

## Potencialidad del cultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* con tecnología biofloc

### Potential of the bocachico *Prochilodus magdalenae* culture with biofloc technology

### Potencialidade do cultivo bocachico *Prochilodus magdalenae* com tecnologia bioflocos

Recibido: 15 de junio de 2021

Aprobado: 29 de julio de 2021

**Luis C. Mendoza<sup>1</sup>,**Acu; **Vicente Pertuz-Buelvas,**Acu, Esp, MSc;  <https://orcid.org/0000-0002-1916-4262>**José Espinosa-Araujo<sup>3</sup>,**Acu, MSc;  <https://orcid.org/0000-0001-9737-1163>**Víctor J. Atencio-García<sup>4</sup>,**Ing P, Esp, MSc;  <https://orcid.org/0000-0002-2533-1995>**Martha J. Prieto-Guevara<sup>5</sup>,**Biol Mar, PhD;  <https://orcid.org/0000-0003-3458-4983>

<sup>1</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Acuicultura, Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Email: [lmendoza@correo.unicordoba.edu.co](mailto:lmendoza@correo.unicordoba.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Acuicultura, Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Email: [vpertuz@correo.unicordoba.edu.co](mailto:vpertuz@correo.unicordoba.edu.co)

<sup>3</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Acuicultura, Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Email: [jaespinosaaraujo@correo.unicordoba.edu.co](mailto:jaespinosaaraujo@correo.unicordoba.edu.co)

<sup>4</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Acuicultura, Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Email: [vatencio@correo.unicordoba.edu.co](mailto:vatencio@correo.unicordoba.edu.co)

<sup>5</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Acuicultura, Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC). Email: [mprieto@correo.unicordoba.edu.co](mailto:mprieto@correo.unicordoba.edu.co)



Este artículo se encuentra bajo licencia:  
Creative Commons Reconocimiento-  
NoComercial- SinObraDerivada 4.0  
Internacional

Orinoquia, Julio-Diciembre 2021;25(2): 25-39  
ISSN electrónico: 2011-2629  
ISSN impreso: 0121-3709  
<https://doi.org/10.22579/20112629.706>

### Resumen

*Prochilodus magdalenae* es una especie endémica de Colombia, se le considera la principal especie de la pesquería continental colombiana por sus volúmenes de captura y relevancia para la economía de los pescadores. Se le considera una especie de importancia para la piscicultura de seguridad alimentaria, sin embargo, por su hábito alimenticio (iliófagos detritívoro) el cultivo se realiza a bajas densidades (<1pez/m<sup>2</sup>) en grandes espejos de agua y con bajo desempeño productivo. Es común su cultivo asociado con especies omnívoras como cachamas (*Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* y *Piaractus orinoquensis*) y tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* spp). En un intento por su intensificación se evaluó su cultivo con la tecnología biofloc (BFT); para lo cual se evaluaron tres densidades de siembra (5, 10, 20 peces/m<sup>3</sup>) durante diez meses. Los resultados sugieren que la densidad de siembra influyó en su crecimiento, mientras que la sobrevivencia estuvo por encima del 80% en todos los tratamientos. El *P. magdalenae* durante el cultivo se mantuvo en el fondo del tanque de cultivo donde se identificó materia orgánica e inorgánica de color oscuro parecido al lodo que se genera en los estanques de cultivos en tierra; lo cual sugiere que el comportamiento alimenticio de la especie pudo incidir en la baja formación de los flóculos, cuyos valores fueron inferiores a los usualmente reportados en BFT. Se concluye que el cultivo de *P. magdalenae* es posible en BFT, pero se requieren más investigaciones para ajustar la especie a este sistema intensivo de cultivo.

**Palabras clave:** crecimiento, peces nativos, piscicultura, sobrevivencia, sostenibilidad

### Abstract

*Prochilodus magdalenae* is an endemic species of Colombia, it is considered the main species of the Colombian continental fishery due to its catch volumes and relevance for the fishermen's economy. It is considered an important species for fish farming to food safety. However, due to its feeding habit (iliophagous detritivore) the farming methods is carried out at low stocking densities (<1 fish/m<sup>2</sup>) in large bodies of water and with low productive performance. Its cultivation is common in association with omnivorous species such as cachamas (*Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* and *Piaractus orinoquensis*) and tilapia (*Oreochromis niloticus* and *Oreochromis* spp). In an attempt to intensify its cultivation was evaluated with biofloc technology (BFT); for which three stocking densities (5,10, 20 fish/m<sup>3</sup>) were evaluated for ten months. The results suggest that the stocking density influenced its

### Como Citar (Norma Vancouver):

Mendoza LC, Pertuz-Guevara V, Atencio-García VJ, Prieto-Buelvas MJ. Potencialidad del cultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* con tecnología biofloc. Orinoquia, 2021;25(2): 25-39. <https://doi.org/10.22579/20112629.706>

growth, while survival was above 80% in all treatments. During cultivation, *P. magdalenae* remained at the bottom of the culture tank, where dark-colored organic and inorganic matter was identified, similar to the sludge generated in earthen culture ponds; which suggests that the feeding behavior of the species could influence the low formation of flocs, whose values were lower than those usually reported in BFT. It is concluded that the cultivation of *P. magdalenae* is possible in BFT, but more research is required to adjust the species to this intensive cultivation system.

**Key words:** growth, native fish, fish culture, survival, sustainability

## Resumo

*Prochilodus magdalenae* é uma espécie endêmica da Colômbia, considerada a principal espécie da pesca continental colombiana devido aos seus volumes de captura e relevância para a economia dos pescadores. É considerada uma espécie importante para a piscicultura para segurança alimentar, porém, devido ao seu hábito alimentar (detritívoro iliófago) o cultivo é realizado em baixas densidades (<1 peixe/m<sup>2</sup>) em grandes corpos d'água e com baixo desempenho produtivo. Seu cultivo é comum em associação com espécies onívoras como cachamas (*Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* e *Piaractus orinoquensis*) e tilápias (*Oreochromis niloticus* e *Oreochromis* spp). Na tentativa de sua intensificação, seu cultivo foi avaliado com a tecnologia de bioflocos (BFT); para os quais três densidades de estocagem (5,10, 20 peixes/m<sup>3</sup>) foram avaliadas por dez meses. Os resultados sugerem que a densidade de estocagem influenciou seu crescimento, enquanto a sobrevivência foi superior a 80% em todos os tratamentos. Durante o cultivo, *P. magdalenae* permaneceu no fundo do tanque de cultivo, onde foi identificada matéria orgânica e inorgânica de coloração escura, semelhante ao lodo gerado em viveiros de cultivo na terra; o que sugere que o comportamento alimentar da espécie poderia influenciar na baixa formação de flocos, cujos valores foram inferiores aos normalmente reportados em BFT. Conclui-se que o cultivo de *P. magdalenae* é possível em BFT, porém mais pesquisas são necessárias para adequar a espécie a este sistema de cultivo intensivo.

**Palavras chaves:** crescimento, peixes nativos, piscicultura, sobrevivência, sustentabilidade

## Introducción

Bocachico *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1879) es una especie endémica de Colombia, distribuida en las cuencas Magdalena-Cauca, Atrato y Sinú. Se le considera la principal especie de la pesquería continental colombiana por sus volúmenes de captura e importancia comercial (Mojica *et al.*, 2012). Por su hábito alimenticio (iliófago detritívoro) tiene importancia en la piscicultura, ya que es de las pocas especies que no requiere alimento balanceado durante su engorde; además, de las especies nativas es la que tiene mayor avance en la tecnología de producción masiva de alevinos durante todo el año (Atencio-García, 2003). Su cultivo se ha expandido, y según la CCI (2010) para 2005 la producción se estimó en 2.545 ton; sin embargo, esta cifra se considera un subregistro por las debilidades del sistema estadístico de pesca y acuicultura colombiano (Ocampo *et al.*, 2010)

Debido a su régimen alimentario *P. magdalenae* se cultiva de manera extensiva, a densidades menores de 1 pez/m<sup>2</sup> en grandes reservorios, usualmente con pobre calidad de agua, sin suministro de alimentos balanceados y con baja o ninguna tecnificación. Es común su cultivo asociado con especies omnívoras como cachamas (*Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* y *Piaractus orinoquensis*) y tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* spp), donde aprovecha restos de materia orgánica, alimento y desechos en el fondo

de los estanques (García *et al.*, 2011). En Colombia, la carne de *P. magdalenae* posee mayor valor comercial frente a especies omnívoras (cachama, tilapia), sin embargo, el lento crecimiento y la poca productividad por área, no lo hacen atractivo para los productores que deben emplear grandes cuerpos de agua.

