

CULTIVO DE ALEVINES DE TILAPIA EN SISTEMA BIOFLOC BAJO DIFERENTES RELACIONES CARBONO/NITRÓGENO

Katherine Patricia ZAPATA Lovera¹, Luis Otavio BRITO², Priscilla Celes Maciel de LIMA², Luis Alejandro VINATEA Arana³, Alfredo Olivera GALVEZ², Jessie Marina Vargas CÁRDENAS¹

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de la relación carbono/nitrógeno (C:N), la calidad del agua, la productividad y la composición proximal de alevines de *Oreochromis niloticus* durante 58 días de cultivo. El diseño experimental consistió de cuatro tratamientos: un sistema convencional (control) y tres sistemas biofloc (CN10, CN15 y CN20). Se utilizaron 12 unidades experimentales de 0.04 m³, con 30 peces (750 pez m⁻³) con peso promedio individual de 1.55±0.01 g. Se constató la existencia de interacción entre los parámetros de calidad de agua del sistema biofloc y los parámetros productivos de los alevines de tilapia. El tratamiento CN10 presentó una baja producción de sólidos sedimentables 38.61±0.54 mL L⁻¹ (p<0.05), hecho que contribuyó con el rápido crecimiento de los individuos (21.7±2.18 g), alcanzando rendimientos finales promedios de 15.50±0.81 kg m⁻³ (p<0.05). Es posible concluir que el cultivo de alevinos de *O. niloticus* en sistema biofloc, con una relación C:N de 10, presentó el mejor rendimiento de producción si comparado con los otros tratamientos (CN15 y CN20).

Palabras clave: peces, calidad del agua, crecimiento, biofloc, proteína

CULTIVO DE ALEVINOS DE TILAPIA EM SISTEMA DE BIOFLOCOS SOB DIFERENTES RELAÇÕES CARBONO/NITROGÊNIO

RESUMO

Na presente pesquisa, avaliou-se o efeito da relação carbono/nitrogênio (C:N), na qualidade da água, produtividade e composição centesimal dos alevinos de *Oreochromis niloticus* durante 58 dias de cultivo. O desenho experimental consistiu em quatro tratamentos: um sistema convencional (controle) e três sistemas de biofloco (CN10, CN15 e CN20). Foram utilizadas 12 unidades experimentais de 0,04 m³, com 30 peixes (750 peixes m⁻³) com peso médio individual de 1,55±0,01 g. Verificou-se a existência de interação entre os parâmetros de qualidade da água do sistema de biofloco e os parâmetros produtivos dos alevinos de tilapia. O tratamento CN10 apresentou uma baixa produção de sólidos sedimentáveis, 38,61±0,54 mL L⁻¹ (p<0,05), fato esse que contribuiu para o rápido crescimento dos indivíduos (21,7±2,18 g), atingindo uma produtividade final média de 15,50±0,81 kg m⁻³ (p<0,05). É possível concluir que o cultivo de alevinos de *O. niloticus* no sistema biofloco, com uma relação C:N de 10, apresentou o melhor rendimento de produção quando comparado aos outros tratamentos (CN15 e CN20).

Palavras-chave: peixe, qualidade da água, crescimento, biofloco, proteína

Artigo Científico: Recebido em 15/03/2017; Aprovado em 02/06/2017

¹Universidad Nacional Agraria La Molina Departamento Académico de Acuicultura e Industrias Pesqueras, Av. La Molina s/n, La Molina, 614-7800, Lima, Perú.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Pesca e Aquicultura, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE, Brasil. E-mail: pri.c.maciel@hotmail.com (autor correspondente)

³Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Aquicultura, Campus Universitário, Trindade, 88040900, Florianópolis, SC, Brasil.

INTRODUCCIÓN

La tilapia es una especie tropical que presenta un rápido crecimiento y una alta adaptabilidad a diferentes ambientes de cultivo (COSTA y FRÓES, 2012). Su cultivo está en expansión, principalmente en Asia, América del Sur y África. La producción mundial alcanzó 3'670,260 toneladas en 2014 (FAO, 2016).

Diversas medidas se vienen desarrollando con nuevos sistemas de cultivo para el aprovechamiento eficiente de la tierra y el agua. En este sentido, el sistema de cultivo con bioflocs se destaca debido a que involucra diferentes enfoques, dando énfasis al aporte nutricional por medio del uso eficiente de los nutrientes (AVNIMELECH, 2006). La dinámica de ese 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 (DE SCHRYVER *et al.*, 2008), 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 (EMERENCIANO *et al.*, 2013; MARTÍNEZ-CÓRDOVA *et al.*, 2015).

En la mayoría de investigaciones con peces esta relación C:N se encuentra en rangos que van desde 10:1 hasta 25:1 (CRAB *et al.*, 2009; MAGONDU *et al.*, 2013; EKASARI *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2015), sin embargo se adecuan de acuerdo a las condiciones de cultivo y de la especie. CRAB *et al.* (2009) recomienda que para el cultivo de tilapia se debe trabajar con relaciones de 20:1; sin embargo PÉREZ-FUENTES *et al.* (2016) encontraron que la relación C:N de 10:1 es adecuada para a 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 (ASADUZZAMAN *et al.*, 2010; WEI *et al.*, 2016).

