



COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE ALEVINOS DE ÓSCAR (*Astronotus ocellatus*) EN BIOFLOC CON DIFERENTES RELACIONES CARBONO:NITRÓGENO

PRODUCTIVE COMPORNTMENT FROM ALEVINOS OF OSCAR (*Astronotus ocellatus*) IN BIOFLOC WITH DIFFERENT RELATIONS CARBON:NITROGEN

Edisson A. Castillo-Pastuzan ^a IPA, Marco A. Imués-Figueroa ^b Zoot MSc,
Luis F Collazos-Lasso IPA MSc PhD(C) ^c

Recibido: 30-04-2017

Aceptado: 01-jun-2017

RESUMEN

Biofloc (BFT) es una nueva técnica utilizada en acuicultura, capaz de reducir los compuestos nitrogenados, remover los desechos producidos por los peces y servir como fuente de alimento, a partir de la adición de una fuente de carbono, manteniendo el control de la relación C:N en el agua. Por lo anterior, se propuso explorar el potencial del biofloc para el cultivo de alevinos de pez óscar (*Astronotus ocellatus*), utilizando tres tratamientos con tres replicas y 20 alevinos por unidad experimental, sometidos a diferentes relaciones C:N (15:1; 20:1 y 25:1), cada unidad en un acuario de 50 L con suficiente aireación. El peso inicial de los alevinos fue de $1,67 \pm 0,37$ g y talla de $4,50 \pm 0,36$ cm, recibiendo un alimento comercial con 35% de proteína. Como fuente de carbono se utilizó melaza, adicionada semanalmente para mantener las relaciones C:N teóricas. Se evaluó las variables fisicoquímicas del agua (temperatura, oxígeno, pH, amonio, nitrito, nitrato, alcalinidad y sólidos sedimentables) y productivos de la especie (peso y talla), con cuyos datos se estimó incremento de peso y talla, tasa de crecimiento simple, conversión alimenticia y relación beneficio costo. Los valores de calidad del agua fueron similares en todos los tratamientos. Los resultados demuestran que el BFT puede reducir eficientemente los compuestos nitrogenados en todas las relaciones probadas, siendo las menores concentraciones en la relación 25:1. En cuanto a variables productivas, se encontró diferencias significativas ($p < 0,05$), sugiriendo que la relación 20:1 provee la mejor supervivencia (98,3%), conversión alimenticia ($2,42 \pm 4,05$), crecimiento en peso ($9,78 \pm 4,80$) y tasa de crecimiento simple ($1,22 \pm 0,79$ quincenal), en comparación con las otras relaciones probadas. De acuerdo con esto, la implementación de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente como el BFT es efectiva y altamente eficiente para el control de la calidad del agua en especies con potencial acuícola, como el pez óscar.

Palabras clave: calidad del agua, especies nativas, nitrificación, pez óscar, acuicultura, compuestos nitrogenados.

ABSTRACT

Biofloc (BFT) is a new technique used in aquaculture, able to reduce the nitrogen compounds, remove the wastes produced by the fish and serve as a food source, from the addition of a carbon source, maintaining control of the ratio C:N in the water. Therefore, it was proposed to explore the biofloc potential

^a Ingeniero en Producción Acuícola, Universidad de Nariño. edissonc22@hotmail.com.

^b Profesor, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. marcoi@udenar.edu.co

^c Profesor Instituto de Acuicultura de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

for oscar fish (*Astronotus ocellatus*), using three treatments with three replicates and 20 fingerlings per experimental unit, under different C:N ratios (15:1; 20:1 and 25:1), each unit in a 50 L aquarium with sufficient aeration. The initial weight of the fingerlings was 1.67 ± 0.37 g and size of 4.50 ± 0.36 cm, receiving a commercial feed with 35% protein. Molasses, added weekly to maintain the theoretical C:N ratios, were used as the carbon source. The physicochemical variables of the water (temperature, oxygen, pH, ammonium, nitrite, nitrate, alkalinity and sedimented solids) and productive of the species (weight and height) were evaluated, with data estimating increase in weight and height, simple growth rate, feed conversion and cost benefit ratio. The water quality values were similar in all treatments. The results show that BFT can efficiently reduce nitrogen compounds in all tested ratios, with the lowest concentrations being in the 25:1 ratio. In terms of production variables, significant differences ($p < 0.05$) were found, suggesting that the 20:1 ratio provides the best survival (98.3%), feed conversion (2.42 ± 4.05), growth in weight ratio (9.78 ± 4.80) and simple growth rate (1.22 ± 0.79 biweekly), compared to the other relationships tested. Accordingly, the implementation of new environmentally friendly technologies such as BFT is effective and highly efficient for the control of water quality in species with aquaculture potential, such as oscar fish.

