

Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc

Performance of bocachico *Prochilodus magdalenae* in intensive production systems with biofloc technology

Desempenho de bocachico *Prochilodus magdalenae* em sistemas de produção intensiva com tecnologia biofloc

JULIA E. AYAZO-GENES¹, VICENTE M. PERTUZ-BUELVAS², JOSÉ A. ESPINOSA-ARAUJO³,
CÉSAR A. JIMÉNEZ-VELÁSQUEZ⁴, VÍCTOR J. ATENCIO-GARCÍA⁵, MARTHA J. PRIETO-GUEVARA⁶

RESUMEN

La Tecnología BioFloc (BFT) se caracteriza por altas densidades, bajo consumo de agua y espacios reducidos; sin embargo, son escasos los estudios adaptando esta tecnología a especies nativas como bocachico Prochilodus magdalenae. El estudio evaluó el desempeño zootécnico del cultivo con BFT a tres densidades en fase de pre-engorde: 5(T1), 10(T2) y 20(T3) peces/m³. En nueve tanques rectangulares de 6 m³ (3/tratamiento) se sembraron alevinos de 1,6±0,2 g y 5,0±0,5 cm de peso y lon-

Recibido para evaluación: 25 de Agosto de 2017.

Aprobado para publicación: 11 de Abril de 2018.

- 1 Universidad de Córdoba, CINPIC. M.Sc. Biotecnología. Montería, Colombia.
- 2 Universidad de Córdoba, FMVZ/DCA/CINPIC. M.Sc. C. Ambientales. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Córdoba, FMVZ/DCA/CINPIC. M.Sc. Biotecnología. Montería, Colombia.
- 4 Universidad de Córdoba, FMVZ/DCA/CINPIC. M.Sc. Biotecnología. Montería, Colombia.
- 5 Universidad de Córdoba, FMVZ/DCA/CINPIC. M.Sc. Acuicultura. Montería, Colombia.
- 6 Universidad de Córdoba, FMVZ/DCA/CINPIC. Ph.D. Acuicultura. Montería, Colombia.

Correspondencia: vatencio@hotmail.com

gitud total respectivamente, se alimentaron con dieta comercial de 24% de proteína bruta y al sistema se le adicionó melaza y cal basados en la relación C:N. Oxígeno disuelto, pH y temperatura se midieron diariamente y semanalmente amonio, nitrito, nitrato, dureza, alcalinidad, sólidos sedimentables, sólidos totales suspendidos e índice volumétrico de lodos. La calidad del agua osciló en el rango adecuado para la especie y estabilidad del sistema, sin diferencia significativa entre tratamientos ($p>0,05$). La sobrevivencia osciló entre $78,9\pm 3,8\%$ (T1) y $83,8\pm 0,6\%$ (T3) ($p>0,05$); el mayor crecimiento se registró en T1 ($74,3\pm 16,0$ g, $18,2\pm 1,2$ cm) y los menores crecimientos ($31,9\pm 1,2$ - $45,9\pm 3,4$ g, $14,0\pm 0,1$ - $15,8\pm 0,7$ cm) se obtuvieron a las mayores densidades (T2, T3). En conclusión, el cultivo de bocachico en fase de pre-engorde es posible con BFT a densidades de por lo menos 5 peces/m³.

ABSTRACT

Biofloc Technology (BFT) is characterized by high densities, low water consumption, and reduced spaces; however, there are few studies adapting this technology to native species such as bocachico *Prochilodus magdalenae*. The aim was to evaluate the zootechnical performance of bocachico in BFT culture at three densities in the pre-growth stage: 5(T1), 10(T2) y 20(T3) fishes/m³. In nine rectangular tanks of 6 m³ (3/treatment), fingerlings of $1,6\pm 0,2$ g and $5,0\pm 0,5$ cm of total length were stocked, fed a commercial diet of 24% crude protein and the system was managed by adding molasses and lime based on the C:N ratio. Dissolved oxygen, pH and temperature were measured daily and ammonium, nitrite, nitrate, hardness, alkalinity, sedimentable solids, total suspended solids and sludge volumetric index were measured weekly. Water quality oscillated in the range suitable for bocachico and BFT stability, with no significant difference between treatments ($p>0,05$). Survival ranged from $78,9\pm 3,8\%$ (T1) to $83,8\pm 0,6\%$ (T3) ($p>0,05$); the higher growth ($74,3\pm 16,0$ g, $18,2\pm 1,2$ cm) was recorded in T1 ($31,9\pm 1,2$ - $45,9\pm 3,4$ g, $14,0\pm 0,1$ - $15,8\pm 0,7$ cm) and the lower growths were obtained at the higher densities (T2, T3). In conclusion, the culture of bocachico in pre-growth phase is possible with biofloc technology at densities of at least 5 fish/m³.

RESUMO

A Tecnologia BioFloco (BFT) é caracterizada por altas densidades, baixo consumo de água e espaços reduzidos; no entanto, há poucos estudos adaptando essa tecnologia a espécies nativas, como o bocachico *Prochilodus magdalenae*. O objetivo foi avaliar o desempenho de bocachico em cultura BFT a três densidades na fase de levante: 5(T1), 10(T2) e 20(T3) peixes/m³. Em nove tanques retangulares de 6 m³ (3/tratamento) foram alojados alevinos de $1,6\pm 0,2$ g e $5,0\pm 0,5$ cm de comprimento total, e alimentados com dieta comercial de 24% de proteína bruta e o sistema foi tratado com adição de melação e cal baseado na relação C: N. Oxigênio dissolvido, pH e temperatura foram medidos diariamente e semanalmente o amônio, nitrito, nitrato, dureza, alcalinidade, sólidos sedimentáveis, sólidos totais em suspensão e o índice volumétrico de lodo. A qualidade da água oscilou dentro da faixa para a espécie e a manutenção do sistema, sem apresentar diferença significativa

PALABRAS CLAVE:

Acuicultura,
Compuestos nitrogenados,
Peces nativos,
Piscicultura,
Macroagregados de floc.