Las ventajas del cultivo en sistema bioflocs han sido demostradas a través de muchas investigaciones, que mencionan resultados favorables en el crecimiento y la supervivencia de Tilapia. AVNIMELECH (2007) explica el potencial de la alimentación que se brinda en el cultivo de *O. mossambicus*, donde el pez creció rápidamente mediante el consumo exclusivo de proteína microbiana durante 24 horas. Otros autores (AVNIMELECH, 2009; PÉREZ-FUENTES *et al.*, 2016)

mencionan que la utilización de este sistema mejora: La conversión alimenticia que es el indicador de la retención proteica en organismos cultivados; La actividad enzimática; Actividad hematológica; La respuesta inmunológica de peces (LUO *et al.*, 2014; LONG *et al.*, 2015).

El presente estudio evaluó el efecto de la relación C:N del sistema de cultivo en bioflocs sobre la calidad del agua, los parámetros productivos y el análisis proximal de alevines de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento tuvo una duración de 58 días y fue realizado en el Laboratorio de Maricultura Sustentable (LAMARSU) del Departamento de Pesca y Acuicultura (DEPAq) de la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Brasil. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos estaban representados por un control (recambio de agua del 20% al día) y tres relaciones C:N (10, 15 y 20) en sistema biofloc.

Tres tanques rectangulares de fibra de vidrio (0.4 m x 1.5 m x 0.6m), de 350 L de volumen útil, fueron utilizados en la preparación de un biorreactor del sistema biofloc a diferentes relaciones C:N, que duró 70 días. Para su preparación se adicionaron semanalmente 250 g de alimento balanceado con 40% de contenido proteico (Nutricol, Peixecol, São Ludgero, Santa Catarina, Brazil) y melaza de caña de azúcar (40% carbono orgánico), la cual fue añadida una vez por semana como fuente de carbono orgánico. La cantidad de melaza adicionada fue calculada de acuerdo con la fórmula modificada propuesta por DE SCHRYVER *et al.* (2008).

$$M = (D \times A \times \%N \times \%P) / (\%C)$$

Donde, M- Cantidad de melaza a ser adicionada; D- Diferencia entre las relaciones C:N del sistema y del alimento; A- Cantidad de alimento; %N- Tenor de nitrógeno en la proteína (16%); %P- Porcentaje de proteína en el alimento (40.0%); %C- Tenor de carbono en la melaza (40%).

La adición de melaza durante el período experimental se realizó tres veces por semana de acuerdo a la relación C:N de cada tratamiento, cálculo basado en la fórmula establecida también por DE SCHRYVER *et al.* (2008). El hidróxido de calcio fue adicionado semanalmente con el propósito de

obtener fuente de carbonato, a razón de un tercio de la cantidad de alimento ofrecido en la preparación de biorreactor y durante el período experimental. Cinco días antes de la siembra se separó un volumen de 120 L de cada biorreactor (tanque matriz). El agua de cada biorreactor fue mezclada y distribuida en cajas rectangulares de plástico (40 L) con tres puntos de aeración a base de piedras difusoras.

Los alevines de tilapia *O. niloticus* (0.94 ± 0.23 g) fueron provenientes de un laboratorio comercial localizado en el estado de Pernambuco. La aclimatación de los peces se dio en tres tanques rectangulares (0.4m x 1.5m x 0.6 m), cada uno conteniendo 350 L de agua a una densidad de 333 peces m^{-3} . El alimento fue ofrecido a una tasa del 12% de la biomasa dividido en cuatro raciones al día (08:00, 11:00, 14:00 y 17:00 h). En cada unidad experimental se sembró un total de 30 alevines revertidos de tilapia gris (1.56 ± 0.010 g, 750 peces m^{-3}), a una densidad relativa de 1.17 ± 0.01 kg m^{-3} . Los peces fueron alimentados con un balanceado conteniendo 40% de proteína bruta y 9% de lípidos (Nutricol, Peixecol, São Ludgero, Santa Catarina, Brazil), a razón de dos tasas alimenticias: 10% de la biomasa (alimento en polvo hasta el día 30) y 7% de la biomasa (alimento con diámetro de 2 mm, del día 31 hasta el día 58), tres veces al día: 08:00, 12:00 y 16:00 h.

Las variables de calidad del agua como, oxígeno disuelto, temperatura y pH fueron monitoreadas (YSI modelo 55, Yellow Springs, Ohio, USA) dos veces al día (08:00 y 16:00). Los sólidos sedimentables fueron medidos diariamente (09:00 h) durante 45 minutos, con auxilio del cono Imhoff. El nitrógeno amoniacal total (NAT), nitrito-nitrógeno, nitrato-nitrógeno, sólidos suspendidos totales (SST), fosfato y alcalinidad ($mg\ CaCO_3\ L^{-1}$) fueron determinados semanalmente siguiendo los métodos descritos por KOROLEFF (1976), GOLTERMAN *et al.* (1978), MACKERETH *et al.* (1978), APHA (2005), FELFÖLDY *et al.* (1987), respectivamente. Para el mantenimiento de los sólidos sedimentables, se utilizó un sedimentador con el propósito de evitar que los sólidos sedimentables fueran superiores a 50 mL L^{-1} .

