

Evaluación de fuentes proteicas para el desempeño productivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en sistema biofloc

Evaluation of protein sources in the productive performance of cachama blanca *Piaractus brachypomus* in biofloc system

Avaliação de fontes de proteína no desempenho produtivo da Pirapitinga *Piaractus brachypomus* em sistema de bioflocos

Hernan A. Alzate-Díaz^{1*}; Sandra C. Pardo-Carrasco^{2*}

¹ Zootecnista, (C) MSc

² MVZ, MSc, PhD

* Grupo de investigación en Biodiversidad y Genética Molecular -BIOGEM, línea de investigación en acuicultura sostenible, Laboratorio de Modelación Animal LAMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín, Medellín, Colombia

Email: haalzated@unal.edu.co

Recibido: 18 de octubre de 2016

Aceptado: 03 de diciembre de 2016

Resumen

Los cultivos con tecnología biofloc (BFT) son sistemas acuícolas cerrados de producción intensiva que permiten generar un control sobre los desechos por medio del reciclaje de nutrientes y a través de la formación de biomasa bacteriana. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fuente de proteína del alimento sobre el desempeño productivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivada en sistema BFT. Se evaluaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, así: T1: torta de soya; T2: torta de soya+harina de pescado y T3: torta de soya+harina de espirulina, para un total de nueve unidades experimentales contenidos en tanques de 500L. Se sembraron 42 peces (54.23 ± 10.7 g) por tanque, se cultivaron durante 84 días y se suministró alimento tres veces/día. Para la evaluación del desempeño productivo se registró el consumo de alimento, se acompañó el crecimiento de los peces mediante biometrías quincenales y se determinaron parámetros de calidad del agua. Al final del cultivo los tanques alcanzaron una biomasa promedio final de 15.9 ± 0.8 kg/m³, resultados competitivos comparados con otras producciones intensivas en BFT; la ganancia diaria de peso fue de 1.7 ± 0.1 g/día sin diferencia significativa entre tratamientos. La conversión alimenticia se encontró alrededor de 1.1 ± 0.1 sin diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p < 0.05$), hubo aceptación de las dietas experimentales y sobrevivencia del 100% en todos los casos. En los parámetros de calidad del agua se encontraron concentraciones promedio de amonio, nitrito y nitrato de 0.1 ± 0.1 mg/L, 0.5 ± 0.11 mg/L, 195.9 ± 12.91 mg/L, respectivamente, dentro de los rangos aceptables para la especie y sin diferencia significativa; otros parámetros como temperatura, oxígeno y salinidad presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) aunque dentro de los rangos óptimos para el cultivo de la especie. Se concluyó que la fuente de proteína usada en las dietas experimentales no incidió sobre el resultados productivos de la cachama blanca *P. brachypomus* cultivada en BFT.

Palabras clave: BFT, Cachama blanca, Espirulina, Harina de pescado, Torta de soya.

Abstract

Cultures with biofloc technology (BFT) are closed intensive aquaculture systems that allow the control of waste through the recycling of nutrients and the formation of bacterial biomass. The objective of this research was to evaluate the effect of the source of protein in the food on the productive performance of white cachama *Piaractus brachypomus* cultivated in BFT system. Three treatments were evaluated with three repetitions each, as follows: T1: soy cake; T2: soy cake + fish meal and T3: soy cake + spirulina flour, for a total of nine experimental units contained in 500L tanks. Forty-two fish ($54.23 \pm 10.7g$) were seeded per tank, cultivated for 84 days and fed three times a day. For the evaluation of the productive performance, the consumption of food was registered, the fish growth was accompanied by biweekly biometrics and parameters of water quality were determined. At the end of the crop the tanks reached a final average biomass of $15.9 \pm 0.8 \text{ kg} / \text{m}^3$, competitive results compared with other intensive productions in BFT; the daily weight gain was $1.7 \pm 0.1 \text{ g} / \text{day}$ without significant difference between treatments. The feed conversion was found to be around 1.1 ± 0.1 without significant statistical difference between treatments ($p < 0.05$), there was acceptance of the experimental diets and 100% survival in all cases. In the water quality parameters were found average concentrations of ammonium, nitrite and nitrate of $0.1 \pm 0.1 \text{ mg} / \text{L}$, $0.5 \pm 0.11 \text{ mg} / \text{L}$, $195.9 \pm 12.91 \text{ mg} / \text{L}$, respectively, within the ranges acceptable for the species and without significant difference; other parameters such as temperature, oxygen and salinity showed significant differences ($P > 0.05$) although within the optimum ranges for the culture of the species. It was concluded that the protein source used in the experimental diets did not affect the productive results of the *P. brachypomus* white cachama cultivated in BFT.

Key words: BFT, Cachama blanca, spiruline, fishmeal, soy cake.