KEYWORDS:

Aquaculture,
Fishculture,
Native fishes,
Macroaggregates of floc,
Nitrogen compounds.

PALAVRAS CHAVES:

Aquicultura,
Compostos nitrogenados,
Peixes nativos,
Piscicultura,
Macroagregados de flocos.

entre os tratamentos ($p>0,05$). A sobrevivência variou de 78,9±3,8% (T1) e 83,8±0,6% (T3) ($p>0,05$); o maior crescimento ocorreu em T1 (74,3±16,0g, 18,2±1,2cm) e os mais baixos crescimentos (31,9±1,2-45,9±3,4g, 14,0±0,1-15,8±0,7 cm) foram obtidos nas densidades mais elevadas (T2, T3). Em conclusão, a cultura de bocachico na fase de levante é possível com tecnologia de bioflocos a densidades pelo menos de 5 peixes/m³.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura se mantiene como uno de los sectores de mayor producción de carne de pescado que está reemplazando la producción pesquera de extracción y aumentando el suministro de peces comestibles a una tasa media anual de 3,2% [1]. En este rápido crecimiento, es necesario estimular el desarrollo de nuevas tecnologías de cultivo que aumenten la producción; mitiguen a su vez el impacto causado sobre los recursos hídricos y el suelo, mediante tecnologías eficientes, sostenibles y ambientalmente amigables.

Una de las alternativas, de mayor desarrollo en la actualidad, es la tecnología de cultivo biofloc (BioFloc Technology, BFT); la cual se basa en la transferencia de materia orgánica entre los niveles tróficos, aumenta la eficiencia de las cadenas alimentarias y contribuye a mantener la calidad del agua al propiciar la remoción continua de nutrientes, principalmente de los compuestos nitrogenados [2].

En este sistema, se combina el reciclado y reutilización de nutrientes de manera continua, el manejo de la calidad de agua y el aumento de la producción, en función de los microorganismos presentes en el medio de cultivo; además, estos microorganismos (designados como macroagregados de biofloc) podrían contribuir como fuente de alimento *in situ* a los animales de cultivo y disminuir la conversión alimentaria [3].

La tecnología biofloc se perfila como una tecnología de vanguardia para la producción acuícola superintensiva con sostenibilidad, ya que viabiliza cultivos con alta densidades de peces [4], entre 80 y 120 peces/m³, con bajo consumo de agua y en reducidos espacios [5].

A pesar de los beneficios de esta tecnología de cultivo, la mayoría de los estudios están enfocados en el engorde de camarón y tilapia; con reportes de crecimientos de tilapia entre 4,1 y 3,2 g/día y biomasa final de 44,9

Kg/m³ [6, 7]. Pero, no hay reportes del uso de este sistema en el cultivo de especies nativas como bocachico *Prochilodus magdalenae*, que demandan la tecnificación de su cultivo por su importancia comercial.

El bocachico es la principal especie de la pesquería continental colombiana y la cuarta especie más cultivada en el país [8]. Debido a su régimen alimentario detritívoro esta especie es considerada como alternativa para la piscicultura extensiva y semi-intensiva y sus cultivos se manejan a densidades menores de 1 pez/m², siendo común en policultivos con especies omnívoras como cachama negra *Colossoma macropomum*, cachama blanca *Piaractus brachyomus* y tilapias *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* sp [9].

Generalmente, la gran mayoría de los cultivos de bocachico se desarrollan en grandes cuerpos de agua, sin manejo de la calidad del agua, sin suministro de dietas comerciales y con escaso control del cultivo. El desarrollo de su cultivo se realiza en dos fases: alevinaje y engorde, pasando en algunos casos, por una fase intermedia de levante; a diferencia del cultivo de otros peces (tilapia, cachamas) que se realiza en alevinaje, precría, levante, pre-engorde y engorde, según la especie y sistema de cultivo. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño zootécnico de bocachico en cultivo con tecnología biofloc sometidos a tres densidades de siembra, en la fase de pre-engorde.

MÉTODO

El estudio se realizó en el Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba CINPIC (Montería, Córdoba, Col), cuyas coordenadas geográficas son 8°48' de latitud Norte y 75° 22' de longitud Oeste, a una altitud de 15 m.s.n.m. y valores anuales promedio de temperatura, humedad relativa y precipitación de 27,5°C, 85% y 1100 mm, respectivamente.

Alevinos de bocachico con peso promedio de 1,6±0,5 g, obtenidos mediante reproducción artificial en el CINPIC, fueron sembrados a tres densidades: 5 (T1), 10 (T2), 20 peces/m³ (T3) y mantenidos durante cuatro meses (fase de pre-engorde) en un cultivo BFT; en nueve tanques rectangulares de concreto de 6 m³ de volumen útil; dotados de aireación permanente mediante un blower de 1,5 HP y mangueras polidifusoras, cubiertos con malla polisombra para reducir la entrada de la luz y protección contra predadores.