Un total de 20 peces por tratamiento fueron seleccionados al azar para la determinación de la composición proximal (proteína total, lípidos totales, ceniza y humedad) mediante el uso de metodología estándar (AOAC, 2005) en el Instituto Agronómico de Pernambuco (IPA), Recife. El contenido proteico fue determinado a través de la medición del nitrógeno (N

x 6.25) empleando el método de Kjeldahl (TE modelo 0363, Tecnal, São Paulo, Brasil). Los lípidos totales fueron determinados por extracción con éter usando el método Soxhlet (modelo Ma 044/8/50; Marconi, São Paulo, Brasil). Las cenizas por incineración, en mufla a 550 °C (modelo Q318 D24; Quimis, São Paulo, Brasil). El tenor de humedad fue determinado por lavado seguido de secado del material a 60 °C, con posterior transferencia de las muestras a una estufa a 105 °C por 24 horas, hasta alcanzar un peso estable (315 modelo SE; Fanem, São Paulo, Brasil).

Semanalmente se realizaron biometrías (50% de la población de cada unidad experimental) para determinar el crecimiento (en peso), ajustar la cantidad de alimento y la cantidad de carbohidratos. Al final del experimento la población total de cada unidad experimental fue pesada para determinar el peso promedio final (g), la biomasa final (g), la tasa de supervivencia = (cantidad final de peces final x 100% / cantidad de peces al inicio), tasa de crecimiento diario ($g\ día^{-1}$) = ([biomasa final (g) - biomasa inicial (g)] / tiempo de cultivo), tasa de conversión alimenticia = (alimento consumido (g) / [biomasa final (g) - biomasa inicial (g)]), tasa de crecimiento específico - TCE = $(100 \times [\ln\ peso\ promedio\ final\ (g) - \ln\ peso\ promedio\ inicial\ (g)] / tiempo\ de\ cultivo)$, tasa de crecimiento proteico = $(100 \times [\ln\ proteína\ final\ (g) - \ln\ proteína\ inicial\ (g)] / tiempo\ de\ cultivo)$, tasa de eficiencia proteica = ([biomasa final (g) - biomasa inicial (g)] / proteína consumida), valor de producción proteica (%) = ([proteína final (g) - proteína inicial (g)] x 100% / proteína consumida) y rendimientos finales ($kg\ m^{-3}$) = (biomasa final (kg) / volumen de la unidad experimental).

Los resultados fueron analizados inicialmente con las pruebas de normalidad Shapiro-Wilk ($P < 0.05$) y homogeneidad de Cochran, seguido del análisis de varianza - ANOVA y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$) entre los tratamientos y el control. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico MINITAB 17 (Software estadístico, Minitab Inc, State College, Pennsylvania).

RESULTADOS

A lo largo del experimento se registraron temperaturas alrededor de 27°C (rango de 25.8 a 28.4 °C), oxígeno disuelto promedio de 7.3 mg L^{-1} (rango de 5.45 a 8.56 mg L^{-1}) y pH de 7.7 (rango de 6.09 a 8.99). En un inicio, los tratamientos con

bioflocs presentaron valores de alcalinidad estables (CN10: 120 mg CaCO₃ L⁻¹, CN15: 132 mg CaCO₃ L⁻¹, CN20: 150 mg CaCO₃ L⁻¹), mientras que durante el desarrollo del experimento ocurrieron reducciones, alcanzando valores de CN10: 49.72±4.6 mg CaCO₃ L⁻¹,

CN15: 94.28±6.74 mg CaCO₃ L⁻¹, CN20: 141.93±14.01 mg CaCO₃ L⁻¹ (Tabla 1). Los niveles de alcalinidad presentaron una ligera variación durante el cultivo y fueron significativamente afectados por la relación C:N (P<0.05) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua de *Oreochromis niloticus* en el sistema biofloc, durante el período de prueba de 58 días.