La acuicultura viene desarrollando sistemas de cultivo más intensivos y sostenibles, como la recirculación (RAS) y la tecnología biofloc (BFT), en la búsqueda de mejorar la productividad por área de diferentes especies de peces cultivadas. La BFT, además de soportar altas densidades de siembra, es mucho más eficiente en el uso del recurso hídrico y, promueve el reciclado de nutrientes de manera continua a través de un consorcio de bacterias (autótrofas y heterótrofas) que degradan el nitrógeno inorgánico, a compuestos menos tóxicos o lo transforman en flóculos microbianos, con lo cual se mantiene la calidad del agua, se reduce la necesidad de recambio y la descarga de nutrientes (Vinatea *et al.*, 2010, Crab *et al.*, 2012).

Los flóculos bacterianos, macro agregados, biomasa microbiana o bioflocs, se producen por la actividad heterótrofa a partir del nitrógeno inorgánico disuelto y la adición de fuentes de carbono orgánico. Esta biomasa microbiana que contiene macro y micronutrientes se disponibiliza como alimento *in situ* para organismos acuáticos capaces de consumir partículas pequeñas (Yao *et al.*, 2018; Crab *et al.*, 2012; Dauda, 2020), con-

dición propia de *P. magdalenae*, especie iliófoga-detritívora que podría aprovechar la abundante biomasa de microorganismos presentes en el biofloc.

Por sus ventajas, la BFT se perfila como alternativa para la producción intensiva y amigable con el medio ambiente (Kuhn *et al.*, 2010, Collazos-Lasso y Arias-Castellanos 2015, Palma *et al.*, 2018) con un futuro promisorio en la acuicultura por la eficiencia en la intensificación de la producción (Quintero *et al.*, 2013). Aunque son pocas las especies de peces detritívoros evaluadas en BFT, recientemente Arana (2017) reportó carga final de 4.6 Kg/m<sup>3</sup> para *Mugil cephalus*, mientras que Machuca (2018) alcanzó 10.3 Kg/m<sup>3</sup> para *Dormitator latifrons*.

La BFT es una alternativa de producción encaminada hacia la sostenibilidad, desarrollo y crecimiento de la piscicultura de muchas especies nativas, entre sus bondades se destaca la reducción de espacio, uso eficiente del agua y posibilidad de alimento *in situ* (biofloc), justifican la transferencia de esta tecnología al cultivo intensivo de una especie iliófoga-detritívora; por lo anterior, y en un intento por mejorar la productividad por área, el objetivo del estudio fue evaluar el potencial de la tecnología biofloc en el cultivo de *P. magdalenae* a altas densidades de siembra.

## Materiales y métodos

### Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el Instituto de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba (CINPIC) ubicado en Montería (Córdoba, Col) con coordenadas 8°48' norte y 75° 52' oeste, altitud de 15 msnm, temperatura promedio anual de 27.5°C, humedad relativa de 85% y precipitación de 1100 mm.

### Material biológico y tratamientos

Alevinos de *P. magdalenae* de 1.6±0.5 g fueron sembrados a tres densidades de siembra: 5 (T1), 10 (T2), 20 peces/m<sup>3</sup> (T3) en unidades con tecnología biofloc (BFT), cada tratamiento se realizó por triplicado. Las unidades eran tanques de concreto (6m x 2m x 1m) con volumen útil de 7.7 m<sup>3</sup>, con aireación permanente, generada por un blower de 1.5 HP (145 m<sup>3</sup>/h) y distribuida por mangueras polidifusoras. Para reducir la entrada de la luz y protección contra predadores, los tanques se recubrieron con malla poli-sombra de 80%.

El biofloc fue preparado dos semana antes de la siembra de los peces, para lo cual se utilizó agua superficial de estanques en tierra de uso piscícola del CINPIC, alimento seco comercial para peces y melaza como fuente de carbono para mantener la relación C:N cercana a 20:1. La cantidad de melaza (g/día) se estimó con la siguiente ecuación (Kubitza, 2011):

Melaza = NT \* [relación C:N óptima para biofloc (20:1) - relación C:N por aporte de alimento (12:1 para 24% PB)]

Donde NT correspondió a la cantidad de nitrógeno total (NT) en el cultivo (mg/L), la cual se estimó con la siguiente ecuación:

NT= [(cantidad de N-NO<sub>4</sub><sup>+</sup> + cantidad de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) \* vol. de agua]/1000

Durante los primeros 45 días de cultivo se suministró alimento (24% PB) a saciedad dos veces al día, luego una sola ración hasta el final del cultivo. La ración se estimó con base al 8% de la biomasa y fue ajustada en los muestreos mensuales de crecimiento.

### Evaluación del crecimiento

Mensualmente se tomó una muestra del 10% de los peces de cada unidad experimental y se midió longitud total (Lt) y peso total (Pt). Con los valores biométricos se estimó ganancia de peso (Gp), ganancia de longitud (Gl), ganancia diaria de peso (Gdp) y tasa específica de crecimiento (G); y las variables de productividad como biomasa final (Bf), ganancia en biomasa (GB), productividad, sobrevivencia (S) y factor de conversión alimenticia (FCA) con las siguientes ecuaciones (Bru *et al.*, 2017):

Gl = Lt - Lt<sub>i</sub>, donde Lt<sub>f</sub> es longitud total promedio final y Lt<sub>i</sub> es longitud total promedio inicial (cm).

Gp = Pf - Pi, donde Pf es peso promedio final y Pi es peso promedio inicial (g).

Gdp = Gp/t, donde t es el tiempo de cultivo (días).

G = (Ln Pf - Ln Pi/t)\*100, donde Ln es logaritmo natural.

S = (Nf/Ni)\*100, donde Nf es el número final de peces y Ni el número inicial

Bf = Pf \* Nf

$GB = B_i - B_f$ , donde  $B_i$  es biomasa inicial y  $B_f$  biomasa final (Kg)

Productividad =  $GB/V$ , donde  $V$  es el volumen útil de las unidades ( $m^3$ )

FCA =  $CAS/GB$ , donde CAS es la cantidad de alimento suministrado (Kg)

### Comunidades planctónicas

La evaluación cualitativa y cuantitativa de los microorganismos asociados a los flóculos microbianos se realizó quincenalmente. De cada unidad experimental se tomaron cinco sub-muestras de floc de 50 ml, en cinco puntos distintos de cada unidad de cultivo; luego fueron homogeneizadas en un Erlenmeyer de 250 ml.

Para la cuantificación de las microalgas se tomó una alícuota de 1 ml y se colocó en una cámara Sedgewick-Rafter (Azim y Little, 2008) se observó con un microscopio óptico (Carl Zeiss, Axiostar, Alemania) e invertido de contraste de fase (Carl Zeiss, Primo Vert, Alemania) con objetivos entre 10x y 40x. Así mismo para la cuantificación de la microfauna (ciliados, rotíferos, nemátodos) se tomaron tres muestras de 10 ml de agua que se fijaron con formalina al 5%, y luego se observaron con microscopio óptico e invertido de contraste de fase (10x y 40x).

Para la identificación de especies de los diferentes grupos del plancton se tomaron microfotografías y se midieron estructuras claves con la ayuda de un analizador de imágenes (Carl Zeiss, Axio-vision 4, Alemania) y se compararon con las claves taxonómicas descritas por Streble y Krauter (1987), Yacubson (1969; 1974), Boltovskoy (1978), Balech (1988), Taylor (1976) y Vidal-Martínez (1995).

La abundancia de microorganismos por ítems (A) identificado se determinó con la ecuación (Ayazo *et al.*, 2019):

$A = [(V_{cf} * N_i) / V_{ti}] * V_m$ , donde  $V_{cf}$  es el volumen de la concentración,  $N_i$  es el número de individuos contados,  $V_{ti}$  es el volumen total inicial y  $V_m$  es el volumen de la muestra analizada.