Inóculo inicial de floc

Para establecer el inóculo inicial del sistema biofloc se tomó agua superficial de un estanque de uso piscícola del CINPIC. El fomento y desarrollo de bacterias nitrificantes y heterotróficas, se logró a partir de la adición de melaza como fuente de carbono para mantener una relación 20:1 (C:N). La cantidad de nitrógeno total (NT) en el cultivo (mg/L) se estimó con la ecuación propuesta por Kubitzka [10].

$$NT = (NH_3 + NH_4^+ + NO_2^-) * V/1000 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde NH_3 , es la cantidad de nitrógeno en forma de amonio no ionizado; NH_4^+ , es la cantidad de nitrógeno en forma de amonio ionizado; NO_2^- , cantidad de nitrógeno en forma de nitrito; V, volumen de agua.

La cantidad de cantidad de melaza (g) se estimó con la ecuación:

$$\text{Melaza} = NT * (20 - 12) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde 20 es la relación teórica de C:N (20:1) en el manejo de los sistemas de cultivo BFT y 12 es la relación C:N (12:1) de las raciones alimenticias con 24% de PB.

Después de un periodo de 22 días de estabilización del inóculo inicial, considerando los compuestos nitrógenados y la caracterización cualitativa y cuantitativa de los microorganismos presentes en el inóculo, se procedió a transferir 600 L de este inóculo a cada unidad experimental, y luego fue escalarlo a un volumen de 6 m³, utilizando agua del sistema de distribución de agua del CINPIC.

Calidad de agua

Diariamente se midió oxígeno disuelto (OD), pH y temperatura con ayuda de un oxímetro (YSI, 550A, USA) y un pH-metro (YSI, pH100, USA); mientras que nitrógeno amoniacal total (NAT), amonio no ionizado (NH_3), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) se midieron cada dos días con la ayuda de un fotómetro (YSI, 9500, USA), con el cual también se midió dureza y alcalinidad total semanalmente.

La relación C:N se estimó considerando que el 50% de las concentraciones de los alimentos comerciales utilizados en acuicultura, correspondieron a carbono y se utilizó la ecuación:

$$C:N = (50\% * PAR) / PTAS * \%PB * 15,5 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde 50% es la concentración de carbono en alimento comercial; PAR, peso total alimento suministrado en ración; PTAS, peso total alimento suministrado; %PB, porcentaje de proteína del alimento y 15,5 como constante del porcentaje de nitrógeno en la proteína del alimento.

Los sólidos sedimentables totales o volumen del floc (SS), fueron medidos tomando una muestra de 1000 mL de agua y colocada en conos Imhoff, y después de 15 minutos se realizó la lectura en mL/L [5].

Los sólidos suspendidos totales (SST), se determinaron mediante el método estándar 2540-D [11]; que consistió en filtrar (filtro Whatman 60 μ m) una muestra de floc, colocarla en un crisol previamente pesado y secarlas (103-105°C) durante una hora en un horno (Dynamica, Alemania). Los SST se estimaron mediante la ecuación:

$$SST = (A - B) * 100 / \text{volumen de la muestra} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde A corresponde al peso del residuo seco más crisol (mg); B al peso del crisol (mg).

A partir de la estimación de SS y SST, se estimó el índice volumétrico de lodos IVL (mL/mg) mediante la ecuación:

$$IVL = (SS * 100) / SST \quad (\text{Ec. 5})$$

Crecimiento y sobrevivencia

Durante el cultivo, se suministró alimento pulverizado con 24% de proteína bruta (PB), a saciedad dos

veces al día, durante los primeros 45 días de cultivo y luego una vez al día hasta finalizar el cultivo. La ración se estimó con base en el 8% de la biomasa total, ajustada en cada muestreo.

Cada 15 días se realizó un muestreo biométrico, con el 50% de los peces de cada unidad experimental, se midió la longitud total (Lt) con un Ictiómetro graduado en milímetros y el peso total con una balanza electrónica con capacidad de 2000 g (Sartorius, Alemania).

Con los datos de Lt y peso total se estimó la ganancia en peso (Gp), mediante ecuación:

$$Gp = Pf - Pi \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde Pf es peso final y Pi es peso inicial.

Ganancia en longitud total (Gl), mediante la ecuación:

$$Gl = Ltf - Lti \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde Ltf es longitud total final y Lti es longitud total inicial.

Ganancia diaria de peso (Gdp) con la ecuación:

$$Gdp = Gp/dc \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde dc es días de cultivo.

Tasa específica de crecimiento en peso (G), con la ecuación:

$$G = (\ln Pf - \ln Pi / dc) * 100 \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde LnPf es logaritmo natural del peso final y LnPi es logaritmo natural del peso inicial.

También se estimó el factor de condición (K), con la ecuación:

$$K = 100 * Pt / Lt^b \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde Pt es peso total (g), Lt es longitud total (cm) y b es el coeficiente de crecimiento.

La sobrevivencia final fue estimada mediante la fórmula:

$$S = (Npf / Npi) * 100 \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde Npf es número final de peces y Npi es número inicial de peces.

El factor de conversión alimenticia (FCA) se estimó con la fórmula:

$$FCA = Ast / GB. \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde Ast es el alimento suministrado total (Kg) y GB la ganancia de biomasa (Kg)

Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) y todas las variables analizadas fueron sometidas a pruebas de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (test de Bartlett). Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de rango múltiple de Duncan. En todos los casos, se utilizó un nivel de confianza del 95% como criterio estadístico para revelar diferencias significativas. El análisis estadístico se realizó con ayuda del software SAS versión para Windows 9,2 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA).

