidos en ayuno un día antes para su biometría inicial; se midieron los parámetros físico – químicos para mantener estable el sistema y si se alteraba uno de los parámetros se controlaba mediante la adición de carbono.

Formación y desarrollo de comunidades microbianas en el biofloc

Días 1 - 7: alza de valores de pH y alcalinidad, inicialmente estuvieron en 7,5 elevándose hasta 8,0.

Días 8 - 14: aumentó la concentración de amoníaco total del agua, debido a baja población de bacterias. La concentración promedio de amoníaco tóxico llegó a 1,9.

Días 15 - 28: valores del pH disminuyeron a partir del día 14 hasta el final del trabajo. El tanque comenzó a presentar formación de espuma en la superficie del agua hacia los días 21 y 28.

Días 29 - 47: a partir del día 28, el nivel de amoníaco total descendió a la mitad con relación al día 14, y la concentración de nitrato alcanzó el valor medio máximo de 120 mg/L, sin señales de estrés en los peces.

Parámetros físico – químicos (Fig. 1)

Temperatura (°C): se utilizó un multiparámetro, que tiene un electrodo sensor térmico que indica la temperatura. Durante todo el experimento, los datos se registraron en una bitácora a las 08:00, 12:00 y 16:00 horas.

Oxígeno disuelto (OD): Los valores por encima de 5 mg/L de OD son óptimos para el cultivo de la tilapia en el sistema Biofloc, por lo cual, este parámetro no sería limitante para la producción de alevinos de tilapia bajo esta nueva tecnología.

Figura 1-. Parámetros físico – químicos del sistema biofloc

PH, nitrito, nitrato, amonio: sales formadas por combinación de ácido nitroso y una base; generalmente, se obtiene por reducción de los nitratos con carbono o hidrógeno.

Alcalinidad: debe ser mantenida entre 100 y 150 mg/L^{-1} de $CaCO_3$ mediante adiciones regulares de bicarbonato de sodio.

La medición de nitrito, nitrato, amonio y alcalinidad se realizó con un kit colorimétrico.

Compuestos agregados en acondicionamiento de la tilapia en biofloc

Melaza: se empleó como fuente de carbono, debido a que no afecta el comportamiento productivo de las especies, ni tampoco la calidad del agua. Cuando un organismo heterotrófico toma carbono de una fuente orgánica como la melaza, también realiza la toma del nitrógeno en su medio acuoso, con el fin de producir biomasa proteica aumentando el volumen del biofloc (Avnimelech, 2009).

La tasa de alimentación primaria incrementa rápidamente las concentraciones de amoniaco y especialmente del nitrito, hasta el punto de volverse tóxico y afectar al crecimiento de los peces, a la conversión alimenticia y generar resistencia a enfermedades o en algunos casos la supervivencia, por ello, se dio uso a la melaza que se agrega de 15 a 20 mg/L (Luo *et al*., 2013).

$$\text{Cantidad de Melaza} = \frac{\text{NAT x 1000xVxC/N}}{\%\ \text{C}}$$

Dónde:

NAT**:** concentración de nitrógeno amoniacal total en el estanque del biofloc expresado en miligramos por litro. La estimación del amoníaco – nitrógeno generado por día en un sistema de producción acuícola se puede calcular basado en la tasa de alimentación (Timmons *et al*., 2002).

1000: factor de conversión de miligramos a gramos.

V: volumen de agua del estanque de biofloc expresado en litros. Para el experimento fue 1000 litros.

C/N: relación de Carbono-Nitrógeno a utilizar. Para el experimento fue 12.

%C: porcentaje de Carbono en un gramo de melaza. Para el experimento fue 50%.

La melaza se fue añadiendo hasta alcanzar la concentración de sólidos sedimentables de 100 mL.L medidos con probeta o cono Imhoff (*Sienceware*). Cuando los valores de sólidos superaron 100 mL, la adición de melaza se suspendió hasta que retorne al valor deseado.