Resumo

Os cultivos com tecnologia de bioflocos (BFT) são sistemas aquícolas fechados de produção intensiva que permitem gerar maior controle nos resíduos por meio do reciclaje de nutrientes e a través da formação de biomassa bacteriana. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da fonte de proteína no alimento sobre o desempenho produtivo de Pirapitinga *Piaractus brachypomus* cultivada em sistema BFT. Foram avaliados três tratamentos com três repetições cada um, assim: T1: farelo de soja; T2: farelo de soja+farinha de peixe e T3: farelo de soja+farinha de espirulina, para um total de nove unidades experimentais contidas em tanques de 500L. Foram colocados 42 peixes ($54.23 \pm 10.7g$) por tanque, e a cultura demora 84 dias, o alimento foi ministrado três vezes/dia. Para a avaliação do desempenho produtivo foi registrado o consumo de alimento, o crescimento dos peixes foi acompanhado por meio de biometrias quincenais foram determinados os parâmetros de qualidade da água. No final do cultivo os peixes alcanzaram uma biomassa média final de $15.9 \pm 0.8 \text{ kg} / \text{m}^3$, resultados competitivos quando são comparados com outras produções intensivas no BFT; o ganho diário de peso foi de $1.7 \pm 0.1 \text{ g} / \text{dias}$ com diferença significativa entre os tratamentos. O fator de conversão alimentar se encontrou por perto de 1.1 ± 0.1 sem diferença estatística significativa entre tratamentos ($p < 0.05$), houve aceitação das rações experimentais e sobrevivência de 100% em todos os casos. Nos parâmetros de qualidade da água foram encontradas concentrações médias de amônia, nitrito e nitrito de $0.1 \pm 0.1 \text{ mg} / \text{L}$, $0.5 \pm 0.11 \text{ mg} / \text{L}$, $195.9 \pm 12.91 \text{ mg} / \text{L}$, respectivamente, dentro dos níveis aceitáveis para a espécie e sem diferença significativa; outros parâmetros como temperatura, oxigênio e salinidade e apresentar diferenças significativas ($P > 0.05$) ainda que dentro dos níveis ótimos para o cultivo da espécie. Concluiu-se que a fonte proteica usada nas rações experimentais não teve efeito nos resultados produtivos da pirapitinga *P. brachypomus* cultivada no BFT.

Palavras chave: BFT, Pirapitinga, Espirulina, farinha de peixe, farelo de soja.

Introducción

En la búsqueda de estrategias más sostenibles y productivas para la acuicultura, se encontraron los sistemas intensivos de biofloc. Estos cultivos cerrados usan bajos volúmenes de agua en su producción (Avnimelech, 2009; Timmons *et al.*, 2002). El biofloc o BFT es un sistema considerado súper intensivo por su alta capacidad de carga en peces o camarones en pequeño espacio y con alto reciclaje de nutrientes. En su implementación se hace uso de una fuente externa de carbono y una fuente aireación constante con el fin de garantizar la sobrevivencia de los microorganismos y la resuspensión de los sólidos (Emerenciano *et al.*, 2014).

Los sistemas biofloc permiten mayor sostenibilidad que otras prácticas aquícolas debido al ahorro en el uso

de recursos como agua y espacio, menor producción de efluentes y menor uso de harina de pescado en los alimentos (Avnimelech, 2009; Martínez *et al.*, 2010; Jones *et al.*, 2002). Otra característica del BFT es su efecto probiótico pues gran número de microorganismos interactúan positivamente facilitando la bioseguridad del cultivo y la eliminación de residuos nitrogenados adecuadamente (Ray *et al.*, 2010; Monroy *et al.*, 2013).

Los microorganismos nitrificantes como *Nitrobacter* sp., *Nitrospira* sp. y *Bacillus* sp. son comunes en el BFT (Crab *et al.*, 2012); sin embargo, de acuerdo con la relación carbono:nitrógeno (C:N), el biofloc puede ser una mezcla entre bacterias autotróficas y heterotróficas, estas últimas utilizan directamente los compuestos nitrogenados residuales para la formación de biomasa bacteriana, siendo necesario la adición de una fuente

externa de carbono para la síntesis de esta biomasa (Crab *et al.*, 2012). Un cultivo BFT heterotrófico actúa rápidamente sobre los residuos nitrogenados transformándolos en biomasa microbiana lo cual mantiene la calidad del agua del cultivo y permite el desarrollo y bienestar de los individuos (Crab *et al.*, 2012). Esta biomasa microbiana puede ser consumida por peces o camarones como una fuente asimilable nutricional y digestible permitiendo reducciones en el uso de alimento (Chaverra *et al.*, 2017; Avnimelech, 2009).

El BFT transforma los residuos nitrogenados en biomasa microbiana que en el agua se asocia en forma de flóculos, un material suspendido rico en proteína y que puede implementarse como fuente alimenticia suplementaria en el alimento acuícola (Lezama y Paniagua, 2010). Este potencial que tiene el biofloc como fuente alimenticia resulta muy atractivo en virtud a que en los costos de producción el alimento balanceado representa entre el 60 al 70%. Esta biomasa microbiana en el BFT establece interacciones con microalgas, hongos y otras bacterias, que enriquecen y brindan estabilidad a los organismos del cultivo (Cardona *et al.*, 2016; De Souza *et al.*, 2016; Ekasari *et al.*, 2014; Ebeling *et al.*, 2006).

Por otro lado, la harina y el aceite de pescado han sido ingredientes indispensables en la elaboración de alimentos para peces y camarones. Sin embargo, estas materias primas son cada vez más costosas, escasas y cuestionadas a nivel ambiental (Rust *et al.*, 2014). Las investigaciones de materias primas alternativas para el reemplazo de la harina y el aceite de pescado son cada vez más frecuentes, buscando en fuentes proteicas vegetales o inclusive en las algas marinas (Jafari *et al.*, 2014). La espirulina *Arthrospira platensis* es una alga marina con contenidos hasta de 70% de proteína cruda y 7 al 16 % de grasa con buena digestibilidad y aceptación en su consumo (Takeuchi *et al.*, 2002; Venkataraman, 1997).

El éxito en los sistemas acuícolas depende del cultivo de especies resilientes a los cambios ambientales y con alta productividad. En la acuicultura las especies omnívoras tienen ventajas sobre las carnívoras al ser más eficientes en el consumo de distintas fuentes alimenticias; algunas son filtradoras lo cual les otorga eficiencia productiva; una de estas especies es la cachama blanca originaria de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas que cada vez toma más protagonismo en la producción acuícola (Bru *et al.*, 2017; Chaverra *et al.*, 2017). En Colombia la cachama blanca es una especie ampliamente consumida y en producción ocupa el segundo lugar (Cruz *et al.*, 2011). La cachama blanca en su medio silvestre se alimenta de fuentes vegetales

como frutos y semillas las cuales pueden ser incorporados en su dieta (Vásquez, 2004). La rusticidad de la cachama blanca ha permitido que tenga una producción de amplia distribución y adaptación a sistemas más intensivos como el BFT (Chaverra *et al.*, 2017; Abad *et al.*, 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fuente de proteína en el alimento sobre el desempeño productivo y los parámetros de calidad del agua de la cachama blanca *Piaractus brachyomus* cultivada en el sistema de biofloc.