RESULTADOS

Calidad de agua

El cuadro 1 registra la calidad de agua durante el cultivo de bocachico en sistema biofloc. El oxígeno disuelto presentó valores promedios superiores a 6,0 mg/L, con porcentaje de saturación por encima de 84,2%; la temperatura osciló entre de 28,6±0,3°C (T1) y 28,4±0,3°C (T3), el pH registró promedio de 8,0 para los tres tratamientos y la dureza total osciló entre 101,9±67,8 mgCaCO₃/L (T2) y 90,2±52,4 mgCaCO₃/L (T1); en ninguno de estos parámetros se observó diferencia estadística entre tratamientos (p>0,05). La alcalinidad registró los mayores valores en T2 (114,5±57,9 mgCaCO₃/L) y T3 (108,6±63,2 mgCaCO₃/L); los cuales fueron estadísticamente diferentes al valor de T1 (95,3±44,5 mgCaCO₃/L) (p<0,05).

Los valores obtenidos para el oxígeno disuelto, temperatura y pH se consideran adecuados para el de-

Cuadro 1. Calidad de agua del cultivo de bocachico en fase de pre-engorde con tecnología biofloc.

Parámetro	T1	T2	T3
Temperatura (°C)	28,6±0,3 ^a	28,5±0,3 ^a	28,4±0,3 ^a
OD (mg/L)	6,9±0,3 ^a	6,9±0,2 ^a	6,8±0,3 ^a
pH	8,0±0,3 ^a	8,0±0,4 ^a	8,0±0,7 ^a
Alcalinidad (mg/L)	95,3±44,5 ^b	114,5±57,9 ^a	108,6±63,2 ^a
Dureza (mg/L)	90,2±52,4 ^a	101,9±67,8 ^a	101,5±59,0 ^a
NAT (mg/L)	2,6±1,1 ^c	3,3±2,1 ^b	5,1±5,3 ^a
NH ₃ (mg/L)	1,2±0,5 ^b	1,5±1,0 ^b	2,3±2,4 ^a
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,7±0,5 ^a	0,7±0,6 ^a	0,7±0,5 ^a
NO ₃ ⁻ (mg/L)	16,4±11,2 ^b	19,2±12,3 ^a	19,2±2,2 ^a
SS (mL/L)	0,7±0,5 ^a	0,7±0,4 ^a	0,7±0,4 ^a
SST (mg/L)	168,5±62,4 ^a	195,0±48,4 ^a	121,5±75,4 ^a
IVL (mL/mg)	1,2±0,7 ^a	1,1±0,7 ^a	1,0±0,7 ^a

Letras diferentes en las filas expresan diferencia significativa ($p < 0,05$).

sarrollo de cultivos en sistemas biofloc [3, 4] y de la especie en cultivo [8]; de igual manera, la alcalinidad y dureza, se encontraron en el rango adecuado para el mantenimiento y ruta de nitrificación de las bacterias propias del sistema [2,12].

Los mayores valores promedios de NAT (5,1±5,3 mg/L) y NH₃ (2,3±2,4 mg/L) se obtuvieron en T3, observándose diferencia estadística con los otros tratamientos, (2,6±1,1 mg/L T1) ($p < 0,05$); mientras que los mayores valores promedios de NO₃⁻ fueron registrados en T2 (19,2±12,3 mg/L) y T3 (19,2±2,2 mg/L), siendo estadísticamente diferentes a T1. Los valores promedios de NO₂⁻ no presentaron diferencia significativa entre los diferentes tratamientos ($p > 0,05$).

En cultivos de tilapia con tecnología biofloc, se han reportado valores de NAT entre 2,0 y 2,4 mg/L [12]; mientras que en cultivos de camarón los reportes oscilan entre 0,1 y 2,9 mg/L de NAT [14]. La fracción tóxica del NAT, el amonio no ionizado (NH₃) fue el doble (2,3±2,4 mg/L) a la mayor densidad (20 peces/m³) cuando se compara con el valor obtenido a la menor densidad (1,2±0,5 mg/L); sin embargo el rango de NH₃ registrado en el presente estudio es similar al reportado en cultivo de peces y camarones con tecnología biofloc, en la mayoría de los casos valores por debajo de 3,0 mg/L [14,15,16,17,18].

Los valores de NO₂⁻, durante los cuatro meses de cultivo presentaron valores similares en todos los

tratamientos (0,7 mg/L); lo cual sugiere que este parámetro dependió más del manejo del sistema, que de la densidad de peces. Pérez-Fuentes *et al.* [15], en cultivo de *Oreochromis niloticus* en sistema de biofloc registraron valores de NO₂⁻ entre 0,7±0,9 y 1,3±0,8 mg/L con densidades de 75 peces/m³.