Solidos suspendidos totales (SST): para cuantificarlos, se utilizó el método estándar Apha (1995). Se tomó una muestra (150 mL) de agua de los tanques de cultivo, la que se filtró utilizando un equipo con bomba al vacío, usando filtros de fibra de vidrio (Ducatt), los que se secaron en una estufa a 60 °C durante 24 horas. Posteriormente, se colocaron en un desecador y se pesaron en balanza analítica hasta obtener el peso constante. Los sólidos suspendidos totales fueron determinados con la siguiente formula:

$$\text{SST}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(\text{A} - \text{B}) * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Dónde:

SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)

A = Peso del filtro + muestra seca (g)

B = Peso del filtro (g)

Manejo de la alcalinidad en sistemas Biofloc

Avnimelech (2009) considera que el pH y la alcalinidad en sistemas de producción con tecnología biofloc normalmente permanecen estables en el agua con rangos y valores de 7 – 9 y mayor a 50 mg $CaCO_3$/L, respectivamente, existiendo una relación directa entre los procesos de nitrificación y la alcalinidad e inversos en relación con el pH, en este sentido cuando el pH es alto promueve toxicidad por amonio no ionizado.

La temperatura del agua afecta al pH teniendo correlaciones positivas, es decir que a mayor temperatura mayor pH y amonio tóxico (Emerson, Russo, Lund & Thurston, 1975).

Muestreo biométrico del material biológico

Se extrae una muestra de la población, se calcula la longitud (cm) y peso (g) promedio, tomando como referencia el 10% de la población, para ello se utilizó un ictiómetro de aluminio para medir la longitud de los ejemplares y una balanza digital de 0,1 g de sensibilidad donde se registró el peso (Fig. 2). Con el dato de peso promedio se calculó la biomasa y cantidad de alimento a suministrar sucesivamente para las semanas posteriores

B (kg) = N * W (kg)

Dónde:

N = número de peces

W = peso promedio

B = biomasa

Alimentación y monitoreo de los juveniles

Se suministró diariamente alimento comercial (Naltech) con 42% de proteína y tamaño de partícula de 1,5 mm. La cantidad de alimento fue proporcional al 5% de masa corporal, la cantidad se ajustó cada 30 días, al mismo tiempo, a medida que el sistema maduraba producía alimento primario y secundario, como fitoplancton y zooplancton. La supervivencia se cuantificó diariamente, se restó el número de peces muertos del número de peces sembrados inicialmente en el estanque. El factor de conversión alimenticia (FCA) de los alevinos, se calculó como el cociente del alimento suministrado expresado en gramos y el peso ganado (Fig. 3).

Tasa de conversión alimenticia (TCA)

Esta expresión numérica representa la cantidad de alimento que consumen los peces durante todo el trabajo, para saber cuánto de alimento hemos suministrado y cuanto de Biomasa o peso han ganado los peces, lo ideal debería de ser suministrar 1 kilogramo de alimento para obtener 1,3 kilogramos de carne (Hanley, 1991).

$$TCA = \frac{\text{alimento consumido (g)}}{\text{Biomasa fial (g)} - \text{Biomasa inicial (g)}}$$

Figura 2.- Muestreo biométrico de tilapia

Figura 3.- Alimentación de las tilapias del sistema biofloc

Figura 4.- Días 1 – 7: maduración del sistema Biofloc

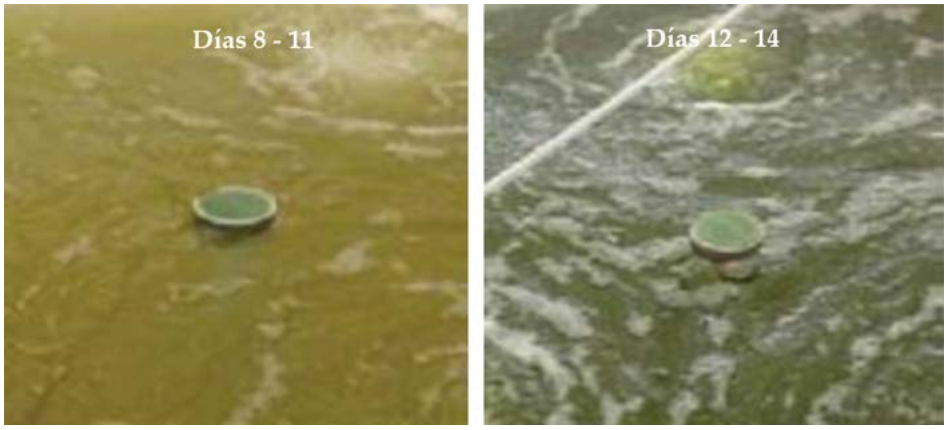

Figura 5.- Días 8 – 14: maduración del sistema Biofloc

Tasa de crecimiento específico (TCE, %.día)