Materiales y métodos

Aval del Comité de Ética para la experimentación animal: El estudio contó con aval del Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín otorgado mediante oficio, CEMED-O52 del 16 de julio de 2012.

Área de estudio

El estudio se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Modelación Animal -LAMA, de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín con coordenadas (N 6°15'44" O 75°34'37"), altura sobre el nivel del mar de 1600 msnm, temperatura promedio de 26°C y una humedad relativa de 65% (zona de vida de bhPM). El área en donde se colocaron las unidades experimentales fue un sitio abierto y cubierto con teja plástica transparente y con malla polisombra del 60% de cubrimiento para potencializar el cultivo heterotrófico del biofloc.

Material biológico experimental

Alevinos de cachama blanca *Piaractus brachyomus* procedentes de la empresa Zilurus Aquatec S.A., (departamento del Meta, Colombia) con peso un promedio de 0.1±0.05 g fueron recibidos en las instalaciones del LAMA en tanques de recirculación de agua. Los peces se alimentaron a saciedad aparente con un alimento comercial de 38% de proteína cruda (PC) durante las primeras 2 semanas y posteriormente del 24% PC hasta alcanzar un peso promedio de 55.6±9.6 g, posteriormente se llevaron a las unidades de biofloc LAMA FISH 02.

Unidades experimentales

Las unidades experimentales LAMA FISH 02 fueron tanques plásticos de 500 L (Tipo bebedero bajito, Col empaques, COL). El agua del cultivo usada fue de las empresas públicas de Medellín la cual se dejó 24 horas con aireación para lograr su decoloración. Se usaron

calefactores (Resum[®], CHINA) de 300 vatios para mantener la temperatura del agua alrededor de 28°C. Para la resuspensión de BFT y el suministro de oxígeno cada tanque se dotó con aireación a través de un blower industrial monofásico (Pum Power HG-C/C2, USA) de 1/3 HP, con mangueras polidifusoras ubicadas en el fondo de cada tanque.

Preparación y mantenimiento del inóculo del biofloc

En la preparación del inóculo se siguió la metodología de Chaverra (2016) y Pasco (2015). Se inició con un inóculo de lixiviado de humus de lombriz roja californiana *Eisenia foetida* para cada tanque a razón de 1L de lixiviado por 500L y se dejó durante 30 días en maduración en las unidades LAMA FISH 02 con aireación y calefacción continua. Durante este tiempo se adicionó melaza a razón de 0.02 g/L de manera semanal y al inicio del inóculo se adicionó a cada tanque cloruro de amonio (NH₄Cl) a razón de 5 mg/L y sal marina a razón de 2 g/L con el fin de estimular el crecimiento bacteriano y preparar el BFT para la llegada de los peces. Se suministró bicarbonato de sodio (NaHCO₃) a razón de 50 mg/L con el fin de mejorar alcalinidad en el sistema para el consumo de las bacterias. Para el mantenimiento de las bacterias heterotróficas del cultivo BFT se adicionó melaza como fuente de carbono de manera periódica a razón de 0.02 g/L y bicarbonato de sodio para el manejo de la alcalinidad, también se suministró sal posterior a las biometrías de los peces.

Diseño experimental

Como tratamientos se definieron tres dietas experimentales del 24% de PC con materias primas de origen vegetal (tabla 1) formuladas y elaboradas en la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá en el Laboratorio de Nutrición Acuícola. Estas dietas fueron extruidas y peletizadas con tamaño de 3mm, apropiado para el tamaño de los peces. La tabla 2 presenta la caracterización proximal de las fuentes proteicas usadas en las dietas. Dichas dietas fueron diseñadas isoproteicas e identificadas de la siguiente forma:

- **Tratamiento 1 (Dieta 1):** Dieta con la fuente de proteína torta de soya
- **Tratamiento 2 (Dieta 2):** Dieta con la fuente de proteína torta de soya+harina de pescado (en reemplazo de un 5% de la torta de soya)
- **Tratamiento 3 (Dieta 3):** Dieta con la fuente de proteína torta de soya+harina de espirulina (en reemplazo de un 5% de la torta de soya)

Cada tratamiento tuvo tres repeticiones para un total de nueve (9) unidades experimentales contenidas en tanques de 500L (LAMA FISH 02). En cada tanque se sembraron 42 cachamas blancas de 55.6±9.6 g de peso, y se cultivaron durante 84 días. La asignación de tratamientos y sus repeticiones se hizo completamente al azar. La alimentación se realizó tres veces al día (8:00, 12:00 y 17:00 horas) a saciedad aparente y a través de tablas de consumo ajustando los datos con la biomasa. Se calculó el rechazo de alimento pesando lo encontrado pasados 30 minutos del suministro de la alimentación.

Medición de la calidad del agua

Temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto OD (mg/L), saturación de oxígeno (%), y salinidad (‰) se determinaron dos veces al día (8:00) y (17:00) con una sonda multiparamétrica (YSI professional plus, USA). Los compuestos nitrogenados se determinaron semanalmente a través de un espectrofotómetro (Genesys 105 UV-VIS[®], USA) con reactivos para amonio (0.013-3.86 mg/L NH₄⁺), nitrito (0.007-3.28 mg/L NO₂⁻) y nitrato (0.4-110.7 mg/L NO₃⁻). Las muestras se prepararon según las indicaciones del fabricante. Los sólidos sedimentables se determinaron mediante conos imhoff y los suspendidos por la metodología de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540D descritos en APHA, (2005), para lo cual se usó una bomba de vacío (Advantec[®], JAPAN) de 300 ml, una balanza electrónica (APX-323) y el proceso de secado de los filtros (Whatman[®], USA) de 0.45 μm (2 horas a 60°C) se hizo a través en un horno (TV10U, USA).