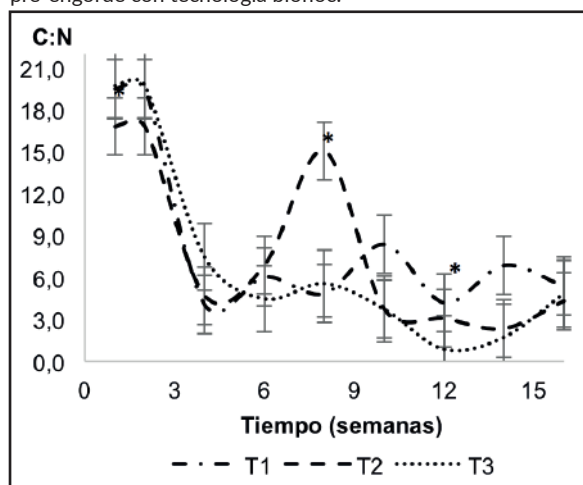
Los valores de NO₃⁻ (19,2±2,2 mg/L y 16,4±11,2 mg/L) registrados durante las 16 semanas de cultivo, fueron inferiores a los reportados (40,7 y 48,4 mg/L de NO₃⁻) por Pérez-Fuentes *et al.* [16]. Al igual que NO₂⁻ en la semana ocho y semana 11 se registraron los valores máximos de NO₃⁻ (38,9±0,8 mg/L); lo cual sugiere, que solo a partir de la semana 12 de cultivo, se presentó la estabilización del sistema, en función de la ruta de nitrificación amonio-nitrito-nitrato, siendo referenciada esta condición en estudios similares en este tipo de sistemas [2,15,19].

Durante el tiempo de cultivo se registraron valores bajos de SS (0,7 mL/L en todos los tratamientos); los valores de SST oscilaron entre 121,5±75,4 mg/L (T3) y 195,0±48,4 mg/L (T2) sin observarse diferencia estadística ($p > 0,05$). El IVL osciló entre 1,2±0,7 mL/mg (T1) y 1,0±0,7 mL/mg (T3) sin observarse diferencia significativa ($p > 0,05$), disminuyendo a medida que avanzó el cultivo (cuadro 1).

La dinámica presentada por estos parámetros difiere de los reportes de otros autores para tilapia y camarón. Avnimelech [20] sugiere para el cultivo de peces valores de SS entre 20 y 30 mL/L; mientras Lorenzo *et al.* [14], reportaron valores de 278,3 mg/L de SST e IVL 60,0 mL/mg, en el cultivo de camarón, tomándose como referencia para los sistemas de cultivo biofloc.

El bajo nivel de SS en el presente estudio se sugiere asociado al comportamiento y hábito alimenticio del bocachico (iliófago-detritívoro); mientras que en especies omnívoras como tilapia y cachama, se reportan niveles de SS por encima de los obtenidos en el presente estudio [13]. En el fondo de los tanques, se observó abundante materia orgánica e inorgánica no identificada de color oscuro, semejante al lodo generado en cultivos en estanques en tierra; lo cual sugiere la incidencia de la especie en la inhibición de formación de floc y el manejo de los sólidos (SS e SST); los cuales se caracterizaron por presentar valores inferiores a los sugeridos para el mantenimiento del sistema; sin alteración de la calidad del agua durante el cultivo.

Figura 1. Relación C:N del cultivo de bocachico en fase de pre-engorde con tecnología biofloc.



*denota diferencia estadística ($p < 0,05$).

Durante las primeras dos semanas de cultivo se presentaron relaciones C:N entre 16,8:1 (T2) y 19,7:1 (T3) con diferencia estadística entre los tratamientos ($p < 0,05$) (figura 1). Esta relación, en la semana 12 de cultivo alcanzó valores de 1:1 (T3) observándose diferencia estadística con relación a los otros tratamientos ($p < 0,05$). Al final del cultivo la relación C:N registró valores de 5,4:1 (T1) y 4,3:1 (T2) sin diferencia estadística entre los tratamientos ($p > 0,05$).

En los cultivos BFT, el control sobre los compuestos nitrogenados se establece a partir de la relación C:N en función de la actividad bacteriana, principalmente de tipo heterotróficas, que incorporan el nitrógeno amoniacal de las aguas a las rutas de reciclado y aprovechamiento de la proteína microbiana [2, 4]. En el presente estudio los valores promedios de esta relación ($6,1 \pm 5,9:1$ y $7,4 \pm 5,1:1$) fueron bajos, manteniéndose por debajo de la relación 20:1; lo cual evidencia el establecimiento de condiciones mínimas de esta relación (valores inferiores a 10:1) con la adición de melaza, harina de yuca y cal, para atenuar las variaciones de parámetros como pH, alcalinidad y compuestos nitrogenados; además de mantener valores de amonio y nitrito, aceptables para el manejo del sistema y con la menor toxicidad para el cultivo de la especie [9].

De manera general, los parámetros de calidad de agua evaluados no incidieron en el desempeño de la especie; sin embargo, durante el estudio se observó que el comportamiento del bocachico afectó la dinámica del biofloc, principalmente los valores de SS y

SST; lo cual requiere de más estudios, para dilucidar cómo especies con este hábito alimenticio (iliófagas) afectan la dinámica de los biofloc.

Crecimiento y sobrevivencia

El cuadro 2, muestra el crecimiento al final de los cuatro meses de pre-engorde; mientras que las figuras 2 y 3 registran el crecimiento (peso y longitud total) durante el desarrollo del cultivo. Al final del pre-engorde los peces de T1 alcanzaron los mayores valores promedios de peso ($74,3 \pm 16,0$ g), Gdp ($0,6 \pm 0,3$ g/día), Ltf ($18,2 \pm 1,2$ cm), Gl ($1,6 \pm 1,2$ cm) y G ($3,2 \pm 0,2$ %/día); estas variables fueron estadísticamente diferentes a los valores registrados en los otros tratamientos ($p < 0,05$); sin embargo, T1 presentó mayor coeficiente de variación en el peso ($22,0 \pm 9,3\%$) ($p < 0,05$). El K osciló entre $0,16 \pm 0,1$ (T1) y $0,18 \pm 0,1$ (T3) sin observarse diferencia significativa ($p > 0,05$). En T3 se registraron los mayores valores de biomasa final ($3,2 \pm 0,0$ Kg) y carga ($0,54 \pm 0,02$ Kg/m³) valores estadísticamente diferentes a los otros tratamientos. El FCA osciló entre $1,1 \pm 0,1$ (T1) a $1,3 \pm 0,1$ (T3) sin observarse diferencia significativa ($p > 0,05$).