Key words: water quality, native species, nitrification, oscar fish, aquaculture, nitrogenous compounds

INTRODUCCIÓN

El pez óscar *A. ocellatus* (Agassiz, 1831), una especie íctica nativa de Suramérica, distribuida en Perú, Brasil, Guayana Francesa y Colombia^[1], que se encuentra en este último país en las cuencas del Amazonas y Orinoco^[2], habitando principalmente afluentes de mediano y pequeño tamaño^[3]; como características relevantes, es una especie omnívora con tendencia carnívora, territorialista, alcanza la madurez sexual después de los 10 meses de edad, cuando tiene un tamaño de 20 cm aproximadamente, siendo necesario un sustrato horizontal para las posturas, con desoves parciales (alrededor de 1.500 huevos) y cuidado parental; una vez eclosionan la prole tiene un comportamiento gregario hasta la etapa juvenil^[4].

La importancia económica del óscar radica en su comercialización como especie de ornato, aunque en algunos lugares es consumido. En cuanto a la piscicultura, están relativamente claros los procesos de reproducción, larvicultura y alevinaje en confinamiento^[5]; para el levante son utilizados sistemas de producción convencionales (estanques en tierra), cultivándose en asociación con peces forrajeros como mojarras o guppies. A pesar de existir información sobre el cultivo, sólo se ha practicado la piscicultura de manera extensiva, con lo cual se han reportado bajas producciones, 1.000 a 1.200 kg/Ha/año^[6], no obstante no se ha registrado el

cultivo del óscar bajo sistemas alternativos intensivos de producción.

Teniendo en cuenta los anteriores elementos, la búsqueda de sistemas alternativos de producción intensiva que prioricen la disminución del impacto ambiental propio de la actividad, evitando la progresiva contaminación de los ambientes acuáticos ocasionada por descargas de nutrientes, componentes orgánicos e inorgánicos a los efluentes y garantizando a su vez la sostenibilidad económica, es una prioridad en la piscicultura actual de cualquier especie^[7]. Una de las alternativas tecnológicas, empleada en el presente estudio, se trata del biofloc (BFT), la cual se interpreta como el cultivo de organismos acuáticos en contenedores con mínimo recambio de agua, donde prosperan microorganismos a una alta relación C:N, oxigenación saturada, garantizando condiciones de calidad de agua para el cultivo en un verdadero concepto de reciclaje de nutrientes^[8, 7].

En consecuencia, el BFT evidencia claramente dos roles fundamentales: el primero es mantener las condiciones y la calidad del agua en relación con la fijación y control del nitrógeno inorgánico tóxico, específicamente de la forma del amonio no ionizada, llamada también amoníaco (NH_3), y el nitrito (NO_2^-); el segundo, generando “*in situ*” proteína microbiana que puede ser aprovechada para la alimentación de

la especie de interés en el cultivo, dando la posibilidad de reducir de esta manera las tasas de conversión alimenticia [9, 10, 11, 12, 8, 13, 14, 15, 16].

De esta manera, la variación de la relación C:N da predominancia a diferentes comunidades bacterianas (heterótrofas, quimioautótrofas y/o fotoautótrofas), cada una con requerimientos y productos diferentes [17], también bajo condiciones de calidad de agua particulares, que garantizan la estabilidad del sistema.

Las dos vías (autótrofa y heterótrofa) para la eliminación de nitrógeno, son diferentes en términos de la utilización del sustrato, la biomasa bacteriana que generan y subproductos producidos; la dificultad en la aplicación radica en que la eficiencia en cuanto a remoción de N disuelto en el agua del tanque de producción, depende de la disponibilidad del carbono inorgánico y orgánico [18]; en este sentido Ebeling y Timmons [19], sugieren que no todo el carbono orgánico en la alimentación es fácilmente disponible para las bacterias heterótrofas. La capacidad de controlar el tipo de carbono y la relación C:N, por la formulación del alimento, eliminación o adición de sólidos orgánicos de carbono, permite definir qué tipo de vía se vuelve dominante en los sistemas de producción.