La tasa de crecimiento específico (TCE) es la rapidez del crecimiento de los peces de acuerdo al objetivo trazado al inicio del trabajo.

$$\text{TCE} = \frac{\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial}}{\text{dias de cultivo}} * 100$$

3. RESULTADOS

El experimento duró 120 días. Los tanques de fibra de vidrio de 2 m^3, se llenaron con 1000 L de agua, y se inició con 100 ejemplares de tilapia por tanque, la longitud promedio fue 6,12 ± 0,917 cm y peso promedio 4,14 ± 1,80 g.

Maduración del sistema biofloc

Días 1 - 7: en los dos primeros días, el agua de los tanques comenzó a presentar un aspecto levemente opaco con tono ligeramente verdoso, apareciendo microalgas comenzando a beneficiarse de los nutrientes aportados, lo que se hizo evidente el día 7 inclusive con mayor color verde en el agua. Los valores de pH y alcalinidad inicialmente estuvieron en 7,5 elevándose hasta 8,0 en el día 7 (Fig. 4).

Días 8 - 14: la densidad del fitoplancton aumentó gradualmente con el pasar de los días, hasta el día 14. En las primeras dos semanas, se notó un incremento leve de los tenores de pH del agua (debido a la fotosíntesis) (Fig. 5). Se observó aumento en la concentración de amoníaco total en el agua, debido a que la población de bacterias aún no se había desarrollado, la concentración promedio de amoníaco tóxico llegó a 1,9 mg.L. Cerca al día 14, al tocar con los dedos de las manos las paredes internas de los tanques ya se podía sentir presencia de un biofilm bacteriano.

Figura 6.- Días 15 – 28: maduración del sistema Biofloc

Días 15 - 28: a partir del día 21, se comenzó a notar el color marrón en el agua de los tanques, tonalidad que es un indicativo de presencia de masa bacteriana en suspensión. El valor del pH disminuyó a partir del día 14 hasta el fin del trabajo, debido a la generación de nitrógeno y del consumo de alcalinidad por procesos de descomposición de materia orgánica y nitrificación. Los tenores de pH fueron mantenidos por encima de 7,1 a través de la adición regular de bicarbonato de sodio. Los niveles de amoníaco total disminuyeron rápidamente, mientras que los correspondientes a los nitritos se elevaron, indicando que las bacterias comenzaban a proliferar y a trabajar en el sistema. De los días 21 al 28, estimuladas las bacterias, por presencia de nitrógeno amoniacal y carbono, el tanque comenzó a presentar formación de espuma en la superficie del agua (Fig. 6). Algunas veces la espuma estaba espesa, llegando a cubrir casi la totalidad el agua del tanque. En la pared del tanque comenzó a aparecer una masa orgánica color marrón, con suave olor (sin llegar a ser de putrefacción) que contenía detritos orgánicos y gran cantidad de microorganismos adheridos (bacterias, microalgas, protozoarios, poríferos y algunos oligoquetos que fueron observados bajo microscopio.

Días 29 - 47: la aplicación de melaza se inició en el séptimo día y fueron mayores en el primer mes, en función de los niveles más elevados del amoníaco y nitritos en el agua. Posterior al día 35, las dosis de melaza aplicadas fueron cada vez más reducidas, con los niveles de amoníaco y nitrito alcanzando valores estables de 0,5 mg/L y 0,2 mg/L. La cantidad de espuma en la superficie de los tanques fue disminuyendo, hacia el día 35 o 40, el agua presentaba color marrón más acentuado. La cantidad de material particulado en suspensión en el agua aumentó considerablemente, llegando a representar volumen de sólidos decantados en el medio de cultivo que son alimento para las tilapias. A partir del día 28, el nivel de amoníaco total había descendido a la mitad de lo registrado el día 14, y la concentración de nitrato alcanzó el valor medio máximo de 120 mg/L., sin señales de estrés en los peces (Fig. 7).

Aclimatación y siembra

Los alevinos, fueron aclimatados en un tanque de 500 L, durante 25 – 35 minutos, luego fueron vertidos al tanque del cultivo de biofloc.