### Calidad de agua

Para la evaluación de la calidad del agua, una vez al día, se midió oxígeno disuelto (YSI, 550A, USA), pH y

temperatura (YSI, pH100, USA). La medición de amonio total, nitrito y nitrato se realizó semanalmente con ayuda de un fotómetro (YSI, 9500, USA), al igual que para las mediciones de dureza y alcalinidad total. Los sólidos sedimentables (SS) o volumen del floc, se determinaron tomando una muestra de 1000 ml de agua del tanque de cultivo en conos Imhoff; el volumen del floc acumulado en el fondo del cono se estimó después de 15 minutos de la toma de la muestra (Avni-melech, 2007).

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) y a todas las variables estudiadas (calidad de agua, desempeño productivo, cuantificación del plancton) se les evaluó los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene). Luego se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Rango Múltiple de Tukey. 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 (SAS Institute Inc).

### Resultados

#### Desempeño zootécnico

La tabla 1, muestran los valores de las variables zootécnicas evaluadas durante 10 meses del cultivo de *P. magdalenae* en sistema biofloc a diferentes densidades de siembra. En T1 (5 peces/ $m^2$ ) se registró mayor desempeño en Gp, Gpd y G, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, entre T2 (10 peces/ $m^2$ ) y T3 (20 peces/ $m^2$ ) no se observó diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) en Gp y Gpd; mientras que la G disminuyó a medida que aumentó la densidad de siembra ( $p < 0.05$ ).

El crecimiento promedio mensual de peso y de longitud total de *P. magdalenae* se muestra en las figuras 1 y 2. Los peces de T1 presentaron mayor peso y longitud total. El comportamiento del peso durante los primeros tres meses no presentó diferencias; sin embargo, a partir del cuarto mes, el peso promedio de T1 fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) a los otros tratamientos. La longitud total solo mostró diferencia significativa al final del cultivo ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 1.** Desempeño zootécnico del cultivo de bocachico con tecnología biofloc durante 10 meses. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>. Gp, ganancia de peso; Gdp, ganancia diaria de peso; G, tasa específica de crecimiento; Gl, ganancia de longitud; FCA, factor de conversión alimenticia. Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística (p<0.05).

Variable	T1	T2	T3
Peso final (g)	149.5±29.3 <sup>a</sup>	75.7±7.8 <sup>b</sup>	52.0±6.4 <sup>b</sup>
Gp (g)	147.9±23.9 <sup>a</sup>	74.1±7.8 <sup>b</sup>	50.4±6.4 <sup>b</sup>
Gdp (g)	0.49±0.1 <sup>a</sup>	0.25±0.03 <sup>b</sup>	0.11±0.1 <sup>b</sup>
G (%/día)	16.6±0.6 <sup>a</sup>	14.3±0.4 <sup>b</sup>	13.1±0.4 <sup>c</sup>
Longitud final (cm)	22.5±1.2 <sup>a</sup>	18.2±0.4 <sup>b</sup>	16.3±0.6 <sup>b</sup>
Gl (cm)	17.5±1.2 <sup>a</sup>	13.2±0.4 <sup>b</sup>	11.3±0.6 <sup>b</sup>
Sobrevivencia (%)	86.7±17.6 <sup>a</sup>	90.0±6.0 <sup>a</sup>	82.1±4.1 <sup>a</sup>
Biomasa final (Kg)	4.5±0.9 <sup>b</sup>	4.5±0.5 <sup>b</sup>	6.2±0.8 <sup>a</sup>
Ganancia de biomasa (Kg)	4.4±0.9 <sup>a</sup>	4.4±0.5 <sup>a</sup>	6.0±0.8 <sup>a</sup>
FCA	16.4±3.0 <sup>a</sup>	21.8±2.3 <sup>a</sup>	33.4±17.9 <sup>a</sup>
Productividad (Kg/m <sup>3</sup> )	0.07±0.02 <sup>a</sup>	0.04±0.02 <sup>a</sup>	0.01±0.03 <sup>a</sup>

### Sobrevivencia y productividad

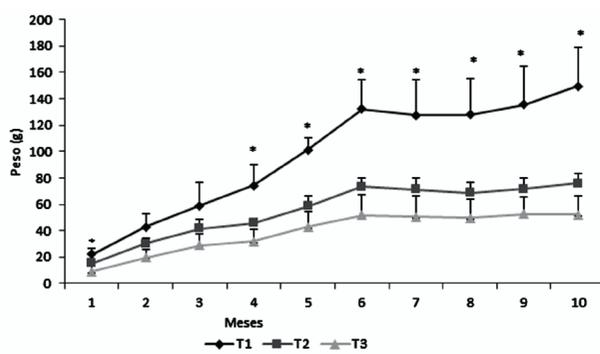
La sobrevivencia final osciló entre 82.1±4.1% (T3) y 90.0±6.0% (T2) sin observarse diferencia estadística entre estos valores (p>0.05), igual comportamiento estadístico presentó el FCA, que osciló entre 16.4±3.0 (T1) y 33.4±17.9 (T3) y la productividad con valores entre 0.01±0.03 (T3) y 0.07±0.02 Kg/m<sup>3</sup> (T1) (tabla 1).

La mayor biomasa final se registró en T3 (6.2±0.8 Kg) siendo estadísticamente diferente a los otros trata-

mientos (p<0.05); mientras que, la ganancia en biomasa osciló entre 6.0±0.8 Kg (T3) y 4.4±0.9 Kg (T1) sin observarse diferencia significativa entre tratamientos (p>0.05) (tabla 1).

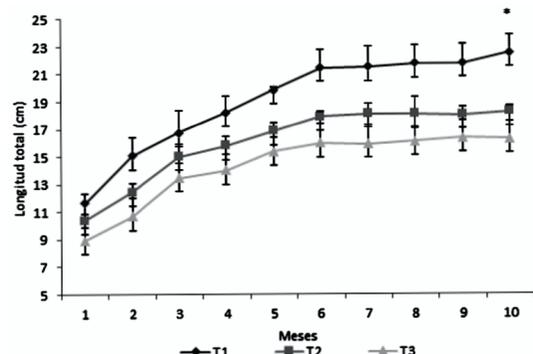
### Comunidades de microorganismos asociados al biofloc

La tabla 2, muestra los grupos del zooplancton y su abundancia durante el cultivo de *P. magdalenae* con



**Figura 1.** Pesos promedios mensuales de bocachico *P. magdalenae* cultivado a diferentes densidades de siembra con tecnología biofloc. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.

\* denota diferencia estadística entre tratamiento (p<0.05).



**Figura 2.** Longitud total promedio mensual de bocachico *P. magdalenae* cultivado a diferentes densidades de siembra con tecnología biofloc. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.

\* denota diferencia estadística entre tratamiento (p<0.05).

**Tabla 2.** Abundancia promedio del zooplancton (ind/ml) identificado en el cultivo *P. magdalenae* con tecnología biofloc. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.