La adición de carbohidratos al medio de cultivo se traduce en la reducción de las concentraciones de nitrógeno inorgánico en sistemas intensivos en acuicultura, por la capacidad de inmovilizar el N, siendo que las relaciones C:N han variado entre autores: tasas de 10:1 [20]; >10:1 [10], 12-13:1 [21]; 15:1 [15], 20:1 [11, 22, 13, 12, 23, 14, 24, 25]; 25:1 y 30:1 [26].

Investigaciones realizadas con sistemas de BFT se han desarrollado en gran medida para diferentes especies de tilapias [11, 27, 20], en catfish (*Clarias gariepinus*) [26], *Carassius auratus* [28], *Mugil liza* [29], entre otras; en cuanto a estudios con especies ícticas nativas de Suramérica, en particular de las cuencas del Amazonas y Orinoco, los reportes son escasos, resaltando los realizados para *Rhamdia quelen* [25] y con cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) [30][31].

Como se puede observar, el estudio de la tecnología biofloc con especies nativas colombianas aún se encuentra en evaluación, por tal motivo el objetivo del presente estudio estuvo basado en evaluar el comportamiento productivo de alevinos de pez óscar (*Astronotus ocellatus*) en sistemas con tecnología Biofloc, utilizando a diferentes relaciones C:N en el medio de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Los experimentos se llevaron a cabo en la estación piscícola de la Fundación Orinoquía, ubicada en la Ciudad de Puerto Carreño, Departamento de Vichada, Colombia, a una altitud de 51 msnm, temperatura promedio de 28,6°C y una humedad relativa entre 55 y 79% [32].

Diseño experimental

Se utilizaron 180 alevinos de óscar (*A. ocellatus*) con un peso de 1,67±0,39 g y talla de 4,5±0,36 cm, los cuales fueron obtenidos por desoves inducidos del stock de reproductores mantenidos en cautiverio en la estación piscícola.

Se empleó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres replicas por tratamiento. Cada unidad experimental conformada

por un acuario con 50 L de agua y 20 alevinos de óscar, tuvo condiciones experimentales similares de aireación y temperatura, así como características homogéneas en el material biológico. Los alevinos, constituidos en unidades observacionales, al igual que las unidades experimentales, fueron distribuidas en forma aleatoria, en los tratamientos con diferentes relaciones C:N, de la siguiente manera: T1= 15:1, T2 = 20:1 y T3 = 25:1, sobre los cuales se realizó el seguimiento para la evaluación, por un periodo de 75 días.

Determinación de la fuente de carbono

La fuente de carbono utilizada estuvo constituida por melaza, adicionando en cantidades calculadas según la metodología recomendada por De Schryver et al [11], al igual que Avnimelech et al [27].

Artículo de Investigación

Para la determinar el nivel de carbono orgánico de la fuente (melaza), utilizada en cada tratamiento, se empleó el Método de Walkley Black, con técnica colorimétrica; para determinar el porcentaje de proteína del alimento utilizado, se aplicó el Método de Kjeldahl, con técnica titulométrica, cuyos resultados fueron de 33,65% y 35,23%, respectivamente.

Para calcular la cantidad de melaza adicionada como fuente de carbono, se tuvo en cuenta la cantidad de nitrógeno aportado al sistema a través de la tasa de alimentación, de acuerdo con lo reportado por Thimmons et al ^[17], y la cantidad de carbono aportado en el alimento según lo planteado por Avnimelech et al ^[12].

Establecimiento del Biofloc

Se realizó el llenado de los acuarios (volumen útil 50 L), 15 días antes de iniciar los experimentos; previamente se adicionó el 60% del agua proveniente del acueducto, a la que se añadió 5 mg.L⁻¹ de tiosulfato sódico (decoloración); se llenó con el restante 40% de agua de biofloc (macrocosmos) proveniente de un cultivo de cachama con BFT, posterior se adicionó 2 ml de bacterias nitrificantes (API stress zime+plus) por un periodo de cinco días. Para establecer las relaciones C:N en cada tratamiento, se adicionó la melaza calculada para 1 g de alimento comercial molido con 35% de proteína, mezclando y diluyendo en 10 ml agua antes de ser adicionados a los acuarios.