| Parámetro | Tratamiento | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Control | CN10 | CN15 | CN20 |
| Temperatura (°C) | 27.27±0.06 ^a | 27.24±0.08 ^a | 27.35±0.03 ^a | 27.33±0.04 ^a |
| Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹) | 7.42±0.06 ^a | 7.41±0.09 ^a | 7.25±0.03 ^b | 7.15±0.02 ^b |
| pH | 7.17±0.11 ^d | 7.53±0.03 ^c | 7.95±0.03 ^b | 8.26±0.03 ^a |
| Alcalinidad (mg CaCO ₃ L ⁻¹) | 31.28±5.26 ^c | 49.72±4.60 ^c | 94.28±6.74 ^b | 141.93±14.01 ^a |
| NAT (mg L ⁻¹) | 2.22±0.04 ^a | 0.91±0.07 ^b | 0.58±0.22 ^b | 0.61±0.17 ^b |
| Nitrito-nitrógeno (mg L ⁻¹) | 0.34±0.10 ^{ab} | 0.25±0.05 ^b | 0.38±0.01 ^{ab} | 0.43±0.01 ^a |
| Nitratos-nitrógeno (mg L ⁻¹) | 0.91±0.03 ^b | 1.04±0.01 ^a | 0.89±0.08 ^b | 0.88±0.01 ^b |
| Fosfato (mg L ⁻¹) | 1.82±0.06 ^{ab} | 1.90±0.03 ^a | 1.60±0.17 ^b | 1.47±0.07 ^c |
| SST (mg L ⁻¹) | - | 236.1±34.7 ^a | 278.8±47.5 ^a | 237.7±7.68 ^a |
| Sólidos sedimentables (ml L ⁻¹) | - | 38.61±0.54 ^c | 43.11±0.49 ^b | 46.74±1.55 ^a |
| Nitrógeno disuelto (g Kg fish ⁻¹) | 11.63±1.14 ^a | 3.84±0.32 ^b | 3.67±0.98 ^b | 4.637±1.18 ^b |
| Fosfato (g Kg fish ⁻¹) | 3.38±0.29 ^a | 2.33±0.09 ^{ab} | 2.47±0.30 ^b | 2.71±0.31 ^b |

La fecha de la correspondencia a la media (8 semanas) ± desviación estándar. La fecha de la correspondencia con la cantidad total (el cambio del agua, la evaporación y el mantenimiento de los sólidos sedimentables) ± desviación estándar de cada tratamiento. Los resultados se analizaron mediante la realización de una manera ANOVA de medidas repetidas y la prueba de Tukey. Los valores medios de la misma fila con diferentes superíndices difieren significativamente (P <0.05). Control (con un 20% el día de recambio de agua) y el sistema de biofloc CN10, CN15 y CN20. NAT es nitrógeno amoniacal total. SST es sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (mg L⁻¹) se incrementaron a lo largo del experimento en los tratamientos con bioflocs. Los valores promedio fueron de 236.1 mg L⁻¹ (CN10), 278.8 mg L⁻¹ (CN15) y 237.7 mg L⁻¹ (CN20) (Tabla 1).

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total y nitrito-nitrógeno fueron muy inestables a lo largo del periodo experimental en comparación de las concentraciones de nitratos-nitrógeno. El nitrógeno amoniacal total en el tratamiento control fue mayor (P<0.05) que el observado en los tratamientos con bioflocs. La producción de nitrógeno disuelto total y de fósforo por kg de pescado producido presentó diferencia significativa (P<0,05) entre los tratamientos con bioflocs (de 3.67 a 4.64 g de nitrógeno disuelto y de 2.33 a 2.71 g de fosfato) y el control (11.63 g de nitrógeno disuelto y 3.38 g de fosfato) (Tabla 1).

En relación a la composición proximal de los peces producidos, fue encontrado que el contenido de humedad y de carbohidratos no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos

(P>0.05). Con todo, el contenido de lípidos, proteína total y cenizas presentaron diferencias significativas. Para el contenido lipídico, el control obtuvo el mejor resultado (2.37%) comparado con los tratamientos del sistema biofloc. Para el caso de la proteína total, el tratamiento CN10 se diferenció significativamente de los demás, con 20,05% de proteína total. El contenido proteico corporal de los peces fue ligeramente superior en los sistemas con bioflocs que en el control. Por otro lado, el contenido lipídico fue bajo (1.48 -1.82%). Por último, el contenido de ceniza fue más elevado en los tratamientos control y CN20 (2.35% y 2.32%, respectivamente) (Tabla 2).

El crecimiento de las tilapias presentó diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos control (22.35±0.26g) y CN10 (21.70±2.18 g), y los de CN15 y CN20 (Tabla 3). Las supervivencias de los peces presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En el tratamiento control fue de 61.11% y en los tratamientos con bioflocs por encima de 85% (Tabla 3). El rendimiento final en el tratamiento

CN10 (15.50 kg m⁻³) fue significativamente mayor que en CN15 (12.33 kg m⁻³), CN20 (10.35 kg m⁻³) y el control (10.24 kg m⁻³). Las tasas de crecimiento diario y específico presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos CN15 y CN20, y el control y CN10. En relación al consumo de agua, también fue observada diferencia significativa dado que el tratamiento control consumió 1.8 m³ kg de pez⁻¹, mientras que los tratamientos con bioflocs presentaron un consumo de 0.09 a 0.19 m³ kg de pez⁻¹ (Tabla 3).