En el desarrollo de la piscicultura de bocachico, se conocen bien las tecnologías de reproducción inducida, manejo de primera alimentación y el levante de alevinos, logrando de esta manera producir grandes cantidades de alevinos [21,22], cuyo destino muchas veces son grandes lagos en donde se culti-

Cuadro 2. Desempeño de bocachico cultivado a tres densidades de siembra con tecnología biofloc.

Variable	T1	T2	T3
Peso inicial (g)	1,6±0,0	1,6±0,0	1,6±0,0
Peso final (g)	74,3±16,0 ^a	45,9±3,4 ^b	31,9±1,2 ^b
Coef. de variación del peso (%)	22,0±9,3 ^a	13,1±8,1 ^b	8,7±5,6 ^c
Gdp (g/día)	0,6±0,3 ^a	0,4±0,2 ^b	0,2±0,1 ^b
Longitud inicial (cm)	5,0±0,0	5,0±0,0	5,0±0,0
Longitud final (cm)	18,2±1,2 ^a	15,8±0,7 ^b	14,0±0,1 ^b
Gl (cm)	1,6±1,2 ^a	1,4±1,1 ^b	1,1±0,8 ^b
Biomasa (Kg)	1,8±0,1 ^c	2,4±0,1 ^b	3,2±0,0 ^a
Carga (Kg/m ³)	0,3±0,1 ^b	0,4±0,0 ^b	0,5±0,0 ^a
G (%/día)	3,2±0,2 ^a	2,8±0,0 ^b	2,5±0,1 ^b
FCA	1,1±0,1 ^a	1,2±0,1 ^a	1,3±0,1 ^a
K	0,16±0,1 ^a	0,17±0,1 ^a	0,18±0,1 ^a

Letras diferentes en las filas expresan diferencias significativas ($p < 0,05$).

van extensivamente o programas de repoblamiento en cuerpos de aguas naturales. Los primeros estudios sobre el cultivo en fase de engorde esta especie, tienen más de 10 años; en los cuales, la mayoría concluyen que los mejores resultados se consiguen cuando se siembra el bocachico a bajas densidades (1 a 0,3 peces/m²), necesitando hasta dos años para alcanzar peso promedio de 500 g. En el presente estudio, la densidad de siembra de esta especie se incrementó a densidades no evaluadas hasta ahora (5-20 peces/m³); obteniéndose los mejores resultados de crecimiento a la más baja densidad (5 peces/m³); pero sin diferencias en el factor de condición y la sobrevivencia con las más altas densidades evaluadas.

La densidad de siembra es una variable de manejo zootécnico que influye en el crecimiento, sobrevivencia y comportamiento de los animales en cultivo, considerándose que un mayor número de animales producen una mayor biomasa y carga final del sistema [9]. En T3 (20 peces/m³) se presentó la mayor biomasa final (3,2 Kg) y carga final (0,5 Kg/m³), valores dos veces mayor a los obtenidos a 5 peces/m³, en la cual se obtuvo el mayor crecimiento.

Los resultados del presente estudio señalan que la densidad a la que se evaluó el cultivo afectó el crecimiento del bocachico. Los mejores crecimientos se obtuvieron a la menor densidad; aunque a esta densidad se observó mayor heterogeneidad en las tallas (CV=22%, cuadro 1). Sin embargo, se puede sugerir que densidades no superiores a los 10 peces/m³, pueden ser implementadas en los sistemas de cultivo biofloc para esta especie en la fase de pre-engorde, al permitir adecuado desempeño en crecimiento y variables productivas.

En general, el bocachico para alcanzar un peso comercial (~350 g) requiere por lo menos 12 meses de cultivo, aunque no es común evaluar fases de pre-engorde; por lo que no existen reportes previos de cultivo de bocachico en esta fase que permitan su comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio; el cual puede considerarse el primer intento de tecnificación del cultivo de la especie con la tecnología de cultivo biofloc.

García *et al.* [9], evaluaron el policultivo de bocachico y tilapia nilótica en estanques en tierra con superficies fijadoras de perifiton, a densidad de 0,7 peces/m² para bocachico, encontrando un peso promedio al

final de 240 días (ocho meses) de cultivo, entre 110 y 130 g, con rendimiento de 0,02 Kg/m³. En el presente estudio a los 120 días (cuatro meses) el rendimiento del cultivo en los tres tratamientos evaluados fue mayor, con valores entre 0,3 (T1) y 0,5 Kg/m³ (T3); lo cual sugiere la alta productividad y rendimiento del cultivo de bocachico con la tecnología biofloc; por tanto, esta tecnología de cultivo se perfila como una alternativa para la tecnificación del cultivo de esta especie de gran interés comercial en Colombia.

En otras especies del género *Prochilodus* se ha intentado intensificar su cultivo. Della-Rosa *et al.* [23], evaluaron la productividad de *P. lineatus* en estanques con diferentes tipos de fondo, en un pe-

Figura 2. Valores promedio de peso de bocachico en fase de pre-engorde cultivado con tecnología biofloc.