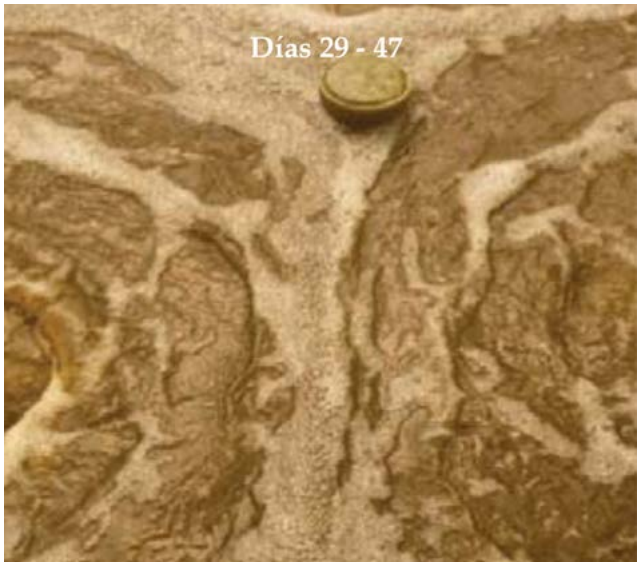

Figura 7.- Días 29 – 47: maduración del sistema Biofloc

Sobrevivencia: el 100% de los alevinos sobrevivieron a los 120 días del experimento.

Ganancia en peso: las tilapias tuvieron crecimiento continuo durante el proceso de investigación, alcanzando pesos promedios de 96,08 ± 25,4g, que se ajusta a las óptimas condiciones dadas en el cultivo. En los dos primeros meses, la temperatura en promedio fue de 22,3 °C aun así la ganancia de peso continuó su incremento sin problema; en los siguientes meses se observó la caída de temperatura, que no afectó el incremento de peso en los ejemplares, debido a que el sistema de Biofloc mantiene constante el alimento primario con alta contenido de proteína (Fig. 8).

Ganancia en longitud: se llegó a 17,38 ± 1,7 cm, con temperaturas que no mostraron una variación significativa, se mantuvieron casi constante con promedio de 22,3 ± 0,70 °C, mediante el cual el crecimiento fue continuo durante todo el periodo de estudio, estadísticamente se muestra que hubo un buen desarrollo que se logró en el tratamiento con Biofloc, esta tendencia se mantuvo a lo largo del experimento, el crecimiento de los organismos se presenta por buena calidad de agua, abundante alimento natural y poco alimento comercial con 48% de proteína (Fig. 9).

Los resultados para peso y longitud muestran estadísticamente crecimiento óptimo con adición de 20 g de alimento balanceado mínimo por día; se pudo comprobar la efectividad del sistema Biofloc al contar con flóculos que los peces fácilmente pueden filtrar como alimento primario con buena concentración de proteína (Fig. 10).

Relación entre los sólidos sedimentables totales y peso

En el primer mes se registraron valores de 18 mL/L de sólidos sedimentables, que durante el transcurso de los días se incrementaron hasta alcanzar 148 mL/L. Al aumentar los sólidos también se multiplicó, de manera constante, el plancton (fito y zooplancton), que es parte de su alimentación primaria con alta proteína (Fig. 11).