Zooplancton	Tratamientos (ind/ml)		
	T1	T2	T3
<b>Rotíferos</b>			
<i>Euchlanis sp.</i>	21.8±47.1	20.5±37.6	14.4±23.8
<i>Lecane luna</i>	43.0±98.6	45.9±109.7	29.9±51.4
<i>Lecane sp.</i>	26.3±49.9	13.1±20.1	17.4±40.1
<i>Blepharisma undulans</i>	0.3±2.5		0.2±1.8
<i>Mytilina videns</i>	31.6±74.5	23.4±50.9	27.7±53.2
<i>Colurella sp.</i>	2.8±8.3	0.7±3.1	1.8±5.5
<i>Colurella uncinata</i>	1.3±4.7	1.2±5.9	0.9±4.8
<i>Philodina sp.</i>	1.3±4.5	0.7±1.9	1.4±6.0
<i>Habratrocha sp.</i>	13.6±38.7	8.4±20.8	7.4±22.7
<i>Habrotrocha lata</i>	21.0±49.6	14.6±28.9	8.4±20.0
<i>Rotaria sp.</i>	0.7±1.7	0.8±2.1	0.5±1.3
<i>Brachionus havanaensis</i>	3.1±6.1	1.9±4.5	1.6±3.8
<i>Gastropus sp.</i>	0.5±1.4	0.4±1.4	0.6±1.9
<i>Mytilina sp.</i>	2.4±18.9		0.2±1.3
<i>Polyarthra sp.</i>			0.1±0.4
<i>Keratella sp.</i>			0.3±1.7
Promedio grupo	12.12±29.03	10.96±23.90	7.05±14.98
<b>Anélidos</b>			
<i>Aelosona sp.</i>	3.7±5.5	3.6±4.4	10.1±5.1
<i>Monhystera similis</i>	5.7±18.2	2.5±5.2	1.6±4.5
Promedio grupo	4.7±11.85	3.05±4.8	11.7±4.5
<b>Cladóceros</b>			
<i>Alona sp.</i>	4.9±10.4	2.6±3.9	2.3±3.0
<i>Moina sp.</i>	3.8±5.9	3.0±4.9	2.5±4.4
Promedio grupo	4.35±8.15	2.8±4.4	2.4±3.7
<i>Ciliados</i>			
<i>Strombilidium sp.</i>	0.4±3.0	0.1±1.0	0.1±0.6
<i>Vorticellas sp.</i>	9.7±28.9	4.5±11.2	5.7±18.7
<i>Stombidium sp.</i>	0.4±2.0	0.1±0.7	0.4±2.5
<i>Euplotes charon</i>		0.2±1.1	
<i>Euplotes patella</i>		0.3±1.4	0.2±0.7
<i>Paramecium sp.</i>	22.3±39.8	12.4±17.7	6.9±11.4
<i>Pleuronema crassum</i>	0.1±0.8		
<i>Tokoprya infusionum</i>		3.9±19.9	1.8±10.3
<i>Gymnophrys cometa</i>		0.1±0.5	4.9±27.4
<i>Paramecium trichium</i>	0.2±1.3		
Promedio grupo	5.51±12.63	2.7±6.68	2.8±10.2

Zooplancton	Tratamientos (ind/ml)		
	T1	T2	T3
<b>Rotíferos</b>			
<b>Protista</b>			
<i>Arcella vulgaris</i>	37.6±67.4	49.2±113.2	41.0±82.9
<i>Euglypha acanthophora</i>	11.6±40.5	9.9±29.3	6.7±22.6
<i>Euglypha alveolata</i>	79.6±117.2	59.3±94.2	52.7±81.0
<i>Nebela sp.</i>	36.0±74.4	28.1±66.6	27.6±59.1
<i>Centropxyxis aculeata</i>	1.8±8.7	2.2±9.2	2.0±8.8
<i>Euglena sp.</i>	4.2±16.5	3.7±9.5	3.0±9.9
<i>Arcella megastoma</i>	0.6±5		
<i>Raphidocystis tubifera</i>			1.7±6.4
<i>Metachaos gratum</i>	0.3±2.0		
<i>Nebela collaris</i>	0.3±2.4		
Promedio grupo	19.11±37.12	25.4±53.66	19.24±36.67
<b>Copépodos</b>			
<i>Ciclopoides sp.</i>	3.8±6.3	2.9±6.4	2.6±4.3
<b>Amebas</b>			
<i>Astromoeba radiosa</i>	1.9±4.7	1.6±4.3	1.0±2.8

tecnología biofloc. En T1 los protistas (19.1±37.1 ind/ml) y rotíferos (12.1±29.0 ind/ml) fueron los grupos del zooplancton más abundante. También en T2 se encontró que protistas (25.4±53.7 ind/ml) y rotíferos (11.0±23.9 ind/ml) fueron los más abundantes; mientras que en T3 los protistas (19.2±36.7 ind/ml) fueron seguidos por los anélidos (11.7±4.5 ind/ml). Las especies de protistas, como *Euglypha alveolata*, *Nebela sp.* y *Arcella vulgaris* fueron las más abundantes; mientras que en rotíferos fueron *Mytilina videns*, *Lecane luna*, *Lecane sp.*, *Euchlanis sp.*, *Habrotrocha lata* y *Habrotrocha sp.*; en ciliados lo fueron *Paramecium sp.* y *Vorticella sp.* y en anélidos *Monhystera similis* y *Aelosona sp.*

La tabla 3 muestra la abundancia de especies del fitoplancton. Las microalgas más abundantes fueron *Crucigenia quadrata*, *Scenedesmus securiformis*, *Ankistrodesmus sp.*, *Scenedesmus javanaensis*, *Monoraphidium komarkova* y *Coelosphaerium sp.* en todos los tratamientos.

### Calidad del agua

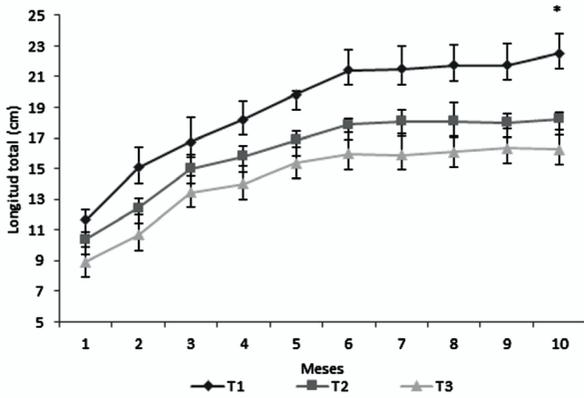
Los valores promedios de sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, temperatura, pH, alcalinidad y dureza total, en los diferentes tratamientos se muestran en la

tabla 4. Ninguna de los parámetros analizados mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

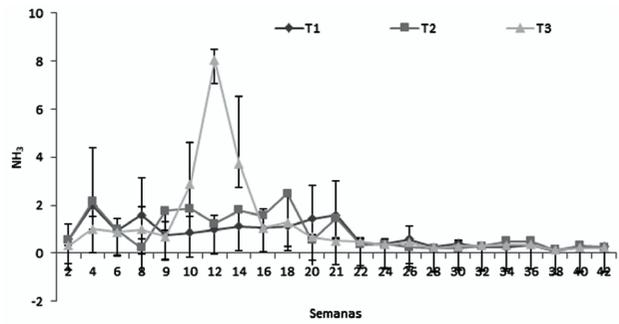
En la figura 3, se muestran los valores promedio semanales de NAT (nitrógeno amoniacal total). El mayor valor de NAT (17.8±1.0 mg/L) se presentó en el T3 durante la semana doce, durante la cual también se presentó el mayor registro de NH<sub>3</sub> (8.05±0.4 mg/L) para el mismo tratamiento (Figura 4). En la figura 5 se muestran los valores promedios semanales de nitritos, los cuales oscilaron entre 0.01±0.0 mg/L (T3) y 1.81±2.6 mg/L (T3), mientras que en la figura 6, se observan los valores promedios semanales de nitratos.

### Discusión

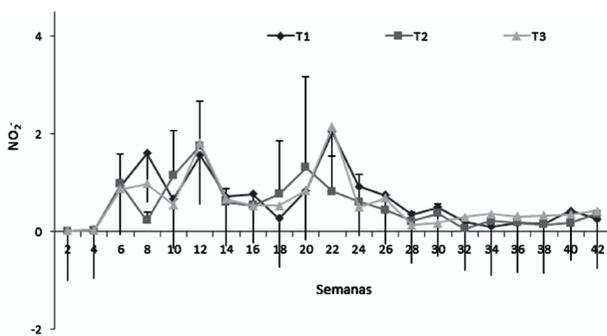
La densidad de siembra adecuada de cualquier organismo de cultivo, es aquella que propicia aumentos significativos en su crecimiento, pero además confiere salud y bienestar animal representados en buen desempeño productivo con condiciones óptimas de calidad de agua (Van Der Nieuwegiessen et al., 2008). En el presente estudio el análisis del crecimiento (Gp, Gl, Gpd y G) muestran que los mejores resultados se presentaron a la menor densidad evaluada (5 peces/m<sup>3</sup>), lo cual sugiere que por encima de esta densidad se afectó el crecimiento de *P. magdalenae* en las con-



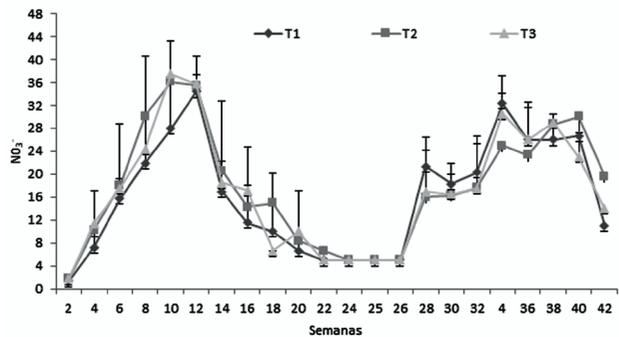
**Figura 3.** Valores promedio de nitrógeno amoniacal total (NAT) durante los diez meses del cultivo de bocachico con tecnología biofloc a diferentes densidades de siembra. T1=5; T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.