Los parámetros proteicos de los alevines de tilapia gris fueron significativamente afectados por la relación C:N de los bioflocs. La tasa de eficiencia proteica en el control presentó diferencia significativa con respecto a los tratamientos del sistema biofloc (desde 1.37 hasta 1.82). Quedó evidente que los tratamientos CN10 y CN15 muestran una mayor eficiencia de aprovechamiento de la proteína que

el control y que el tratamiento CN20. El valor de producción proteica presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con valores que van desde 28.47% hasta 38.98% (Tabla 3). La tendencia del valor de producción proteica (PPV) tiende a disminuir a medida que se aumenta la relación C:N del sistema biofloc y resulta que en el tratamiento CN10, los peces retienen alrededor del 38.98% de la proteína ingerida, a diferencia de los otros tratamientos. Al comparar este tratamiento con el control, se da una retención en más del 12% de la proteína ingerida, demostrando el eficiente aprovechamiento de la proteína en este tipo de sistemas (Tabla 3). Las Tasas de Crecimiento Proteico (PGR) obtenidas presentan mínimas diferencias significativas entre los tratamientos con sistemas biofloc y el control ($P < 0.05$). El tratamiento CN10 (3.54 % día⁻¹) alcanzó un mayor aprovechamiento a comparación con los otros tratamientos y el control (Tabla 3).

Tabla 2. Composición proximal de *Oreochromis niloticus* en el sistema biofloc, durante el período de prueba de 58 días.

| Composición proximal (%) | Tratamiento | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Control | CN10 | CN15 | CN20 |
| Humedad ¹ | 74.30±1.38 ^a | 73.33±2.78 ^a | 73.25±1.36 ^a | 73.59±1.61 ^a |
| Proteína Total | 18.02±0.75 ^b | 20.05±1.63 ^a | 19.50±0.83 ^{ab} | 18.78±0.54 ^{ab} |
| Lípidos Totales | 2.37±0.36 ^a | 1.48±0.36 ^b | 1.94±0.40 ^b | 1.82±0.12 ^b |
| Carbohidratos | 2.95±0.06 ^a | 3.38±0.55 ^a | 3.48±0.63 ^a | 3.49±0.30 ^a |
| Cenizas | 2.35±0.58 ^a | 1.75±0.66 ^b | 1.83±0.41 ^b | 2.32±0.30 ^a |

¹Con excepción de la humedad (%), los otros valores están expresados en términos de materia húmeda. Los datos corresponden a la media ± desviación estándar. Resultados de ANOVA unidireccional y prueba de Tukey. Los valores medios en la misma columna con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0,05$). Las abreviaturas son en la Tabla 1.

Tabla 3. Parámetros productivos de *Oreochromis niloticus* en el sistema biofloc durante el período de prueba de 58 días.

| Parámetro | Tratamiento | | | | |
|--|-------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Control | Control | CN10 | CN15 | CN20 |
| Peso promedio final (g) | | 22.35±0.26 ^a | 21.70±2.18 ^a | 17.03±1.31 ^b | 16.34±1.10 ^b |
| Tasa de crecimiento diario (g day ⁻¹) | | 0.35±0.01 ^a | 0.34±0.03 ^a | 0.26±0.02 ^b | 0.25±0.01 ^b |
| TCE (% day ⁻¹) | | 4.60±0.01 ^a | 4.53±0.18 ^a | 4.12±0.14 ^b | 4.07±0.09 ^b |
| Tasa de supervivencia (%) | | 61.11±5.09 ^{ab} | 95.56±5.09 ^a | 96.67 ±3.33 ^a | 85.00±11.67 ^b |
| Tasa de conversión alimenticia | | 1.90±0.29 ^a | 1.37±0.05 ^b | 1.58±0.08 ^{ab} | 1.83±0.10 ^{ab} |
| Rendimientos finales (kg m ⁻³) | | 10.24±0.93 ^b | 15.50±0.81 ^a | 12.33±0.78 ^b | 10.35±1.32 ^b |
| Tasa de eficiencia proteica | | 1.34±0.19 ^b | 1.82±0.07 ^a | 1.58±0.08 ^{ab} | 1.37 ±0.08 ^b |
| Valor de producción proteica (%) | | 26.73±4.11 ^c | 38.98±1.59 ^a | 33.52±0.96 ^{ab} | 28.47±1.36 ^{bc} |
| Tasa de crecimiento proteico (% día ⁻¹) | | 3.35±0.04 ^b | 3.54±0.10 ^a | 3.49±0.03 ^{ab} | 3.42±0.01 ^{ab} |
| Consumo de agua (m ³ kg peces ⁻¹) | | 1.80±0.16 ^a | 0.09±0.01 ^b | 0.13±0.01 ^b | 0.19±0.02 ^b |

Los datos corresponden a la media ± desviación estándar. Resultados de ANOVA unidireccional y prueba de Tukey. Los valores medios en la misma columna con diferentes superíndices difieren significativamente ($P < 0,05$). Las abreviaturas están en la Tabla 1. TCE es tasa de crecimiento específico.

DISCUSIÓN

Los valores de los parámetros de calidad de agua (temperatura, oxígeno disuelto y pH) permanecieron dentro del rango óptimo en el cultivo de alevines de *O. niloticus* (EL-SAYED, 2006). En relación a alcalinidad DOS SANTOS *et al.* (2009) mencionan que este parámetro no debe ser menor a 80 mg CaCO₃ L⁻¹; sin embargo, MARTÍNEZ-CÓRDOVA *et al.* (2015) reportan que tilapia consigue tolerar hasta 50 mg CaCO₃ L⁻¹. Se dio una mayor reducción de la alcalinidad en el control y en el tratamiento CN10, probablemente debido a la mayor actividad metabólica de los microorganismos autótrofos (7.05 g alcalinidad g nitrógeno⁻¹) que los heterótrofos (3.57 g alcalinidad g nitrógeno⁻¹) (EBELING *et al.*, 2006).