Alimentación

Los peces fueron alimentados con un concentrado comercial que contenía el 35% de proteína bruta, iniciando a una tasa de alimentación del 5% de la biomasa, repartido en cuatro comidas diarias; la ración se redujo gradualmente 0,3% semanalmente, hasta llegar a una tasa del 3,5%.

Calidad del Agua

Se registró los parámetros físico-químicos del agua: temperatura (°C) y Oxígeno Disuelto (mg.L⁻¹), los cuales fueron medidos con Oxímetro YSI 550A; amonio (NH₃-N mg.L⁻¹), nitritos

(NO₂-N mg.L⁻¹), nitratos (NO₃-N mg.L⁻¹) y alcalinidad (CaCO₃ mg.L⁻¹) se midieron con equipo Hach DR900, el pH con equipo HQ40d Multi Meter, y los sólidos sedimentables mediante un cono Imhoff (ml.L⁻¹). Temperatura, Oxígeno Disuelto y pH se registraron diariamente; amonio, nitritos, nitratos, sólidos sedimentables y alcalinidad, quincenalmente.

Para los primeros tres meses, no hubo cambio de agua en los acuarios, excepto por mantenimiento del nivel por pérdidas atribuidas a la evaporación, luego quincenalmente se hacían recambios del 20 % a los acuarios que presentaran una concentración de sólidos mayor a 30 mL L⁻¹, garantizando las condiciones iniciales de calidad de agua.

Variables evaluadas

Como variables respuesta, se evaluó el incremento de peso (IP), el incremento de talla (IT), la tasa de crecimiento simple (TCS), la conversión alimenticia (CA), la supervivencia (S) y el análisis parcial de costos (B/C).

Análisis estadístico.

Se verificó los supuestos estadísticos de normalidad (Chi-Cuadrado, Shapiro-Wilk y Valor-Z para sesgo), homogeneidad de varianzas (Bartlett) e independencia (Durbin-Watson), los cuales se cumplieron (p>0,05) para incremento de peso, incremento de talla y tasa de crecimiento simple, por lo cual se procedió a realizar el análisis de varianza (ANOVA), con $\alpha=0,05$; en los casos en que se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey en la búsqueda de diferencias entre medias. Para la variable conversión alimenticia, que no cumplió los supuestos estadísticos se realizó la transformación de los datos utilizando el modelo $(1/y_i)$, con lo cual fue posible aplicar el ANOVA. En el caso de la supervivencia, se aplicó la prueba de Brand-Snedecor, basada en Chi-cuadrada, y posteriormente las pruebas de comparación de proporciones. Todos los análisis se efectuaron utilizando el software Statgraphics Centurion XV y Microsoft Excel 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del agua

Periodo de estabilización. Durante los primeros 15 días, se llevó a cabo la producción de biofloc y la medición de los compuestos nitrogenados (amonio, nitrito y nitrato), los cuales presentaron un aumento durante los primeros cinco días,

luego se evidenció un descenso en sus valores hasta estabilizarse, con un comportamiento similar en todos los tratamientos; igual sucedió para los sólidos sedimentables, los que tuvieron un crecimiento ascendente durante el periodo de formación de floc, como se puede observar en la Figura 1.