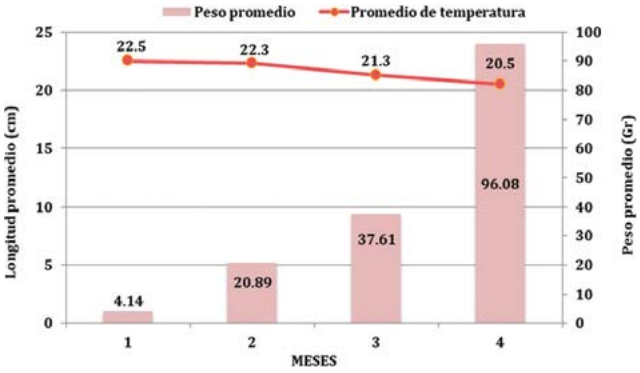

Figura 8-. Relación promedio de peso y longitud de *Oreochromis niloticus*

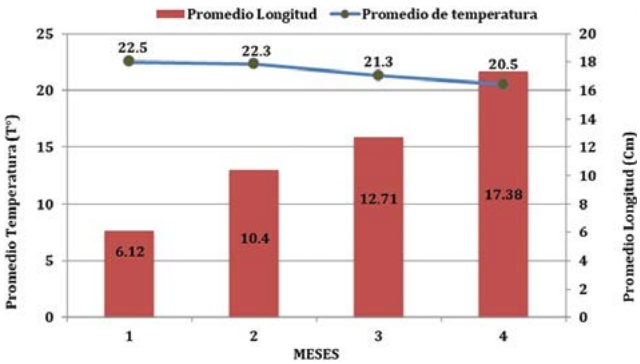

Figura 9.- Promedio de longitud y temperatura en el sistema Biofloc

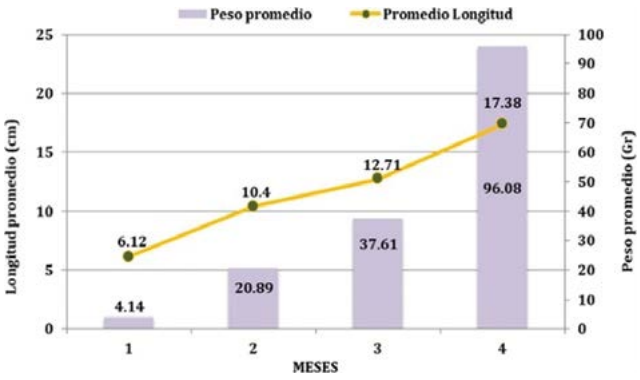

Figura 10.- Relación de peso y longitud promedio de *Oreochromis niloticus*

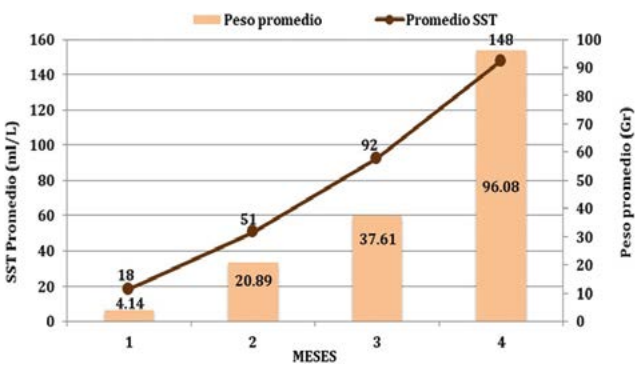

Figura 11.- Relación promedio de peso de *Oreochromis niloticus*

Régimen alimenticio y tasa de crecimiento específico (TCE)

La TCE en el primer mes fue 0,67%, el cual fue uno de los más bajos durante todo el trabajo, debido a que los ejemplares se estaban adaptando al sistema, el mes siguiente se registró alto porcentaje, determinándose que las tilapias se habían adaptado al sistema, el tercer mes hubo disminución en la TCE posiblemente debido a la disminución de la temperatura, y el cuarto mes se recuperó la tendencia (Fig. 12).

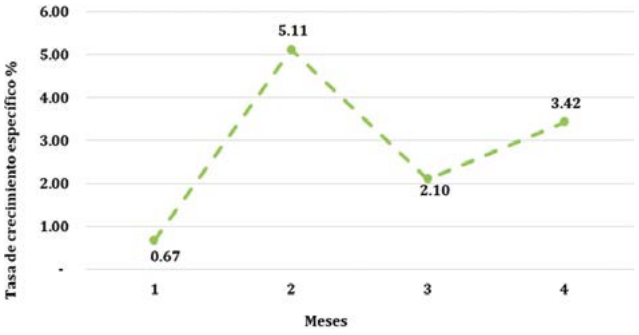

Figura 12.- Tasa de crecimiento especifico (%) de *Oreochromis niloticus*

Factores físico químicos

Temperatura: los promedios de las diferentes horas del día, no mostraron variación significativa, ésta se mantuvo constante, variando en promedio de 22,3 ± 0,70 a 22,5 ± 0,21 °C. Estadísticamente fue mayor en mayo debido al cambio de estación.

Oxígeno: se mantuvo saturado durante toda la investigación, el rango varió de 7,5 mg/L a 8,5 mg/L.

El sistema de aireación utilizado en los tanques tuvo como objetivo principal mantener suspendida la materia orgánica para ayudar en la alimentación de los ejemplares.