**Figura 4.** Valores promedio semanal de amonio (NH<sub>3</sub>) durante diez meses de cultivo de bocachico en sistema biofloc a diferentes densidades de siembra. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.



**Figura 5.** Valores promedio de nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) durante diez meses de cultivo de bocachico en sistema biofloc a diferentes densidades de siembra. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.



**Figura 6.** Valores promedio de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) durante diez meses de cultivo de bocachico en biofloc a diferentes densidades de siembra. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.

diciones del estudio. La densidad de siembra afecta la sobrevivencia, el crecimiento y comportamiento en cultivo; variables que en su conjunto determinan la productividad y rendimiento de la especie cultivada (Luz y Zaniboni-Filho, 2002; Martinelli *et al.*, 2013).

El cultivo de *P. magdalena* en estanque en tierra a densidades entre 0.3 y 1 peces/m<sup>2</sup> y pobre calidad del agua, muestran que se requieren hasta dos años para alcanzar peso promedio de 500 g (Atencio-García *et al.*, 2003). Sin embargo, en el presente estudio se alcanzó peso promedio de 149.5 g cuando se sembraron 5 peces/m<sup>3</sup>; es decir, densidad entre cinco y 15 veces mayor a las empleadas en estanques en tierra. García *et al.* (2011) reportaron resultados muy parecidos al presente estudio, con ganancia en peso de 137.5 g (0.6 g/día) y longitud total de 17.3 cm para *P.*

*magdalena* cultivado por ocho meses en estacas en tierra, con tilapia nilótica a densidad de 3.3 peces/m<sup>3</sup> y alimentados con dietas de 20 y 25% de PB.

El desempeño del crecimiento de diferentes especies del género *Prochilodus*, al parecer, está altamente influenciado por el tipo de fondo de la unidad del cultivo, en este sentido, Costa *et al.* (2015) encontraron que *Prochilodus cearaensis* creció mejor (140 g en diez meses) en jaulas colocadas en estanques con fondo de barro, que los cultivados en tanques de cemento y acuarios. Considerando que el presente estudio se desarrolló por 10 meses, en tanques con fondo de concreto, se sugiere un rendimiento adecuado en las condiciones del cultivo, principalmente en función del mantenimiento de las variables (densidad, compuestos nitrogenados, relación C:N, entre otras) que integran el cultivo biofloc.

**Tabla 3.** Abundancia promedio del fitoplancton (ind/ml) identificado en el cultivo *P. magdalenae* con tecnología biofloc. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>.

Microalgas	Tratamientos (ind/ml)		
	T1	T2	T3
<i>Actinastrum sp.</i>		0.3±1.6	
<i>Anabaena sp.</i>	4.6±6.4	4.0±6.4	3.1±6.8
<i>Anabaena sphaerica</i>	2.8±6.2	1.7±4.8	2.7±8.6
<i>Ankistrodesmus acicularis</i>	1±7.3	0.3±2.1	
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	14.1±21.4	14.1±20.5	11.5±24.3
<i>Coelosphaerium sp.</i>	9.2±22.3	6.4±17.9	7.4±17.6
<i>Crucigenia quadrata</i>	24±65.4	20.9±49.3	20.5±41
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	2.3±7.6	1.4±5.9	2.1±9.4
<i>Dactylococcopsis acicularis</i>	0.3±1.3	2.6±9.2	0.8±3.2
<i>Diatoma hiemale</i>		0.1±0.5	
<i>Diatoma mesodon</i>	0.3±1.3	0.1±0.3	0.3±1.1
<i>Diatoma sp.</i>	0.1±0.8		
<i>Gonium pectorale</i>		0.1±0.8	0.4±3
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	0.8±2.6	0.3±1.3	0.4±2.1
<i>Microspora quadrata</i>	6.2±18.2	8.1±24.9	3.7±9.3
<i>Monoraphidium contortum</i>	7.7±18.4	4.0±10.7	8.9±25.3
<i>Monoraphidium komarkova</i>	10.9±48.4	6.2±16.8	17±56.7
<i>Oscillatoria sp.</i>		3±2.5	
<i>Pediastrum clathratum</i>	0.1±0.7	0.1±0.4	
<i>Pediastrum sp.</i>		0.1±0.4	
<i>Pediastrum tetras</i>	0.4±2.6		0.2±1.1
<i>Pinnularia sp.</i>	1.6±4.9	2.4±8.1	0.8±2.5
<i>Rhizosolenia sp.</i>	2.5±6.1	1.5±3.9	1.3±3
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	3.4±6.2	7.8±16.6	3.5±7.3
<i>Scenedesmus javanaensis</i>	12±18.8	10.9±17.8	10.8±23.9
<i>Scenedesmus platydiscus</i>			0.2±1.4
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	5.9±16.9	3.3±14.7	2.2±0.20
<i>Scenedesmus rectangularis</i>			0.2±1.8
<i>Scenedesmus securiformis</i>	19.1±45.5	11.8±21.9	14±30.9
<i>Staurastrum boreale</i>	0.1±0.5	0.1±1	
<i>Staurastrum gracile</i>	0.1±0.8		0.2±0.7
<i>Staurastrum sp.</i>	0.1±0.8	0.2±0.5	0.1±1
<i>Staurodesmus extensus</i>	2.2±3.7	3.1±5.3	2.2±4.6
<i>Stauroneis sp.</i>	0.2±0.5	2.9±6.6	0.2±0.7
<i>Tetraedron caudatum</i>	0.1±0.4	0.1±0.5	0.1±0.4
<i>Treubaria sp.</i>	0.1±0.6	0.1±0.5	
<i>Ulothrix sp.</i>		0.1±0.4	0.1±0.6
Promedio grupo	4.55±11.60	3.79±8.88	4.10±10.66

**Tabla 4.** Calidad de agua en el cultivo de bocachico con tecnología biofloc a diferentes densidades de siembra. T1=5, T2=10 y T3=20 peces/m<sup>3</sup>. Letras diferentes en las columnas indican diferencia estadística (p<0.05)

Parámetros	T1	T2	T3
Oxígeno disuelto(mg/L)	7.20±0.05 <sup>a</sup>	7.17±0.02 <sup>a</sup>	7.02±0.2 <sup>a</sup>
Temperatura (°C)	28.±0.3 <sup>a</sup>	28.3±0.2 <sup>a</sup>	28.2±0.1 <sup>a</sup>
pH	7.9±0.03 <sup>a</sup>	7.8±0.05 <sup>a</sup>	7.9±0.1 <sup>a</sup>
Alcalinidad total (mg/LCaCO <sub>3</sub> )	119.9±37.3 <sup>a</sup>	127.5±13.7 <sup>a</sup>	110.8±11.7 <sup>a</sup>
Dureza total (mg/LCaCO <sub>3</sub> )	138.7±52.2 <sup>a</sup>	153.6±30.7 <sup>a</sup>	128.6±32.6 <sup>a</sup>
Sólidos sedimentables SS (ml/L)	2.1±0.8 <sup>a</sup>	5.5±0.6 <sup>a</sup>	4.3±3.3 <sup>a</sup>

La mayor biomasa total (6.2±0.8 Kg) se registró en el tratamiento con mayor densidad de siembra (T3) (p>0.05); sin embargo, la ganancia en biomasa, sobrevivencia y productividad (Kg/m<sup>3</sup>) no muestran diferencia significativa entre los tratamientos. La mayor productividad en T3 se asocia con la sobrevivencia, ya que un mayor número de animales sobrevivientes convergen en una mayor biomasa (García et al., 2011).

Sobrevivencia superior a 80%, es considerada alta cuando se compara con reportes para esta especie cultivada en estanques en tierra (<30%) (Hahn y Grajales, 2007; García et al., 2011). Sin embargo, Della-Rosa et al. (2014), también reportó alta sobrevivencias (60 a 80%) para *Prochilodus lineatus* cuando comparó el desempeño del crecimiento, en tanques de concreto y estanques en tierra, pero a densidad de 0.5 pez/m<sup>2</sup>.