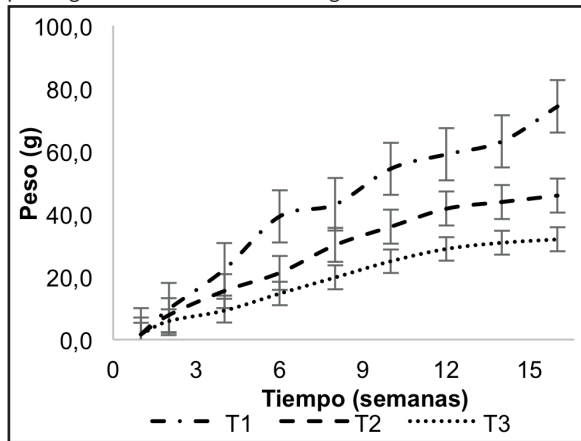
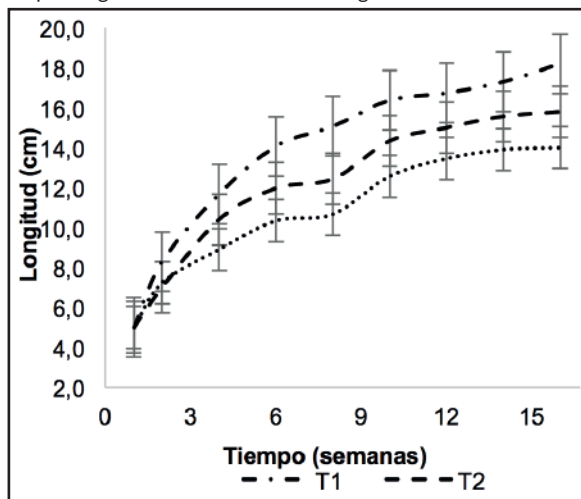


Figura 3. Valores promedio de longitud de bocachico en fase de pre-engorde cultivado con tecnología biofloc.

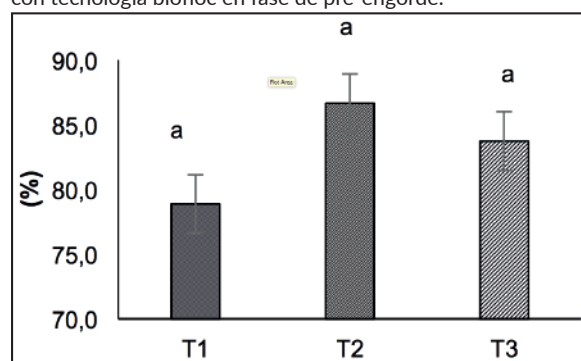


riodo de 340 días y densidad de 5 peces/m², obteniendo peso promedio de 193,8 g, en estanques con fondo en concreto y una carga final de 0,07 Kg/m³. Hahn & Grajales [24], evaluaron el rendimiento de dorada *Brycon moorei* y bocachico en policultivo con tilapia nilótica en un periodo de 233 días; el bocachico alcanzó peso promedio final de 312,6 g, a densidades entre 0,4 y 0,5 peces/m², con rendimiento de 0,03 Kg/m³; valor muy debajo a los obtenidos en el presente estudio.

Con relación a la sobrevivencia obtenida al final del estudio, se obtuvieron valores que oscilaron entre 86,7±4,4% (T2) y 78,9±3,8% (T1) sin observarse diferencia estadística entre estos valores ($p>0.05$) (figura 4). De manera general, la sobrevivencia obtenida en los diferentes tratamientos fue superior a 80%, la cual se considera alta para el cultivo de la especie.

El bocachico cultivado en estanques en tierra bien sea en policultivo o con presencia de superficies fijadoras, registra sobrevivencias menores de 30% [9, 23]. Aunque Della-Rosa *et al.* [22] en cultivos en tanques de concreto registraron sobrevivencias de 80%, similares a las reportadas en el presente estudio. La sobrevivencia en los cultivos con tecnología biofloc es alta y en algunos casos se reportan valores cercanos a 100% [13, 14, 15]. Los buenos resultados de sobrevivencias obtenidos se sugieren como consecuencia del bienestar y adaptación de los animales al sistema de cultivo, lo cual está respaldado por el factor de condición obtenido (cercano a 2,0), lo cual sugiere que esta especie presentó condiciones de bienestar durante el cultivo.

Figura 4. Sobrevivencia final de bocachico cultivado con tecnología biofloc en fase de pre-engorde.



Letras diferentes sobre las barras expresan diferencias significativas ($p<0,05$).

El FCA obtenido (no superior a 1,3) es consecuencia del aprovechamiento adecuado del alimento suministrado o del ramoneo y/o pastoreo ejercido sobre la población planctónica asociada a los floc; sin embargo, en el presente estudio el suministro de alimento comercial con 24%PB, en forma de harina y al considerar la dinámica de reciclado de nutrientes dentro del tipo de sistema implementado, difícilmente se podría establecer su aprovechamiento por parte de la especie, en función de su asimilación y conversión alimenticia. Sin embargo, el peso obtenido al final del cultivo, en comparación a los estudios anteriormente mencionados, denota el rendimiento de la especie bajo estas condiciones de cultivo (mínimo recambio de agua, tanques en concreto con aireación, manejo de sólidos suspendidos), en función de la tecnificación del cultivo de la especie y mejor aprovechamiento de los recursos destinados para la actividad acuícola.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten concluir que el cultivo de bocachico se puede intensificar con la tecnología de cultivo biofloc y los mejores resultados de crecimiento, en la fase de pre-engorde, se obtiene a densidades entre 5 y 10 peces/m³.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba la financiación del presente estudio (Código FMV02-14).

REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma (Italia): 2014.
- [2] LONG, L., YANG, J., LI, Y., CHONGWU, G. and WUA F. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448, 2015, p. 135-14.
- [3] DAY, S.B., SALIE. K. and STANDER H.B. A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Aquaculture International*, 24(5), 2016. p. 1309-1322.

- [4] OLIVEIRA-ALVES, G.F., ARAÚJO- FERNANDES, A.F., RAMOS DE ALVARENGA, E., MALDONADO-TURRA, E., BENVINDO DE SOUSA, A. and DE ALENCAR TEIXEIRA, E. Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479, 2017, p. 564-570.
- [5] VNIMELECH, Y. *Biofloc Technology - A Practical Guide Book*, 3rd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge (USA): 2015.
- [6] CEDANO-CASTRO, M., LUJAN-BULNES, A. and SUÁREZ-MARÍN, H. Crianza de *Oreochromis niloticus* Var chitralada en sistema biofloc en la Empresa Produmar SA. *Guayaquil (Ecuador). Rebiolest*, 1(2), 2013, p. 79.
- [7] GUOZHI, L., QI, G., CHAOHUI, W., WENCHANG, L., DACHUAN, S., LI, L. and HONGXIN, T. 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, 2014, p. 1-7.
- [8] ATENCIO, V., KERGUÉLÉN, E., NAAR, E. and PETRO, R. Desempeño reproductivo del bocachico *Prochilodus magdalenae* inducido dos veces en un mismo año. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 2013, p. 3304-3310.
- [9] GARCÍA, J., CELIS, L., VILLALBA, E., MENDOZA, L., BRÚ, S., ATENCIO, V. y PARDO, S. Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 58(II), 2011, p. 71-83.
- [10] KUBITZA, F. Criação de tilapia em sistema com bioflocos sem renovação de água. *Panorama da Aqüicultura, Brasil*, 21 (125), 2011. p. 14-23.
- [11] APHA/AWWA/WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater. Total solids dried at 103-105°C*. 23 ed. New York (USA): APHA/AWWA/WPCF, 2017, p. 2-70.
- [12] MARTINS, G.B., TAROUÇ, F., ROSA, C.E. and ROBALDO, R.B. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 468, 2017, p. 10-17.
- [13] BRÚ-CORDERO, S.B., PERTÚZ-BUELVAS, V.M., AYAZO-GENES, J.E., ATENCIO-GARCÍA, V.J. and PARDO-CARRASCO, S.C. Bicultivo en biofloc de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* alimentadas con dietas de origen vegetal. *Revista Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 64(1), 2017, p. 44-60.
- [14] LORENZO, M., SOUZA, E., SCHLEDERA, D., REZENDEA, P., SEIFFERTA, W. and VIEIRAA, F. Intensive hatchery performance of Pacific white shrimp in the biofloc system under three different fertilization levels. *Aquacultural Engineering*, 72, 2016, p. 40-4.
- [15] EKASARI, J., RIVANDI, D.R., FIRDAUSI, A.P., SU-RAWIDJAJA, E.H., ZAIRIN JR., M., BOSSIER, P. and DE SCHRYVER, P. Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441, 2015, p. 72-77.
- [16] PÉREZ-FUENTES, J., HERNÁNDEZ-VERGARA, M., PÉREZ-ROSTRO, C. and FOGEL, I.C. N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, 452, 2016, p. 247-51.
- [17] SERRA, F.P., GAONA, C.A.P., FURTADO, P.S., POERSCH, L.H. and WASIELESKY, W. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and growout culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International*, 23, 2015, p. 1325-1339.
- [18] SCHVEITZER, R., ARANTES, R., COSTÓDIO, P., ESPÍRITO-SANTO, C., ARANA, LV., SEIFFERT, W. and ANDREATA, E. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquaculture Engineering*, 56, 2013, p. 59-70.
- [19] MELLO-PINHO, S., MOLINARI, D., LEMOS DE MELLO, G., FITZSIMMONS, K.M. and EMERENCIANO, M.G. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103, 2017, p. 146-153.
- [20] AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264, 2007, p. 140-147.

- [21] ATENCIO-GARCÍA, V.J., ESPINOSA, J.A., MARTÍNEZ, J.G. and PARDO-CARRASCO, S.C. Insemination of bocachico fish (*Prochilodus magdalenae*) with fresh or cryopreserved semen: effect of spermatozoa/oocyte ratio. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28(4), 2015, p. 347-355.
- [22] ATENCIO, V., KERGUELÉN E., NAAR, E, y PETRO, R. Desempeño reproductivo del bocachico *Prochilodus magdalenae* inducido dos veces en un mismo año. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 2013, p. 3304-3310.
- [23] DELLA-ROSA, P., ROUX, J., SÁNCHEZ, S., ORTIZ, J. y DOMITROVIC, H. Productividad del sábalo *Prochilodus lineatus* cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. *Revista Veterinaria*, 25(2), 2014, p. 126-30.
- [24] HAHN, C. and GRAJALES, A. comportamiento de dos especies nativas, dorada *Brycon moorei* y bocachico *Prochilodus reticulatus* sembradas en condiciones artificiales de cultivo, en policultivo con tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* (Santagueda, Caldas-Colombia). *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2, 2007, sp.