Parámetros Productivos

Las biometrías se realizaron quincenalmente, la longitud de los peces se determinó con un ictiometro con escala milimétrica y el pesaje de peces y alimento se realizó con una balanza electrónica (Ohaus, APX-323, USA). Con los registros anteriores se determinó lagancia de peso diaria (GDP) mediante la fórmula: $[(Pf) - (Pi)] / (DC)$, (g/día); la biomasa inicial y final mediante la fórmula: $PP * n$ (g); la tasa específica de crecimiento (TEC) se obtuvo a través de la ecuación: $100 * [(\ln Pf - \ln Pi) / (t2 - t1)]$ (%/día); conversión alimenticia mediante (FCA) AC/GP ; factor de condición corporal (K) a través de la ecuación $W = aL^b$ y la sobrevivencia mediante la fórmula: $100 * (Nf/Ni)$ (%).

Donde: **Pf** = Peso promedio final; **Pi** = Peso promedio inicial; **DC**= número días de cultivo; **PP**= Peso promedio de los peces muestreados; **n**= numero de peces

Tabla 1. Composición y análisis proximal de las dietas experimentales (g/100 g de dieta) utilizadas en el cultivo de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) en sistema biofloc

Ingredientes	Dieta 1 (T1) Torta de Soya	Dieta 2 (T2)T. de Soya + H. Pescado	Dieta 3 (T3)T. de Soya + H. Espirulina
Arroz cristal	15	15	15
Harina trigo	15	15	15
Harina arroz 7%	2.420	6.200	5.644
Salvado de trigo	20	20	20
Torta de soya 47%	32.93	25.62	25.40
Fríjol soya extruido	5	5	5
Aceite de soya	1	1	1
Carbonato de calcio	4.371	3.650	3.689
Tricalfos	2.720	2.400	3.089
Sal	0.771	0.410	0.300
Premix Vit Min	0.300	0.273	0.300
L- Metionina	0.231	0.210	0.220
L- Lisina HCL	0.140	0.080	0.210
Cloruro de colina 60%	0.060	0.060	0.060
L Treonina	0.051	0.035	0.028
Antioxidantes	0.020	0.020	0.020
Harina de pescado	0	5	0.000
Espirulina	0	0	5
	100	100	100
Cenizas%	11.55	11.05	11.45
Fibra cruda%	4.7	5	4.5
Humedad%	6.4	6.3	5
Proteína cruda%	24.4	25	25
Valor calorífico bruto cal/g	3993	4015	4134
Costo de la dieta (US\$/Kg)	0.43	0.45	0.66

Tabla 2. Caracterización proximal de espirulina, harina de pescado y torta de soya usadas como fuentes proteicas en las dietas.

Parámetro	Espirulina	Harina de Pescado	Torta de soya (NRC, 2012)
Cenizas (%)	11.4	26.7	6.27
Contenido de grasa (%)	0.5	5.28	1.52
Fibra cruda (%)	2.8	0.6	3.89
Fósforo (%)	1.16	4.14	0.61
Humedad (%)	6.1	7.2	12
Proteína cruda (%)	61.25	60	47.71
Valor calorífico bruto (cal/g)	4754	3781	4256

en la unidad experimental; **ln**= Logaritmo natural; **Ti**= Tiempo inicio; **Tf**= Tiempo final; **AC**= alimento consumido; **GP**= Ganancia de peso; **Nf**= número final de peces en la unidad experimental; **Ni**= número inicial de peces en la unidad experimental.

Análisis estadístico

Se evaluaron los supuestos de normalidad (pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Prueba de Bartlett) para los parámetros del agua y productivos de los peces y un análisis de varianza ANOVA de una vía, para observar el efecto del tratamiento en cada una de las características con el procedimiento PROC GLM. Conociendo el efecto significativo ($P < 0.05$) del tratamiento se realizó una prueba de medias por Tukey para conocer las diferencias entre los tratamientos. Posteriormente, se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo usando (PROC MIXED). Todos los procedimientos se realizaron en el software estadístico SAS System (2009)®.

Resultados

Los resultados de los parámetros de calidad de agua durante el experimento se presentan en la tabla 3. La figura 1 presenta el comportamiento de los compuestos nitrogenados durante los 84 días de cultivo y los resultados de los parámetros productivos se presentan en la tabla 4.

Discusión

La producción intensiva en biofloc depende de una adecuada relación de los parámetros de la calidad del