El FCA de un cultivo de peces indica la cantidad de alimento consumido por gramos de peso ganado; así, un FCA bajo significa que el pez convirtió mejor el alimento. Usualmente el FCA de *P. magdalenae* es alto comparado con especies omnívoras como cachamas y tilapias (García et al., 2011; Della Rosa et al., 2016). En este estudio el FCA fue alto, entre 16.4±3.0 (T1) y 33.4±17.9 (T3), debido que el alimento ofrecido se utilizó más con el propósito de mantener la relación C:N que alimentar a los peces como un intento de aumentar la cantidad de macroagregados del floc. Sin embargo, el monitoreo de los macroagregados mediante los sólidos sedimentables, mantuvo valores bajos (2.1 a 5.5 ml/l). Otro factor que pudo incidir en el FCA, esta relacionado con el hábito alimentario (iliófago-detritívoro) y el complejo tracto intestinal de la especie, que le permite aprovechar material orgánico particulado mezclado con partículas de mineral de bajo valor nutricional asociados al fondo de lagos, ríos o ciénagas; este material particulado ha

sido descrito compuesto por restos vegetales ricos en lignina, celulosas, además de microalgas y pequeños invertebrados (zooplancton, hongos y bacterias) (Bomfim et al., 2005; Yossa, 2002; Yossa y Araújo-Lima, 1998). García et al., (2011) observaron el intenso ramoneo de *P. magdalenae* en superficies fijadoras de perifiton colocadas en cultivos en estanques en tierra; además señalaron que el perifiton no era fácilmente renovado por la continua presión alimenticia de la especie. Lozano-Beltrán et al. (2017) concluyeron que *P. magdalenae*, debido a la forma y posición de la boca, obtiene su alimento raspando las superficies de los sustratos que se encuentran, bien sea en las unidades de cultivo o en ambientes naturales. Se sugiere entonces, que el hábito alimenticio y las preferencias alimentarias (organismos del perifiton) de la especie pudo incidir en la poca actividad bacteriana tipo heterótrofa, requiriendo más alimento del que podían aprovechar los peces y elevando el factor de conversión alimenticia. Los resultados de desempeño productivo, particularmente de sobrevivencia, permiten sugerir que la intensificación del cultivo de *P. magdalenae* es posible con la tecnología BFT, pero se requiere de más estudios para mejorar el crecimiento y profundizar en el conocimiento de la interacción de la especie con los fondos y la formación de los flóculos.

### *Microorganismos del biofloc*

La composición de las comunidades de microorganismos asociados a los flóculos encontradas en el presente estudio es similar a los reportes de Burford et al. (2004), Wasielesky et al. (2006), Ray et al. (2010b), Crab et al. (2012) y Monroy-Dosta et al. (2013). Sin embargo, el hábito alimenticio de la especie junto a las densidades evaluadas, permiten sugerir cierta presión del *P. magdalenae* sobre la abundancia de los mi-

organismos en función del tiempo de estabilización del sistema, tal como fue sugerido por Ballester *et al.* (2010) quienes consideraron que los elementos que producen los flóculos, tales como fuente de carbono y alimento balanceado, así como especies de peces acondicionados para el sistema, pueden tener influencia directa sobre los grupos de organismos que se desarrollan y su abundancia en relación al tiempo de cultivo.

Los resultados indican variaciones entre las diversas comunidades de organismos que se encuentran asociadas al biofloc. El grupo con mayor abundancia fueron los protistas, reconocidos por eliminar contaminantes, especialmente compuestos nitrogenados, depredación de poblaciones bacterianas que pueden llegar a ser patógenas, además contribuyen a la formación de bio-agregados y flóculos y en la distribución y composición de la comunidad bacteriana (Lee *et al.*, 2004; Abreu *et al.*, 2007; Pérez-Uz *et al.*, 2009). El segundo grupo en abundancia fueron los rotíferos, frecuentemente asociados al biofloc (Loureiro *et al.*, 2012; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Ballester *et al.*, 2010; Ray *et al.*, 2010b); los cuales se observaron a partir de la tercera semana, siendo los géneros *Lecane* y *Mytilina* los de mayor predominancia durante todo el cultivo. Los ciliados estuvieron representados por siete géneros, con predominancia de *Vorticellas* y *Paramecium*; lo cual sugiere una mayor diversidad de este grupo, que la reportada por Loureiro *et al.* (2012) en cultivo de camarón (*L. vannamei*) con BFT, quienes solo encontraron tres géneros.

### Calidad de agua

El oxígeno disuelto (OD) es una de la variable más importante en cultivos intensivos de organismo acuáticos, resultando limitante, no solo por las necesidades fisiológicas de peces o camarones, sino también por los requerimientos para la degradación aerobia de la materia orgánica (Martins *et al.*, 2003). En el presente estudio, los valores de OD se mantuvieron por encima de 6.0 mg/L, considerados óptimos para el desarrollo de cultivos en sistema biofloc, según lo reportado por Azim y Little (2008), Ray *et al.* (2010a) y Crab *et al.* (2012) para tilapia y camarón.

La temperatura influye de manera directa en el crecimiento de bacterias nitrificantes, siendo estas bacterias las de preferencia para poder establecer la ruta de reciclado amonio-nitrito-nitrato. Si la temperatura disminuye, se reduce la velocidad de nitrificación, afectando

la población de bacterias por cambios en sus rangos óptimos de manejo (Gerardi, 2002; González *et al.*, 2010). Se sugiere que a 28.5°C, se garantiza la formación de macroagregados y mantenimiento del sistema, considerando que el rango óptimo para la comunidad bacteriana oscila entre 25 y 30°C (Hargreaves, 2013); igualmente, 28°C también es óptima para la especie en cultivo (Atencio-García *et al.*, 2003). El pH es otro de los indicadores más importantes de la estabilidad del biofloc, el valor promedio registrado (7.9±0.06) se encuentra dentro del rango reportado (7.5 a 9.0) para el manejo del sistema de cultivo BFT con especies comerciales (Avnimelech, 2009; Ray *et al.*, 2010a; Crab *et al.*, 2012; Emerenciano *et al.*, 2013).

Los valores de alcalinidad total registrados durante el ensayo oscilaron entre 127.5 y 110.8 mg CaCO<sub>3</sub>/l; ligeramente superiores (60-100 mg CaCO<sub>3</sub>/l) a los reportados en cultivo de tilapia nilótica en BFT (Azim y Little, 2008); asimismo, la dureza total, osciló entre 153.6 y 128.6 mg CaCO<sub>3</sub>/l, considerados adecuados para el mantenimiento y ruta de nitrificación de las bacterias propias del sistema (Ebeling *et al.*, 2006; Ray *et al.*, 2010b). Al estabilizarse el sistema biofloc durante el cultivo de peces, se presenta disminución en la alcalinidad debido a la nitrificación y síntesis proteica (Ebeling *et al.*, 2006); debido al uso de carbonatos por bacterias nitrificantes y heterótrofas, que generan iones de hidrógeno durante la nitrificación y formación de macroagregados (Gerardi, 2002), lo que hace que el sistema pierda capacidad buffer, requiriendo la adición de fuentes de carbonatos para estabilizar el sistema (Azim y Little, 2008). Durante el cultivo de *P. magdalenae* en BFT fue necesario agregar hidróxido de calcio para mantener la alcalinidad y la capacidad buffer del sistema.