Los sólidos sedimentables guardan estrecha relación con el aumento de la relación C:N de los bioflocs, siendo superiores al control. En esta trabajo quedó evidente que existe una influencia significativa de la relación C:N con la producción de sólidos sedimentables (CN10: 38.61 mL L⁻¹; CN15: 43.11 mL L⁻¹; CN20: 46.74 mL L⁻¹); estableciéndose que, a mayor relación C:N, se genera una mayor producción de sólidos. Por otro lado, los valores de sólidos suspendidos totales en los tratamientos con bioflocs fueron iguales debido a su eliminación periódica por decantación, a través del uso de un sedimentador.

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal total en los tratamientos con bioflocs, luego de la primera de semana de experimentación, disminuyeron gracias a la adición de melaza, la cual permitió la proliferación de bacterias heterótrofas para la formación de proteína microbiana disponible para los peces. El nitrógeno amoniacal total en los sistemas con biofloc no presentaron diferencias significativas; sin embargo, la disminución gradual de las concentraciones, a medida que subía la relación C:N, parece explicar la dependencia de las bacterias heterótrofas con fuentes externas de carbono orgánico. MAGONDU *et al.* (2015) también observaron la reducción en la concentración de nitrógeno amoniacal total cuando se aumentaba la relación C:N de 10 para 20 en el cultivo de *Labeo victorianus*.

Las concentraciones de nitrito-nitrógeno en los tratamientos con bioflocs presentaron una tendencia de crecimiento con el aumento de la relación C:N. Mayores concentraciones de nitrito-nitrógeno fueron observadas en el tratamiento CN20, probablemente por el mayor aporte de sustrato orgánico y por la

reducción del nitrógeno amoniacal total, generando una disminución significativa de las comunidades nitrificantes. Las concentraciones de nitrato-nitrógeno fueron más estables. LONG *et al.* (2015) encontraron concentraciones de nitrito-nitrógeno menores a 0.8 mg L⁻¹ durante todo o período de cultivo para unidades con bioflocs y control (con recambio de agua), resultado bastante similar a lo encontrado en el presente estudio. LING y CHEN (2005), evaluando el efecto de la relación C:N sobre la eficiencia de nitrificación de diferentes biofiltros, relataron que al aumentar la relación C/N de 0 a 3 hubo una reducción de 60 a 70% en la tasa de nitrificación.

El nitrato fue el principal componente del nitrógeno inorgánico disuelto en los tratamientos con bioflocs, indicando que, además de las heterótrofas, las bacterias nitrificantes también estuvieron presentes. Resultados parecidos fueron observados por AZIM y LITTLE (2008) y PÉREZ-FUENTES *et al.* (2016), quienes relatan altas concentraciones de nitrato en comparación con los nitritos-nitrógeno y nitrógeno amoniacal total. En el cultivo de tilapia con bioflocs, el fósforo es el nutriente más empleado por los peces debido a la absorción realizada por la microbiota del biofloc y consecuente pastoreo de los peces. Estudios realizados por LUO *et al.* (2014) demuestran que los niveles de fósforo en los sistemas biofloc son menores cuando comparado con los sistemas de recirculación.

La menor relación entre la biomasa producida y el nitrógeno disuelto total y el fosfato en los sistemas de biofloc puede deberse a la presencia de biofilm, encargado de reciclar y absorber el exceso de nutrientes y consecuente transformación en biomasa microbiana. El bajo consumo de agua de los cultivos con bioflocs confirma que estos pueden ser empleados para producir tilapias de forma intensiva, principalmente en lugares donde la disponibilidad de este recurso es limitada.

El contenido proteico de los peces puede ser afectado por diversos factores, entre ellos se puede destacar el manejo del sistema, alimentación, comunidad microbiana existente, relación C:N, fuente externa de carbono orgánico, entre otros (DE SCHRUYVER *et al.*, 2008), de este modo, se atribuye que los resultados obtenidos durante la experimentación se refieren al mayor contenido de proteína en los tratamientos con sistema de biofloc, debido a la presencia de otros microorganismos microbianos, tales como bacterias, protozoarios, rotíferos y otros

(AZIM *et al.*, 2008). El contenido lipídico fue bajo a pesar de haber sido ofrecido un alimento balanceado con 9% de lípidos, hecho que parece sugerir que los lípidos son sintetizados por los organismos microbianos presentes en el sistema (WEBSTER y LIM, 2002). Los bajos contenidos lipídicos en los peces cultivados en los tratamientos con sistema biofloc se debe al mínimo aprovechamiento de este sistema, generando un limitado aporte de lípidos que logren suplir los requisitos de los peces (LIM *et al.*, 2009).