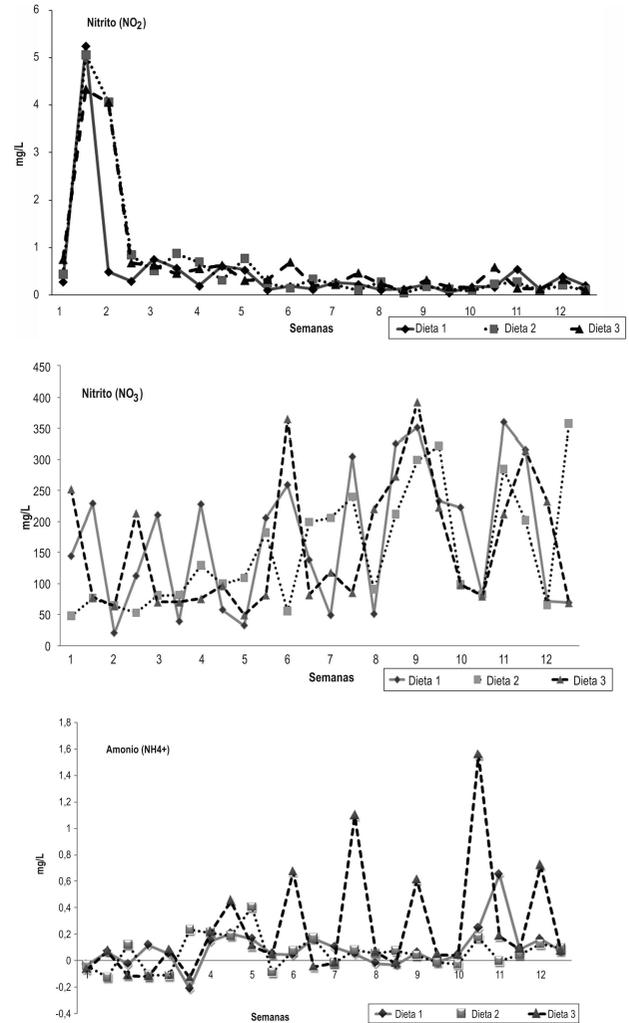


Figura 1. Comportamiento en el tiempo de los compuestos nitrogenados en un cultivo de cachama blanca *Piaractus brachyomus* en biofloc alimentados con tres fuentes proteicas.

Tabla 3. Calidad del agua del cultivo por 84 días de cachama blanca *Piaractus brachyomus* en sistema biofloc alimentados con tres fuentes proteicas

Parámetros	Tratamientos		
	T1 Torta de Soya	T2 T. soya + H. Pescado	T3 T. soya + H. Espirulina
Temperatura (°C)	28.4±1 ^a	27.9±1.2 ^b	28.4±1 ^a
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.1±0.9 ^a	5.3±0.8 ^b	5.05±1 ^a
Salinidad (‰)	3.9±0.7 ^a	2.8±1.2 ^b	3.1±1.4 ^c
pH	7.0±0.3 ^b	7.2±0.4 ^a	7.2±0.4 ^a
Conductividad (mS/cm)	4.7±0.8 ^a	3.4±1.3 ^b	3.8±1.5 ^c
Sólidos sedimentables (ml/L)	57.7±25.9 ^a	49.6±21.1 ^a	55.9±26 ^a
Sólidos totales (mg/L)	974±251.1 ^a	914±238.1 ^a	800.7±210.9 ^b
Amonio (NH ₄ ⁺) (mg/L)	0.1±0.2 ^a	0.1±0.1 ^a	0.2±0.3 ^a
Nitrito (NO ₂ ⁻) (mg/L)	0.4±0.8 ^a	0.5±0.9 ^a	0.5±0.9 ^a
Nitrato (NO ₃ ⁻) (mg/L)	209.5±127.7 ^a	184±113 ^a	194.3±116.6 ^a

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS. Letras distintas en la fila indican diferencia estadística significativa ($P < 0.05$).

Tabla 4. Parámetros productivos de cachama blanca *Piaractus brachypomus* durante 84 días en sistema biofloc con distintas fuentes proteicas

Parámetro	Tratamientos		
	T1 Torta de Soya	T2 T. soya + H. Pescado	T3 T. soya + H. Espirulina
Peso inicial (g)	55.9±11.7	52.6±9.6	54.2±10.8
Peso final (g)	197.3±21.1	181.9±10.7	187.3±2.9
Biomasa Inicial (kg/m ³)	4.9±0.3	4.4±0.3	4.7±0.3
Biomasa final (Kg/m ³)	16.8±1.3	15.3±0.5	15.5±1.7
Ganancia Diaria de Peso (g/día)	1.8±0.7	1.6±0.7	1.7±0.7
Factor de Conversión Alimenticia	1.1±0.2	1.1±0.1	1.0±0.1
Tasa específica de crecimiento (%/día)	1.6±0.5	1.4±0.5	1.4±0.6
Factor de Condición K	3.4±0.3	4.1±0.5	2.6±0.3
Sobrevivencia (%)	100±0.0	100±0.0	100±0.0

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS.

agua (Avnimelech, 2009). El OD es un parámetro determinante para el adecuado desarrollo de los organismos acuícolas cultivados y de las bacterias (Vinatea, 2004). Las concentraciones de OD sugerido para el BFT está cerca del 6mg/L y una saturación mínima del 60% para garantizar el adecuado desarrollo de la cachama blanca. Fisiológicamente a medida que aumenta el peso por los peces se reduce su consumo de OD (Sastre *et al.*, 2004) por lo que el seguimiento a lo largo del cultivo es importante. En la evaluación llevada a cabo, el cultivo en BFT con *P. brachypomus* presentó resultados de OD promedio de 5.2±0.1mg/L (tabla 3) y una saturación de oxígeno >70% lo que permitió un adecuado desarrollo de la cachama blanca durante el tiempo de cultivo. Abad *et al.*, (2014) en cultivo de *P. brachypomus* en BFT encontraron OD de 8.9±2.0 el cual se mantuvo estable durante todo el cultivo. Day *et al.*, (2016) en cultivos de tilapias comerciales en BFT encontraron OD de 6.5±0.1mg/L demostrando buenas ganancias de peso y buena conversión alimenticia. En otras especies cultivadas en BFT como el camarón rosado *Farfantepenaeus brasiliensis*, Emerenciano *et al.*, (2014) encontraron OD de 5.6±1.4mg/L y pH de 7.9±0.6 con porcentaje de mortalidad del camarón de 11.8%.