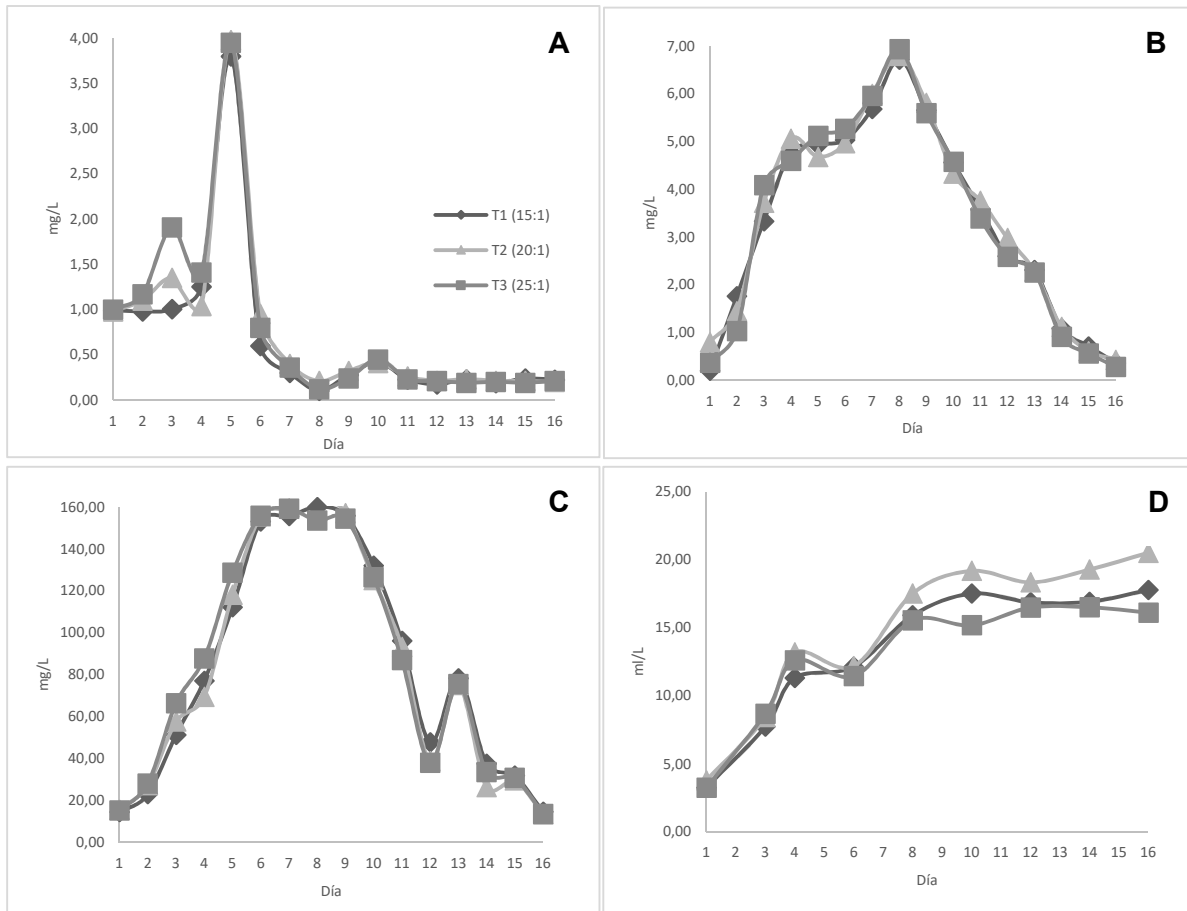


Figura 1. Comportamiento del amonio (A), nitrito (B), nitratos (C) y sólidos sedimentables (D) durante los primeros quince días de formación del Biofloc.

Los promedios de las variables de calidad del agua, durante todo el periodo de estudio, se muestran en la Tabla 1.

La mayor concentración de amonio, nitritos y nitratos durante todo el experimento se presentó en el tratamiento T1 (15:1), cuyos valores promedio corresponden a $0,69 \pm 0,91$, $0,43 \pm 1,14$ y $26,71 \pm 24,25$ mg/L respectivamente, mientras que la menor concentración se presenta en el

tratamiento T3 (25:1) en el cual se reportaron $0,45 \pm 0,48$; $0,16 \pm 0,12$ y $20,69 \pm 21,54$ mg/L respectivamente. El caso contrario se aprecia para los sólidos suspendidos y para la alcalinidad, en cuyas variables es posible identificar mayores valores para el T3 ($29,83 \pm 20,99$ y $0,03 \pm 23,65$ mg/L respectivamente) y los menores valores en el T1 ($22,00 \pm 8,62$ y $29,25 \pm 47,57$ respectivamente).

Tabla 1. Rango (media \pm DS) de las variables físico-químicas de calidad de agua durante el periodo experimental.