En BFT se han reportado valores de NAT entre 1.9 y 2.5 mg/L en cultivo de tilapia (Kubitza, 2011); sin embargo, concentraciones de NH<sub>3</sub> por encima de 1.5 mg/L se consideran letales para diferentes especies (Avnimelech, 2009; Crab *et al.*, 2012; Hargreaves, 2013), siendo aceptable valores por debajo de 0.025 mg/l (Neori *et al.*, 2004). En este estudio, los niveles promedios NH<sub>3</sub> fluctuaron entre 1.05 y 1.74 mg/l, similar a los reportados por otros autores (Azim y Little, 2008; Crab *et al.*, 2009; Poleo *et al.*, 2011; Schweitzer *et al.*, 2013; De Lorenzo *et al.*, 2016). En este tipo de sistemas es común que se presenten altos niveles de compuestos nitrogenados; pero su toxicidad depende de la tolerancia de la especie cultivada. Zhao *et al.* (2012) afirmaron que valores de amonio y sus deriva-

dos aumentan con el porcentaje de proteína en la dieta y la tasa de alimentación, condición presentada en este estudio durante las semanas 10 y 14 del cultivo, cuando se reportaron los valores más altos de NAT y NH<sub>3</sub>, lo cual está relacionado con un suministro excesivo de alimento y disminución de la relación C:N en el sistema, lo cual se tradujo en una disminución de la acción de bacterias nitrificantes (Crab *et al.*, 2009). Esta condición derivó en la acumulación de nitrógeno en el sistema y el aumento de NH<sub>3</sub>, hasta niveles máximos de 8.0 mg/L en la semana 12 de cultivo. No obstante, a pesar de encontrarse por encima de valores óptimos para el manejo del sistema, la especie no mostró comportamientos que sugirieran algún grado de estrés; sin embargo, no se descartan signos subclínicos, que no fueron detectados en ninguna de las unidades experimentales.

Las variaciones de nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en el transcurso de los 10 meses de cultivo de *P. magdalenae* en BFT estuvieron ligeramente por fuera de los rangos reportados por Pérez-Fuentes *et al.* (2016) (0.7±0.9 y 1.3±0.8 mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) cuando evaluó la incidencia de la relación C:N en la eliminación de nitrógeno en el cultivo de *O. niloticus* en BFT. En esta investigación los picos de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se registraron durante la semana 12 (1.8 mg/L para T2 y T3) y 22 (2.0 mg/L y 2.2 mg/L para T1 y T3), lo cual sugiere que en este periodo los procesos de nitrificación no fueron estables. Por su parte, los valores promedios de nitrato están en el rango para estos sistemas de cultivo (Pérez-Fuentes *et al.*, 2016). Además, desde la semana cuarta, se observó un incremento del nitrato, que alcanzó su mayor valor en la semana 12 (38.9 mg/L y 38.2 mg/L para T3 y T2); lo cual permite inferir el momento de estabilización del sistema en función de la ruta de nitrificación amonio-nitrito-nitrato, como ha sido reportado por diversos autores (Ebeling *et al.*, 2006; Avnimelech 2007; 2009; Azim y Little, 2008).

Los valores de sólidos sedimentables (SS) o volumen del floc oscilaron entre 2.1 y 5.5 ml/l. Furtado *et al.* (2011) manifestaron que para el desarrollo adecuado del cultivo de peces se deben procurar valores mínimos de 20 a 30 ml/l y para cultivo de camarones entre 67 a 100 ml/l de SS (Avnimelech, 2007). El comportamiento y hábito alimenticio de *P. magdalenae* (detritívoro), como fue discutido previamente, pudo incidir con los bajos niveles de SS, valores por debajo de los reportes para especies omnívoras (tilapia y cachamas) cultivadas con esta tecnología (Bru *et al.*, 2017; Poleo *et al.*, 2011; Furtado *et al.*, 2011; Avnimelech, 2007).

Dada su condición iliófaga-detritívora, *P. magdalenae* se mantuvo en el fondo del tanque de cultivo, en donde se acumuló materia orgánica e inorgánica de color oscuro, parecida al lodo que se genera en los estanques de cultivo en tierra; lo cual permite sugerir que la especie ramoneó intensamente el fondo y las paredes del tanque de cultivo consumiendo los sustratos de fijación de las bacterias y por tanto afectando la formación de los flóculos.

Los resultados del presente estudio permite concluir que la densidad de siembra influyó en el crecimiento de la especie, mientras que la sobrevivencia fue mayor de 80% en todos los tratamientos, indicando que los peces se adaptaron a las condiciones físico-químicas del agua y a la BFT. El comportamiento alimenticio de *P. magdalenae* pudo incidir en la formación de flóculos, por lo cual se sugiere realizar nuevas investigaciones para mejorar el desempeño de la especie en esta tecnología.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba la financiación del presente estudio.

## Referencias

- Abreu P, Ballester E, Odebrecht C, Wasielesky Jr, Cavalli R, Granéli W, Anésio A. Importance of biofilm as food source for shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) evaluated by stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007;347(1-2):88-96.
- Arana LA. Cultivo intensivo de tainha *Mugil cephalus*, tenca *Tinca* e enguia europeia *Anguilla* em sistema bioflocs BFT e de recirculação RAS 2017. (Tesis doctoral). Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro De Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura.
- Atencio-García V, Kerguelén E, Wadnipar L, Narváez A. Manejo de la primera alimentación del bocachico *Prochilodus magdalenae*. *Revista MVZ Córdoba*, 2003;8(1):254-60.
- Atencio-García V. Producción de alevinos de peces nativos. *Revista MVZ Córdoba*, 2006;6(1):9-14.
- Ayazo-Genes J, Pertuz-Buelvas V, Jiménez-Velásquez C, Espinosa-Araujo J, Atencio-García V, Prieto-Guevara M. Comunidades planctónicas y bacterianas asociadas al cultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* con tecnología biofloc. *Rev MVZ Córdoba*, 2019;24(2):7209-7217.
- Avnimelech Y. 2009. Biofloc Technology - A Practical Guide Book (3 ed). World Aquaculture Society. Louisiana, Usa. 181p.

- Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 2007;264(1-4):140-147.
- Azim ME, Little DC. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 2008;283(1-4):29-35.
- Ballester EL, Abreu PC, Cavalli RO, Emerenciano M, Abreu L, Wasielecky WJr. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 2010;16(2):163-172.
- Balech E. 1988. Dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones especiales, Instituto Español de Oceanografía (Nº 1). Ministerio de Acuicultura Pesca y Alimentación, Madrid, 310p.
- Boltovskoy E. Estudio bioestratigráfico y paleontológico (Foraminíferos bentónicos) del Cenozoico Superior al este de las Islas Malvinas (DSDP Crucero 36, Sitios 327 y 329). *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*, 1978;8(2):19-70.
- Bomfim D, Lanna T, Serafini A, Ribeiro B, Pena S. Proteína bruta e energia digestível em dietas para alevinos de curimatã (*Prochilodus affinis*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2005;34:1795-1806.
- Brú-Cordero SB, Pertuz-Buelvas VM, Ayazo-Genes JE, Atencio-García VJ, Pardo-Carrasco SC. Bicultivo en biofloc de cachama blanca *Piaractus brachipomus* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* alimentadas con dietas de origen vegetal. *Rev Med Vet Zoot*, 2017;64(1):44-60.
- Burford M, Thompson P, McIntosh P, Bauman R, Pearson D. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*), nutrition in a high-intensity, zero exchange system. *Aquaculture*, 2004;232(1-4):525-537.
- Costa RB, Carvalho MAM, Abreu KL, Sena AM, Farias JO, Vidal DL, Sales RO, Maggioni R. Criação da curimatã comum, *Prochilodus cearensis* Steindachner, 1911, em tanque rede. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 2015;9(3):482-492.
- CCI (Corporación Colombia Internacional). 2010. Pesca y Acuicultura Colombia 2009. Bogotá: CCI/MADR.
- Collazos-Lasso LF, Arias-Castellanos JA. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*, 2015;19(1):77-86
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 2012;356:351-356.
- Crab R, Kochva M, Verstraete W, Avnimelech Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 2009;40(3):105-112.
- Dauda AB. Biofloc technology: a review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 2020;12:1193-1210.
- Della Rosa P, Roux J, Sánchez S, Ortiz J, Domitrovic H. Productividad del sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. *Revista Veterinaria*, 2014;25(2):126-130.
- De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, Boon N, Verstraete W. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 2008;277(3-4):125-137.
- Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 2006;257(1-4):346-358.
- Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture. Application and Animal Food Industry. En: Matovick D (Ed). Biomass Now, cultivation and utilization. *IntechOpen*, 462p.
- Furtado P, Poersch L, Wasielecky Jr. Effect of calcium hydroxide and sodium bicarbonate on the water quality and zootechnical performance of *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*, 2011;321(1):130-135.
- García J, Celis L, Villalba E, Mendoza L, Brú S, Atencio-García V, Pardo S. Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 2011;58(2):71-83.
- Gerardi M. 2002. Nitrification and denitrification in the activated sludge process. Wiley Interscience: Nueva York, Usa, 193 p.
- González P, Quintans P, Vizcaíno M, Miguel R, González J, Pérez J, García R. Estudio de la inhibición del proceso de nitrificación como consecuencia de la acumulación de metales en el fango biológico de la EDAR de León y su alfoz. *Tecnología del agua*, 2010;322:28-38.
- Hahn CH, 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 Acuicola*, 2007;3(3):116-128.
- Hargreaves JA. Biofloc Production systems for aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*, 2013;4503:1-12.
- Kubitza F. Criação de tilapias em sistema com bioflocos sem renovação de água. *Panorama da Aqüicultura*, 2011;21(125):14-23.
- Kuhn DD, Smith SA, Boardman GD, Angier MW, Flick GJ. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture*, 2010;309(1-4):109-114.
- Lee S, Basu S, Tyler CW, Wei IW. Ciliate populations as bio-indicators at Deer Island Treatment Plant. *Advances in Environmental Research*, 2004;8(3-4):371- 378.