Durante el tiempo de cultivo el registro de los compuestos nitrogenados en el estanque es fundamental para el bienestar de los individuos cultivados. En el BFT y en otros sistemas de producción el alimento no consumido y productos de excreciones de los peces colmatan el agua de compuestos nitrogenados y fosforados (Sagratzki *et al.*, 2004). Durante el tiempo de

cultivo de *P. brachypomus* en BFT, los compuestos nitrogenados se presentaron en rangos que no afectaron el bienestar de la especie. Las concentraciones promedio de amonio, nitrito y nitrato fueron 0.1±0.1mg/L, 0.5±0.11mg/L, 195.9±12.91mg/L respectivamente para estos compuestos. Con respecto al tiempo (figura 1), no se presentaron cambios bruscos en las concentraciones de compuestos nitrogenados, lo cual se le atribuye a la madurez que presentaba el BFT y a un aprovechamiento efectivo de las bacterias heterotróficas y nitrificantes previo y durante el cultivo de las cachamas. En la evaluación de los tratamientos no se presentaron diferencias significativas entre ellos. Trabajos realizados por Abad *et al.*, (2014) con cachama blanca en BFT encontraron concentraciones de amonio de 0.9±0.8 mg/L y de nitrito de <0.05mg/L reportando resultados productivos para cachama competitivos con ganancias de peso diario de 2.11g/día. Bru *et al.*, (2017) en policultivo de cachama blanca y tilapia nilótica *O. niloticus* encontraron nitrógeno amoniacal total (NAT) de 2.3±0.1mg/L y de amonio no ionizado de 0.3±0 mg/L. Con respecto a los nitritos en otros estudios como los de Day *et al.*, (2016) en BFT con tilapia nilótica encontraron concentraciones de NAT de 3.8±0.4 mg/L, nitrito 3.5±0.7mg/L y para nitrato de 5.6±0.9mg/L pero además con un pH promedio del cultivo de 6.28.

La temperatura es un parámetro con incidencia directa sobre las concentraciones de amonio no ionizado, al igual que también lo tiene el pH y la salinidad (Ebeling *et al.*, 2006). En este trabajo se presentaron valores promedio de temperatura 28.2±0.2°C y de pH de

7.1±0.1 en el tiempo de cultivo (tabla 3), donde no se presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Bru *et al.*, (2017) reportaron para policultivo en BFT una temperatura promedio de 27.3 ±0.1°C y pH de 7.6 ±0.2 con comportamientos zootécnicos competitivos. También Chaverra *et al.* (2017) en cultivo de cachama blanca en BFT reportaron temperatura promedio de 28.2±0°C, y un pH 7.7±0 con resultados de cultivo favorables.

Otro parámetro determinante del agua en el BFT es el sólido acumulado en el cultivo. En la acuicultura las cargas de sólidos en el agua son un problema ambiental debido a que contaminan eutrofizando, nitrificando y generan pérdida de organismos bentónicos (Martínez *et al.*, 2010). Realizar control de los sólidos es necesario debido a que están estrechamente relacionados con la concentración y el porcentaje de saturación del oxígeno y la carga de compuestos nitrogenados en el BFT (Ray *et al.*, 2010). Durante los 84 días de cultivo de *P. brachypomus* se evaluaron los contenidos de sólidos por dos técnicas diferentes sólidos totales (método APHA) y suspendidos (volumen del floc) cuyos resultados promedio fueron de 896.2±80mg/L y 54.4±4.3ml/L respectivamente (tabla 3). Chaverra *et al.*, (2017) durante 60 días de cultivo en BFT con *P. brachypomus* encontraron contenidos de sólidos totales de 400mg/L y de volumen de floc promedio de 42.2ml/L que no afectaron durante el cultivo la concentración de OD o los parámetros zootécnicos de los animales cultivados en BFT. Por otro lado la investigación de Bru *et al.*, (2017) encontró valores del volumen de BFT alrededor de 66.7±20.5ml/L tras 120 días de cultivo. La salinidad y la conductividad se comportaron de manera controlada sin presentar ausencias o excesos durante el tiempo de cultivo lo cual también se atribuye a la madurez del BFT. Cuando se analizaron los parámetros de calidad del agua con el modelo PROC MIXED (medidas repetidas en el tiempo) no se encontraron efectos del tiempo en los parámetros a excepción del volumen de sólidos sedimentables, indicando que estos cambiaron a lo largo del cultivo. De igual forma NAT y nitrito mostraron efectos del tiempo, lo que se le atribuye a la estabilización del cultivo que se logra con el tiempo. Todas estas características sugieren que la operación de la unidad de biofloc LAMA FISH 02 permitió un efectivo reciclaje de compuestos nitrogenados, un control apropiado de temperatura, un suministro adecuado de oxígeno y de alcalinidad, además de un controlado volumen de sólidos, lo que facilitó que se dieran condiciones apropiadas de cultivo y adaptación al sistema BFT, consiguiendo una salud total de las cachamas y una sobrevivencia del 100%.

En este estudio se alcanzó una biomasa promedio final de 15.9±0.8 kg/m³, obteniendo pesos promedio finales cercanos a los 200g (tabla 4). Resultados de Abad *et al.*, (2014) en el cultivo de biofloc con cachama blanca reportaron biomásas inferiores a esta (8 y 12 kg/m³) y Rodríguez *et al.*, (2012) con el cultivo del híbrido *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus* reportaron biomásas cercanas a 18 kg/m³. En estudios realizados por Poleo *et al.*, (2011) con *P. brachypomus* en BFT reportó una biomasa final promedio del cultivo de 8 a 12 kg/m³.

La ganancia de peso en los sistemas BFT ha demostrado ser igual o superior a la presentada en sistemas convencionales (Chaverra *et al.*, 2017; Abad *et al.*, 2014). Con el uso de dietas de origen vegetal con torta de soya como fuente proteica para cachama blanca Chaverra *et al.*, (2017) reportaron GDP de 0.43 a 0.5 g/día, inferiores a la calculada para este estudio que fue de 1.7±0.1 g/día (tabla 4), lo que se le atribuye principalmente a que los estudios se realizaron en diferentes edades de la cachama. Por otro lado Poleo *et al.*, (2011) en cultivos de cachama blanca por 192 días logró valores para un sistema BFT de 2.34±0.05g/día con alimentos comerciales a base de fuentes proteicas animales. Bru *et al.*, (2017) con *P. brachypomus* en BFT en policultivo con *O. niloticus* y alimentadas con dietas de origen vegetal durante 120 días, reportaron una GDP de 1.4±0.1g/día para cachama y de *O. niloticus* de 0.5±0.2 g/día. La TEC fue similar a la obtenida por Bru *et al.*, (2017), siendo de 1.5±0.1%/día para ambos. Esto permite inferir con respecto a la especie *P. brachypomus* que se puede lograr un aprovechamiento eficiente de las fuentes proteicas vegetales suministradas en la dieta.