Bajas supervivencias en el tratamiento control (61.1%), probablemente debido al estrés ocasionado por la renovación de agua, han llevado a una reducción en la densidad final de peces, proporcionando así una mayor área disponible para propiciar un rápido crecimiento de los animales. Las tasas de crecimiento de los tratamientos con sistema de biofloc, aumentan a medida que se disminuye la relación C:N del sistema, debido al tipo de microorganismo del biofloc. XU *et al.* (2016) observaron que, el biofloc con la dominancia del mix microalgas, bacterias heterotróficas y bacterias autotróficas es más beneficioso para el crecimiento del camarón en los sistemas de cultivo con intercambio cero y alta densidad, si comparados con los sistemas donde dominan las bacterias heterotróficas únicamente. Esta condición ha mejorado la tasa de conversión alimenticia, del tratamiento CN10 (1.37).

Un efecto positivo del sistema biofloc en los parámetros productivos de la tilapia *O. niloticus* fue encontrado en el presente estudio: Mejora de la conversión alimenticia, además de altas tasas de supervivencia e incremento del rendimiento de cultivo, similar a lo encontrado por LONG *et al.* (2015), LUO *et al.* (2014) y PÉREZ-FUENTES *et al.* (2016). De acuerdo con AVNIMELECH (2007), la biomasa producida en los sistemas biofloc se encuentra en el rango de 10–40 kg m⁻³, resultando dentro de lo observado en este estudio (10-15 kg m⁻³).

Los parámetros proteicos de los alevines de tilapia gris, TRUNG *et al.* (2011), en cultivos de alevines de tilapia a temperaturas de 28°C se logra expresar la proteína retenida en función de la proteína corporal del pez, obteniendo una diferencias cuantitativas en la retención proteica de los sistemas biofloc (9.281 a 9.565 g kg^{-0.8} d⁻¹) y el control (9.032 g kg^{-0.8} d⁻¹). En términos de eficiencia proteica, los sistemas biofloc están probablemente relacionados con una mayor activación de los sistemas enzimáticos de los peces. Para tilapias, LONG *et al.* (2015) observaron

diferencias significativas en la actividad de las lipasas y las amilasas en sistemas bioflocs cuando comparado con uno sin bioflocs. Este estímulo enzimático puede ser la causa del aumento de la biomasa final de los peces. Mejores resultados de eficiencia proteica de tilapias en bioflocs fueron observados por LONG *et al.* (2015), con aproximadamente 2,59. De acuerdo con AVNIMELECH (2007), la comunidad microbiana ha demostrado ser una fuente de alimento para las tilapias, contribuyendo posiblemente con cerca del 50% del requerimiento proteico del pez.

El sistema de bioflocs tiene algunas ventajas zootécnicas cuando comparadas a sistemas de cultivo en tanque-red y viveros. Las comparaciones de rendimiento zootécnico obtenido en la relación C/N 10: 1 (Tasa de supervivencia 95%, Tasa de conversión alimenticia 1,37, Rendimientos finales 15 Kg m⁻³) indican que fueron mejores a los resultados obtenidos por CALUMBY *et al.* (2014) (Tasa de supervivencia 55,84%, Tasa de conversión alimenticia 1,70, Rendimientos finales 9,5 Kg m⁻³) en tanque-red con densidades de 750 peces m⁻³ durante 42 días y dados a los datos recomendados por BHUJEL (2013) en viveiros pre cria (densidad de estocaje 100-150 alevinos m², Peso promedio final 20-30 g, Rendimientos finales entre 2 y 4,5 Kg m² al final 40-60 días).

CONCLUSIONES

El cultivo de alevines de *O. niloticus* en sistema biofloc a una relación C:N de 10 presenta una mejora los parámetros de calidad de agua (nitrógeno y fosfato) y reducción el consumo de agua por kg de peces producido, reduce la carga de nitrógeno disuelto y fosfato por tonelada de peces producida, presenta alta tasa de proteína total, alta tasa de supervivencia y tasas de crecimiento, mejora del factor de conversión alimenticia y mejora a eficiencia proteica

AGRADECIMIENTO

La presente investigación pudo efectuarse gracias a la subvención del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) de Perú, así como, el Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Brasil. Tenemos que agradecer al CNPq por las bolsas de productividad concedidas a Alfredo Olivera Galvez y Luis Alejandro Vinatea Arana.