Potencial hidronio pH: los cambios de pH determinan la estabilidad del Biofloc, durante el experimento el rango varió entre 7 y 8 permitiendo el buen desempeño del sistema.

Nitrógeno Amoniacal Total (NAT): se ha manejado con valores menores a 2 mg/L, significando que el sistema ha trabajado en óptimas condiciones. Cuando el NAT se incrementaba se adicionaba Carbono para mantener estable el medio de cultivo, también se adicionaba melaza, manteniendo los niveles entre 0,9 mg/L y 0,2 mg/L, cuanto menos es la concentración del NAT el sistema trabaja en óptimas condiciones (Fig. 13).

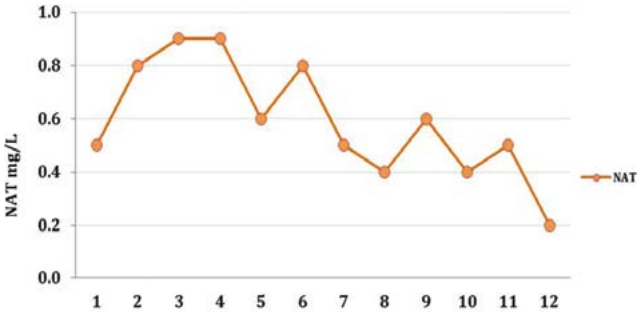

Figura 13.- Cambios en las concentraciones (mg/L) del NAT

Solidos sedimentables: fueron determinados diariamente a las 8:00 horas usando la probeta o cono Imhoff, por 45 minutos, manteniendo en 77,1 mL/L (que estaba dentro de lo requerido por el sistema Biofloc) cuando disminuía era por falta de nitrificación ante lo cual se adicionaba melaza, a fin de mantener el sistema por debajo de 150 mL/L. Al analizar los sólidos en el microscopio, se comprobó abundancia de fitoplancton y zooplancton (Fig. 14).

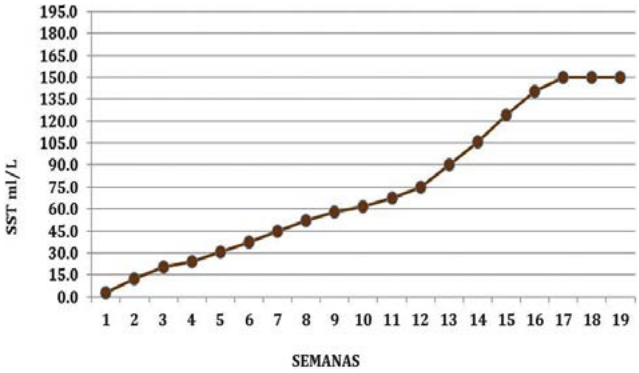

Figura 14.- Cambios en las concentraciones (mL/L) de sólidos sedimentables totales (SST)

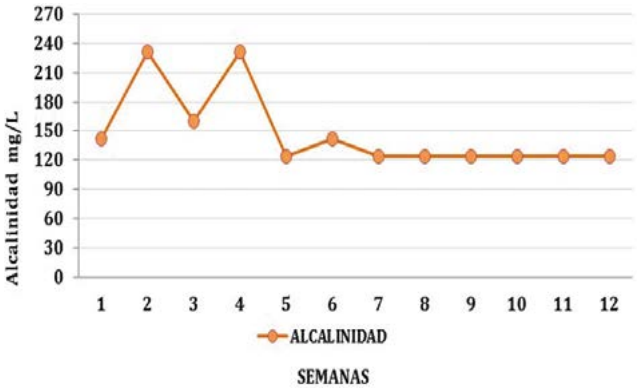

Figura 15.- Cambios en las concentraciones (mg/L) de alcalinidad

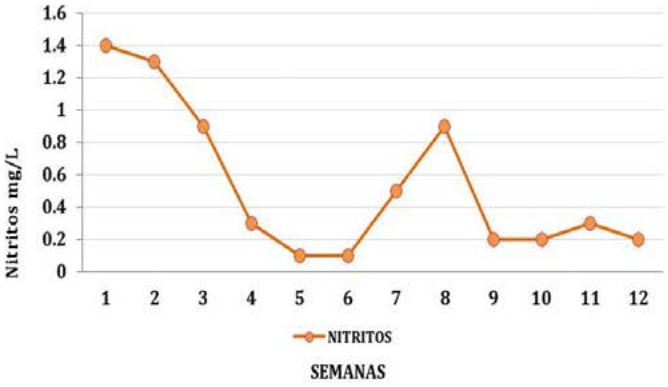

Figura 16.- Cambios en las concentraciones de nitrito (mg/L)