- Lubel A, Reyes M, Olvera J. 2009. Diversidad de los protozoos ciliados. En: Lot A, Cano-Santana Z (Eds). Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel. UNAM, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México. p.61-68.
- Della Rosa P, Roux J, Sanchez S, Ortiz J, Domitrovic H. Productividad del sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. *Revista Veterinaria*, 2014;25(2):126-130.
- Della Rosa P, Ortiz J, Cáceres A. Sánchez S, Roux, J. Desempeño del sábalo *Prochilodus lineatus* en policultivo con pacú *Piaractus mesopotamicus*. *Latin american journal of aquatic research*, 2016;44(2):336-341.
- De Lorenzo M, Souza E, Schleder D, Rezende P, Seiffert W, Vieira F. Intensive hatchery performance of Pacific white shrimp in the biofloc system under three different fertilization levels. *Aquacultural Engineering*, 2016;72-73:40-44.
- Loureiro KC, Wilson WJ, Abreu PC. The use of protozoan, rotifers and nematodes as live food for Shrimp raised in BFT. *Atlântica Rio Grande*, 2012;34(1):5-12.
- Lozano-Beltrán G, Rivera Mendoza R, Martínez-Jordan J. 2017. Desarrollo y gestión de la producción de bocachico en jagüeyes en el departamento del Atlántico: *Prochilodus magdalenae*, Steindachner, 1878. Barranquilla: Universidad Simón Bolívar.
- Luz RK, Zaniboni-Filho E. Larvicultura do mandí amarelo *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Siluriformes: Pimelodidae) em diferentes densidades de estocagem nos primeiros dias de vida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2002;31(2):560-565.
- Luo GZ, Avnimelech Y, Pan YF, Tan HX. Inorganic nitrogen dynamics in sequencing batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. *Aquacultural Engineering*, 2013;52:73-79.
- Machuca-Valverde C. 2018. Crecimiento de chame (*Dormitator latifrons*) bajo tres densidades de siembra, con tecnología biofloc (Trabajo de pregrado). Quevedo: Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Martinelli S, Radünz Neto J, Silva LP, Bergamin GT, Maschio D, Flora MD, Possani G. Densidade de estocagem e frequência alimentar no cultivo de jundiá em tanques-rede. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2013;48(8):871-877.
- Martins LM, Xavier GR, Rangel FW, Ribeiro JR, Neves MC, Morgado LB, Rumjanek NG. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: A strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, 2003;38(6):333-339.
- Mojica JI, Usma JS, Álvarez-León R, Lasso CA (Eds). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia; 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, Colombia, 319p.
- Monroy-Dosta M, De Lara-Andrade R, Castro-Mejía J, Castro-Mejía G, Coelho-Emerenciano M. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 2013;48(3):511-520.
- Moyle BP, Cech JJ. 2000. Fishes: An introduction to Ichthyology. 4 Ed. Prentice Hall, New Jersey, Usa, 590 p.
- Neori A, Chopin T, Troell M, Buschmann A, Kraemer G, Halling C, Shpigel M, Yarish Ch. Integrated aquaculture: rationale evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 2004;231(1-4):361-391.
- Ocampo L, Botero M, Restrepo L. Evaluación del crecimiento de un cultivo de *Daphnia magna* alimentado con *Saccharomyces cerevisiae* y un enriquecimiento con avena soya. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 2010;23:78-85.
- Pérez-Fuentes J, Hernández-Vergara M, Pérez-Rostro C, 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*, 2016;452:247-251.
- Pérez-Uz B, Arregui L, Calvo P, Salvadó H, Fernández N, Rodríguez E, Zornoza A, Serrano S. 2009. Parámetros biológicos relacionados con la eliminación de nitrógeno en fangos activos. Análisis multivariante en el desarrollo de un índice biológico en estos sistemas. *Asociación Científica Grupo Bioindicación de Sevilla*, p. 1-6.
- Poleo G, Aranbarrio J, Mendoza L, Romero O. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2011;46(4):429-437.
- Palma LM, Ordoñez KA, Ordoñez AS. 2018. Aplicación de la técnica de Biofloc, usando sustratos naturales, y Probióticos en el cultivo de *Oreochromis sp* en sistema de cero recambios de agua. (Trabajo de pregrado) Honduras: Centro Universitario Regional del Litoral Pacífico.
- Quintero SC, Tolosa MA, Aguilar OX. Tecnología del biofloc en un cultivo de mojarra roja (*Oreochromis sp.*) en la etapa de levante. *Revista Innovando en la U*. 2013;(5):23-32.
- Ray A, Lewis B, Browdy C, Leffler J. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 2010a;299(1-4):89-98.
- Ray A, Seaborn G, Leffler J, Wilde S, Lawson A, Browdy C. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 2010b;310(1-2):130-138.
- Streble H, Krauter D. 1987. Atlas de los Microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua. Barcelona: Omega. 372 p.
- Schweitzer R, Arantes R, Costódio P, Espírito-Santo C, Arana LV, Seiffert W, Andreatta 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. *Aquacultural Engineering*, 2013;56:59-70.
- Taylor FJ. 1976. Dinoflagellates from the Internacional Indian Ocean expedition. Nro. 132. Bibliotheca Botanica, Stuttgart, Alemania. 234 p.

- Urbano-Bonilla A, Zamudio J, Maldonado-Ocampo JA, Bogotá-Gré-gory JD, Cortesmillán GA, López Y. Peces del piedemonte del departamento de Casanare. Colombia. *Biota Colombiana*, 2009;10(1-2):149-162.
- Van De Nieuwegiessen PG, Boerlage AS, Verreth JAJ, Schrama J. Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Applied Animal Behaviour Science*, 2008;115:233-243.
- Vidal-Martínez VM. 1995. Processes structuring the helminth communities of native cichlid fishes from Southern Mexico. (Tesis doctoral). Science Faculty, University of Exeter, Inglaterra. 164 p.
- Vinatea L, Gálvez A, Browdy C, Stokes A, Venero J, Haveman J, Lewis B, Lawson A, Shuler A, Leffler G. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: interaction of water quality variables. *Aquacultural Engineering*, 2010;42(1):17-24.
- Wasielky J, Atwood H, Stokes A, Browdy C. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2006;258(1-4):396-403.
- Yacubson S. Algas de ambientes acuáticos continentales, nuevas para Venezuela (Cyanophyta, Chlorophyta). *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 1969;3:1-87.
- Yacubson S. Catálogo e iconografía de las Chlorophyta de Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 1974;11:1-143.
- Yao M, Luo G, Tan H, Fan L, Meng H. Performance of feeding Artemia with bioflocs derived from two types of fish solid waste. *Aquaculture and Fisheries*, 2018;3:246-253. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.07.002>
- Yossa MI, Araujo-Lima CA. Detritivory in two Amazonian fish species. *Journal of Fish Biology*, 1998;52(6):1141-1153.
- Yossa MI. 2002. Estrategia alimentar de peixes detritívoros da bacia do Amazonas e do Orinoco. (Tesis doctoral). Instituto Nacional do Amazônia-Inpa. Universidade do Amazonas. Manaus Amazonas, Brasil.
- Zhao P, Huang J, Wang X-H, Song X-L, Yang CH, Zhang XG, Wang GC. The application of bioflocs technology in high-intensive. zero exchange farming systems of *Marsupenaeus japonicas*. *Aquaculture*, 2012;(354)355:97-106.