REFERENCIAS

- AOAC (Association of Analytical Communities) 2005 *Official methods of analysis of association the official agricultural chemists*. 18^a ed
- APHA (American Public Health Association) 2005 *Standard methods for the examinations of the water and wastewater*. 12^a ed. Washington, EE.UU. 560p.
- ASADUZZAMAN, M.; RAHMAN, M.M.; AZIM, M.E.; ASHRAFUL ISLAM, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; VERRETH, J.A.J. 2010 Effects of C/N ratio and substrate addition on natural food communities in freshwater prawn monoculture ponds. *Aquaculture*, 306(1-4): 127-136.
- AVNIMELECH, Y. 2006 Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacultural engineering*, 34(3): 172-178.
- AVNIMELECH, Y. 2007 Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1): 140-147.
- AVNIMELECH, Y. 2009 *Biofloc technology: A practical guide book*. The World Aquaculture Society. Baton Rouge. 182p.
- AZIM, M; LITTLE, D. 2008 The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1): 29-35.
- AZIM, M; LITTLE, D; BRON, J. 2008 Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99(9): 3590-3599.
- BHUJEL, R.C. 2013 On-farm feed management practices for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Thailand. In: HASAN, M.R.; NEW, M.B. (eds). *On-farm feeding and feed management in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. FAO, Rome. p.159-189.
- CALUMBY, J. A.; DOS SANTOS, M. M.; COELHO FILHO, P. A.; SOARES, E. C.; GENTELINI, A. L. 2014 Efeito da densidade no custo de produção de alevinos de tilápia em tanques-rede. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(3): 459-464
- COSTA, A; FRÓES, R. 2012 *Produção de tilápias*. Programa Rio Rural. Manual Técnico 31. 52p.
- CRAB, R.; KOCHVA, M.; VERSTRAETE, W.; AVNIMELECH, Y. 2009 Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 40(3): 105-112.
- DE SCHRYVER, P; CRAB, R; DEFOIRDT, T; BOON, N; VERSTRAETE, W. 2008 The basics of bio-flocs technology: the added value for Aquaculture. *Aquaculture*, 277(3): 125-137.
- DOS SANTOS, E; ALMEIDA, M; MOTA, S; DANTAS, M; MEDEIROS, M. 2009 Crescimento e qualidade dos alevinos de tilápia do Nilo produzidos em esgoto doméstico tratado. *Revista Ciência Agronômica*, 40(2): 232-239.
- EBELING, J; TIMMONS, M; BISOGNI, J. 2006 Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1): 346-358.
- EKASARI, J.; RIVANDI, D.R.; FIRDAUSI, A.P.; SURAWIDJAJA, E.H.; ZAIRIN JR., M.; PETER BOSSIER; DE SCHRYVER, P. 2015 Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441(1): 72-77.
- EL-SAYED, A-F.M. 2006. *Tilapia culture*. Oxfordshire: CABI Publishing. 277 p.
- EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; 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. p.301-328.
- FAO. FAO yearbook. 2016 *Fishery and Aquaculture Statistics*. 2014. Rome, Italy. 105p.
- FELFÖLDY L., SZABO E.; TOTHL L. 1987 *A biológiai*

vizminősítés. Vizügyi Hidrobiológia Vizdok, Budapest, Hungary. 258p.

- GOLTERMAN H.J.; CLYNO R.S.; OHNSTAD M.A. 1978 *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. Oxford. Blackwell Scientific Publications, London, England. 213p.
- KOROLEFF F. 1976 Determination of nutrients. In: K. GRASSHOFF (Ed.). *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie Weinheim, New York. p.117-187.
- LIM, C; YILDIRIM, M; LI, M; WELKER, T; KLESIOUS, P. 2009 Influence of dietary levels of lipid and vitamin E on growth and resistance of Nile tilapia to *Streptococcus iniae* challenge. *Aquaculture*, 298(1): 76-82.
- LING, J.; CHEN, S. 2005 Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquacultural Engineering*, 33(2): 150-162.
- LONG, L; YANG, J; LI, Y; GUAN, C; 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.
- LUO, G; GAO, Q; WANG, C; LIU, W; SUN, D; LI, L; TAN, H. 2014 Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422-423(1): 1-7.
- MACKERETH F.J.H.; HERON J. Y TALLING J.F. 1978 *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Oxford. Blackwell Scientific Publications, London, England. 120p.
- MAGONDU, E. W.; VERDEGEM, M. C. J.; NYAKEYA, K.; MOKAYA, M. 2015 Production of aerobic, anaerobic and anoxic bioflocs from tilapia sludge. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(5): 347-352.
- MAGONDU, E.W.; CHARO-KARISA, H.; VERDEGEM, M.C.J. 2013 Effect of C/N ratio levels and stocking density of *Labeo victorinus* on pond environmental quality using maize flour as a carbon source. *Aquaculture*, 410-411(1): 157-163.
- MARTÍNEZ-CÓRDOVA L.R; EMERENCIANO M.; MIRANDA-BAEZA A.; MARTÍNEZ-PORCHAS A. 2015 Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, 7(2): 131-148.
- PÉREZ-FUENTES, J; HERNÁNDEZ, M; PÉREZ, C; 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.
- TRUNG, D. V.; DIU, N. T.; HAO, N. T.; GLENCROSS, B. 2011. Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 320(1): 69-75.
- WANG, G.; YU, E.; XIE, J.; YU, D.; LI, Z.; LUO, W.; QIU, L.; 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.
- WEBSTER, C.D.; LIM, C.E. 2002 (Ed.). *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*. CABI Publishing, Oxford. 448p.
- WEI, Y.; LIAO, S.A.; 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.
- XU, W. J.; MORRIS T.C; SAMOCHA T.M. 2016. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453(1): 169-175.