Con respecto al FCA se encontraron (tabla 4) valores promedio de 1.1±0.1 iguales a los reportados por Chaverra *et al.*, (2017), lo cual demuestra aceptación de las dietas experimentales usadas. Otros autores como Day *et al.*, (2016) en cultivos de BFT de tilapias comerciales reportaron tras 10 semanas de cultivo para *Oreochromis andersonii* un FCA de 2.53±0.28; para *Oreochromis mossambicus* un FCA de 2.24±0.16 y para *Oreochromis niloticus* un FCA de 1.01±0 también muy buenos resultados para esta especie y gran conversión del alimento por los animales.

Respecto al K, el cual caracteriza las poblaciones de peces en estado de crecimiento, nivel nutricional y reproducción (Cifuentes *et al.*, 2012), los resultados obtenidos por Bru *et al.*, (2017) presentaron un K entre 1.9 y 2.1, menores a los reportados en el presente estudio, los cuales estuvieron entre 2.60 a 4.08 (tabla 4),

y que demuestra un mejor estado de condición bajo las fuentes proteicas usadas en el experimento.

Con respecto al T3 cuya dieta experimental incluía remplazo de harina de espirulina *A. Platensis* sobre la harina de soya como fuente proteica, no se encontraron reportes en cachama blanca para realizar comparaciones de rendimientos o parámetros zootécnicos. En tilapia nilótica, por ejemplo, Belal *et al.*, (2012) demostraron su efecto como promotor de crecimiento; El Sheekh *et al.*, (2014) concluyeron que con un reemplazo del 75% de la harina de pescado por harina de espirulina se logró un mejor desempeño productivo en tilapias híbridas y que a mayor inclusión de espirulina mayor sobrevivencia. Sin embargo, con inclusiones de espirulina del 20% y menores, no fueron encontrados efectos sobre el desempeño productivo ni sobre la calidad de la carcasa en tilapia roja (Ungsethaphand *et al.*, 2010). Es importante notar que los trabajos anteriores no han sido realizados en sistema BFT y que el ambiente de cultivo con el biofloc como suplemento alimenticio pudo ser el factor diferencial. Con respecto a las otras dos fuentes proteicas, es decir la harina de pescado y la torta de soya en el cultivo BFT, en trabajos de Gutiérrez y Vásquez (2012) reportaron coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) y de materia seca (MS) para la harina de pescado de 62.6% y de 77.2%, respectivamente en cultivo con cachama blanca. Para torta de soya Vásquez *et al.*, (2013) reportaron CDA y de MS de 62.5% y de 92.1% respectivamente para esta fuente proteica vegetal. En el presente estudio, la dieta que contenía como fuente proteica torta de soya, permitió resultados iguales a las dietas con reemplazos del 5% con espirulina o harina de pescado, aunque no se conocen los CDA para espirulina con *P. brachypomus*, es probable que sean similares a los de la harina de pescado. El estudio de Bru *et al.*, (2017) demostró tener excelentes rendimientos de la cachama blanca en biofloc con PC del 24% de origen vegetal, por lo que se podría utilizar la fuente proteica que resulte más económica a su debido momento y que satisfaga las condiciones de sostenibilidad, en este estudio realizado y como se muestra en la (tabla 2) la dieta que menor valor económico presentó fue la del T1 seguida por el T2 con la inclusión de harina de pescado y con un mayor costo el T3 por la inclusión de harina de espirulina.

Se puede concluir que con las dietas experimentales isoproteicas del 24% de PC, a base de harina de soya y con los reemplazos del 5% de harina de pescado y del 5% con harina de espirulina *A. platensis*, no se presentan efectos sobre el desempeño productivo de cachama blanca cultivada en BFT. También, que la producción de la cachama blanca *P. brachypomus* en

BFT demostró tener un resultado competitivo respecto a los parámetros zootécnicos evaluados, para lo cual es necesario realizar más investigaciones. Por último, con respecto a los tratamientos empleados se puede concluir económicamente con respecto al valor de sus dietas que el tratamiento que menor costo presentó en su fabricación fue el que solo tuvo como fuente proteica harina de soya (T1), lo cual es beneficioso a nivel económico y sostenible respecto al cultivo en BFT.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia por la financiación al proyecto de código 18779 y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Referencias

- Abad D, Rincón D, Poleo G. Índices de rendimientos corporales en morocoto (*Piaractus brachypomus*) cultivado en sistemas biofloc. *Zootecnia Trop.* 2014;32(2):119-130.
- APHA-AWWA- American Public Health Association- American Water Works Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. New York, USA, 2-55 a 2-59, Method 2540 D.
- Avnimelech Y. 2009. Biofloc Technology – A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States, p.182.
- Belal EB, Khalafalla MME, El-Hais AMA. Use of spirulina (*Arthrospira fusiformis*) for promoting growth of Nile Tilapia fingerlings. *Afr J Microbiol Res.* 2012;6(35):6423-6431.
- Brú-Cordero SB, Pertúz-Buelvas VM, Ayazo-Genes JE, Atención-García VJ, Pardo-Carrasco SC. Bicultivo en biofloc de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con dietas de origen vegetal. [Cachama (*Piaractus brachypomus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) biculture in biofloc fed diets of vegetable origin. *Rev Med Vet Zoot.* 2017;64(1):44-60. Doi: 10.15446/rfmvz.v64n1.65824.
- Cardona E, Lorgeoux B, Chim L, Goguenheim J, Le Delliou, H, Cahu C. Biofloc contribution to antioxidant defense status, lipid nutrition and reproductive performance of brood stock of the shrimp (*Litopenaeus stylirostris*): Consequences for the quality of eggs and larvae. *Aquaculture.* 2016;452:252-262.
- Chaverra Garcés SC, García González JJ, Pardo Carrasco SC. Efectos del biofloc sobre los parámetros de crecimiento de juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *CES Med Vet Zoot.* 2017;12(3):170-180.
- Cifuentes R, González J, Montoya G, Jara A, Ortiz N, Piedra P, Habit E. Weight-length relationships and condition factor of native fish from San Pedro River. Valdivia River basin, Chile. *Gayana Especial.* 2012;75(2):101-110.

- Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*. 2012;(357):351-356.
- Cruz CPE, Medina VM, Velasco YM. Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquac Res*. 2011;42:823-831.
- Day SB, Salie K, Stander HB. A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquacult Int*. 2016;24(5):1309-1322. doi:10.1007/s10499-016-9986-z
- De Souza DM, Borges VD, Furtado P, Romano LA, Wasielesky W, Monserrat JM, De Oliveira GL. Antioxidant enzyme activities and immunological system analysis of (*Litopenaeus vannamei*) reared in biofloc technology (BFT) at different water temperatures. *Aquaculture*. 2016;451:436-443.
- Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture system. *Aquaculture*. 2006;257:346-358.
- Ekasari J, Angela D, Hadiwaluyo S, Bachtiar T, Surawidjaja EH, Bossier P, De Schryver P. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animal. *Aquaculture*. 2014;(426-427):105-112.
- El-Sheekh M, El-Shourbagy I, Shalaby S, Hosny S. Effect of feeding (*Arthrospira platensis*) spirulina on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis niloticus*) x (*Oreochromis mossambicus*). *Turkish J Fish Aquat Sci*. 2014;14:471-478.
- Emerenciano M, Cuzon G, Arevalo M, Gaxiola G. Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp (*Farfantepenaeus duorarum*): spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. *Aquacult Res*. 2014;45:1713-172.
- Gutiérrez EMC, Vásquez TW. Apparent digestibility of fish meal and poultry by-product meal for (*Piaractus brachypomus*) Cuvier 1818. *Orinoquia*. 2012;15(2):169-179.
- Jafari SMA, Rabbani M, Emtyazjoo M, Piryaei F. 2014. Effect of dietary (*Spirulina platensis*) on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran -Iran, 1307-1315.
- Jones AB, Perston NP, Dennison WC. The efficiency and condition of oysters and macro algae used as biological filters of shrimp pond effluent. *Aquacult Res*. 2002;33:1-19.
- Lezama CC, Paniagua MJ. Effects of constructed microbial matson water quality and performance of (*Litopenaeus vannamei*)post-larvae. *Aquac Eng*. 2010;42:75-81.
- Martínez CLR, Martínez PM, López EJA, Campaña TA, Miranda BA, Ballester E, Porchas CMA. 2010. Alimento natural en acuicultura: Una revisión actualizada. - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuicola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. p. 668-699.
- Monroy M, De Lara R, Castro J, Castro G, Emerenciano M. Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture. *Rev Biol Mar Oceanogr*. 2013;48(3):511-520.
- NRC-National Research Council. 2012. Nutrient Requirements of Swine. Eleventh Revised Edition. National Academic Press, Washington, D.C. USA. 20418.
- Pasco MJ. 2015. Aeraçãoem cultivos super intensivos de tilapias (*Oreochromis niloticus*), em bioflocos e com troca mínima de água. Tese Doutorado em aquicultura. Universidade Federal De Santa Catarina, Centro De Ciências Agrárias Departamento De Aquicultura, Florianópolis, Brasil.
- Poleo G, Aranbarrio J, Mendoza L, Romero O. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Brasília, Brasil. Pesq Agropec Bras*. 2011;46:429-437.
- Ray AJ, Lewis BL, Browdy CL, Leffler JW. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, super intensive culture systems. *Aquaculture*. 2010;299(1-4):89-98.
- Rust MB, Amos KH, Bagwill AL, Dickhoff WW, Juarez LM, Price CS, Morris Jr, JÁ, Rubino MC. Environmental Performance of Marine Net-Pen Aquaculture in the United States, *Fisheries*. 2014;39(11):508-524.
- Sagratzki CBA, Pereira FM, Bordinhon A, Fonseca FA, Ituassú D, Roubach R, Ono EA. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amôniaem ambiente confinado. *Pesq Agrop Bras*. 2004;39:513-516.
- Sastre OF, Hernández G, Cruz CP. Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev Colomb Cienc Pec*. 2004;17:11-16.
- Takeuchi T, Lu J, Yoshizaki G, Satoh S. Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*)fed raw spirulina. Department of Aquatic Biosciences, Fisheries Sciences. 2002;68:34-40.
- Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Sommerfelt ST, Vinci BJ. 2002. Recirculating aquaculture systems. *Caruga Aqua Ventures, New York*.p.748.
- Ungsethaphand T, Yuwadee PY, Whangchai N, Sardud U. Effect of feeding (*Spirulina platensis*) on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus*) x (*Oreochromis niloticus*). *Maej Intern J Sci Technol*. 2010;4:331-336.
- Vásquez TW, Yossa MI, Gutiérrez EMC. Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Brasília, Brasil Pesq Agropec. Bras*. 2013;48(8):920-927.
- Vásquez TW. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. IALL Instituto de Acuicultura de los Llanos. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. Ed. Pablo XXIII. p.22.
- Venkataraman L. 1997. Appendix: spirulina (*Arthrospira platensis*): physiology cell-biology and biotechnology. edited by Vonshak A. Taylor and Francis Ltd., London.
- Vinatea L. 2004. Princípios químicos de qualidade da água em aquí-cultura. 2. ed: Editora da UFSC, Florianópolis. p. 345.