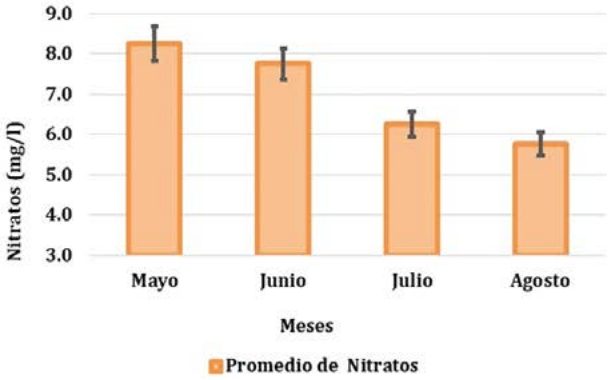

Figura 17.- Promedio de nitrato del cultivo en sistema biofloc

Manejo de la alcalinidad: en las primeras semanas la alcalinidad estuvo alterada con registros de 231,4 mg/L, luego se mantuvo entre 100 y 150 mg/L. La alcalinidad es la capacidad buffer del agua para resistir cambios en el pH, en respuesta a las adiciones de ácidos o bases, para mantener estos registros, se adicionaba carbono, en este caso específicamente se le agregó bicarbonato de sodio 250 g por 1 m^3. La actividad de las bacterias nitrificantes es responsable de la mayor pérdida de alcalinidad en sistemas (Fig. 15).

Nitritos (NO_2): las concentraciones variaron entre 1,4 mg/L y 0,1 mg/L. Los nitritos presentaron altas correlaciones cuando la turbidez se incrementaba, pero se mantuvo dentro del rango permitido (Fig. 16).

Nitratos (NO_3): se mantuvieron dentro del rango requerido por la especie, los valores variaron entre 30 mg/L y 5 mg/L, en la Figura 17, se muestran los valores promedio.

4. DISCUSIÓN

Los valores de los parámetros de calidad de agua (temperatura, oxígeno, alcalinidad, nitratos, nitritos y pH) permanecieron en óptimas condiciones en el cultivo de *O. niloticus*. Los valores promedios obtenidos en el experimento del cultivo de tilapias con biofloc en el Laboratorio Costero de Imarpe, Huacho han sido superiores a lo reportado, con registros de 124 mL/L, dando resultados óptimos en su desarrollo. Emerenciano *et al.* (2013, pp. 308) reportan que la tilapia consigue tolerar hasta 50 mg $CaCO_3$ L^{-1}.

Palma, Ordoñez & Ordoñez (2018, p. 9) citando a Mora & Moreno (2012) indican que:

> La defloculación se produce a temperaturas de 4 °C en comparación con las temperaturas más altas, 18-20 °C, probablemente debido a una disminución de la actividad microbiana en los flóculos. La temperatura está estrechamente relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, por lo tanto, para obtener flóculos de manera estable se recomienda una temperatura de 20-25 °C.

En relación a la temperatura durante los estudios realizados por Imarpe, se encontraron dentro del rango mencionado por los autores citados líneas arriba, se alcanzaron registros de 20,5 – 21,7 °C, obteniendo un buen desarrollo en el cultivo de las tilapias, coincidiendo en que los parámetros de temperatura tienen una relación directa con los parámetros de oxígeno disuelto, por ello es importante mantener promedios mayores a 7 mg/L. en el sistema Biofloc.

Hargreaves (2013, pág. 7) indica que mantener una concentración de sólidos sedimentables de 25 a 50 mL/L proporcionará buena funcionalidad en los sistemas biofloc para tilapia. Sin embargo, en este trabajo los sólidos sedimentables fueron en promedio 77,1 mL/L, con los que se obtuvo buenos resultados en los juveniles de tilapia, tanto en crecimiento como en peso.

5. CONCLUSIONES

El sistema biofloc, permitió el crecimiento de fitoplancton y zooplancton, que sirvió como alimento natural de buena calidad, para las tilapias durante el cultivo. En este sistema se redujo el uso de alimento comercial y el factor de

conversión alimenticia, los parámetros fisicoquímicos del agua fueron más estables con cero recambios.

En 120 días de cultivo de juveniles de tilapia, el crecimiento fue de 6,12 a 17,38 cm, el peso fue de 4,14 a 96,08 g; las temperaturas por debajo de 22,4 °C, no afectaron en el incremento de peso de los ejemplares.

La alcalinidad del sistema fue de 100 a 150 mg/L, que se mantuvo mediante la adición de bicarbonato de sodio 250 g por 1 m^3.

Se obtuvo adecuada calidad de agua, con buena oxigenación, que estuvo entre 7,5 mg/L hasta 8,5 mg/L y aireación continúa, para mantener los sólidos en suspensión distribuidos en toda la columna de agua.

6. REFERENCIAS

Apha. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, *American Public Health Association Inc*., New York. https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.219

Avnimelech, Y. (2009). Carbon / nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227-235. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X

Borja, Á. (2002). Los Impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*., *18*(1-4), 41 -49. https://es.scribd.com/document/213615195/Impactos-Ambientales-de-La-Acuicultura

Emerenciano, M., Gaxiola, G. & Cuzon, G. (2013). Biofloc Technology (BTF): A review for aquaculture Application and Animal Food Industry. *Chapter 12. Biomass now – cultivation and utilization*, 301 – 328. http://dx.doi.org/10.5772/53902

Emerson, K., Russo, R., Lund, R. & Thurston, R. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J Fish Res Board Can*. 32, 2379-2383.

Febrianto, D., Firdayanti, W., Maulida, A., Nabila, N. S. & Nur, I. R. (2018). Utilization of organic waste as feed on the cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) with biofloc system in Sitirejo Village. *Journal of Innovation and Applied Technology, 4*(2), 746-751.

Gutierrez-Wing, M. & Malone, R. (2006). Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquaeng*, *34*(3), 163-171. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.003

Hanley, F. (1991). Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 93, 323-334. https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90224-U

Hargreaves, J. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)*, 4503, 11 pp.

Luo, G., Liang, W., Tan, H., Yao, C., Zhang, N. & Lu, L. (2013). Effects of calcium and magnesium addition on the start-up of sequencing batch reactor using biofloc technology treating solid aquaculture waste. *Aquacultural Enginnering*, 57: 32-37. DOI:10.1016/j.aquaeng.2013.06.004

Martínez Córdova, L. R., Martínez Porchas M., López Elías, J. A. & Enríquez Ocaña, L. F. (2014). Uso de microorganismos en el cultivo de crustáceos. Universidad de Sonora, México, *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, XVI*(3), 50-55.

Michaud, L., Blancheton, J., Bruni, V. & Piedrahita, R. (2006). Efecto del carbón orgánico particulado sobre las poblaciones de bacterias heterótrofas y eficiencia de nitrificación en filtros biológicos. *Aquacultural Engineering, 34*(3), 224-233. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.005

Ogello, E., Musa, S., Mulanda, C., Abwao, J. & Mbonge, J. (2014). An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc Technology: A review. *International Journal of Aquatic Science, 5*(1), 21-39. www.scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=3405429

Palma, L. M., Ordoñez, K. A. & Ordoñez A. S. (2018). Aplicación de la técnica de Biofloc, usando sustratos naturales, y Probióticos en el cultivo de *Oreochromis* sp. En sistema de cero recambios de agua. Proyecto especial como requisito parcial para optar el título de Ingenieros en Ciencias Acuícolas en el Grado Académico de Licenciatura. Centro Universitario Regional del Litoral Pacífico, Choluteca, Honduras, 48 pp.

Ramos, R. & Gálvez, M. (2000). Impacto ambiental de la introducción de tilapias en la cuenca del río Piura. *Universalia: Revista Científica de la Universidad Nacional de Piura*, *5*(1), 80-97.

Saavedra Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. *USAID, Coastal Resources Center, University of Hawaii, CIDEA, Managua, Nicaragua*, https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf

Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T. & Vinci, B. J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*, 2ª edición. Cayuga Aqua Ventures Llc, Nueva York.