Variable	Tratamientos (Relación C:N)		
	T1 (15:1)	T2 (20:1)	T3 (25:1)
T (°C)	27,47 \pm 1,20	27,35 \pm 1,32	27,55 \pm 1,27
OD (mg/L)	9,04 \pm 0,76	8,96 \pm 0,70	9,13 \pm 0,82
pH	6,31 \pm 0,70	6,42 \pm 0,62	6,76 \pm 0,48
NH ₃ -N (mg/L)	0,69 \pm 0,91	0,46 \pm 0,43	0,45 \pm 0,48
NO ₂ -N (mg/L)	0,43 \pm 1,14	0,15 \pm 0,12	0,16 \pm 0,12
NO ₃ -N (mg/L)	26,71 \pm 24,25	23,92 \pm 15,19	20,69 \pm 21,54
SS (ml/L)	22,00 \pm 8,62	29,05 \pm 15,67	29,83 \pm 20,99
Alcalinidad (mg/L de CaCO ₃)	29,25 \pm 47,57	30,28 \pm 19,53	40,03 \pm 23,65

Oxígeno disuelto, temperatura y pH. Las variaciones de las variables de calidad del agua durante todo el estudio, se resumen en la Figura 2. El comportamiento del pH y el OD fue muy variable durante el experimento, sin embargo el comportamiento es similar en los diferentes tratamientos.

La temperatura descendió significativamente desde el día 28 del experimento, como una respuesta al cambio de clima que se experimentó en la región, aunque no se registraron valores que pudieran llegar a niveles críticos para la especie^[33]. En promedio la temperatura del agua (27,46 \pm 1,26 °C), concentración de OD (9,04 \pm 0,765 mg/L) y pH (6,50 \pm 0,64), estuvieron dentro del rango para la piscicultura de especies tropicales, sin embargo, los valores bajos de pH fueron muy variables en el periodo de estudio, debido a los procesos de nitrificación y las correcciones realizadas para mantener un pH similar en todos los tratamientos.

Alcalinidad. Las concentraciones de alcalinidad fueron poco estables en los tratamientos (33,19 \pm 32,43 mg/L CaCO₃), como consecuencia de la adición de bicarbonato de sodio, utilizado para corregir el pH. Algunos estudios han demostrado que los valores de pH decrecen gradualmente durante los cultivos en BFT, debido a que en los procesos de nitrificación se pierde alcalinidad y por lo tanto el pH tiende a decrecer^[34]. También se reporta que en los procesos de nitrificación se requiere aproximadamente 4 mg de O₂ y 8 mg de HCO₃ para oxidar a 1 mg TAN^[10], aunque, la continua aeración aseguró la disponibilidad de OD, por lo cual no se considera un limitante.

Sólidos sedimentables (SS). El comportamiento de los SS (26,96 \pm 16,02 ml/L) fue similar en todos los tratamientos; los valores más altos de SS son directamente proporcionales a las relaciones C:N. Una disminución de la cantidad de SS se produjo en todos los tratamientos a mediados del estudio, ocasionado por el recambio realizado, con el fin de controlar la afectación que causaron los floc en las branquias de los peces. Según algunos estudios, los altos niveles de sólidos en el agua están relacionados con el escaso bienestar del pez, indicados por el escaso crecimiento, taponamiento de lamelas branquiales^[35] y susceptibilidad a infecciones producidas por parásitos o bacterias^[36]. Lo anterior indica que niveles de SS superiores a 30 ml/L pueden causar afectaciones en el desarrollo durante el cultivo de esta especie.

Amonio, nitritos y nitratos. La concentración de compuestos nitrogenados (NH₃-N, NO₂-N y NO₃-N) fue similar, excepto en el tratamiento T1, en donde ocurrió un incremento en los niveles de NH₃-N a mediados de la etapa de estudio; iguales incrementos se presentaron en el mismo periodo en las concentraciones de NO₂-N y NO₃-N en todos los tratamientos, esto debido a una sobrealimentación accidental que se presentó en el experimento. A pesar que la sobrealimentación se realizó en todos los tratamientos, solo el T1 (15:1) fue el más afectado; los demás fueron neutralizados eficazmente el NH₃-N sin incrementar sus concentraciones; sin embargo, todos los tratamientos incrementaron los niveles de NO₂-N y NO₃-N. Lo anterior se debe, posiblemente a que en las relaciones 20:1 y 25:1 existe más disponibilidad de carbono

para que las bacterias y otros microorganismos puedan utilizar los carbohidratos (azúcares, almidón, celulosa) en forma de un alimento, para generar energía y de crecer, es decir, para producir proteínas y células nuevas [22]; además, la

predominancia de microorganismos heterotróficos en estas relaciones hace que se mantenga estabilidad en las condiciones del sistema, logrando la degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas muy eficientemente [12] [37].

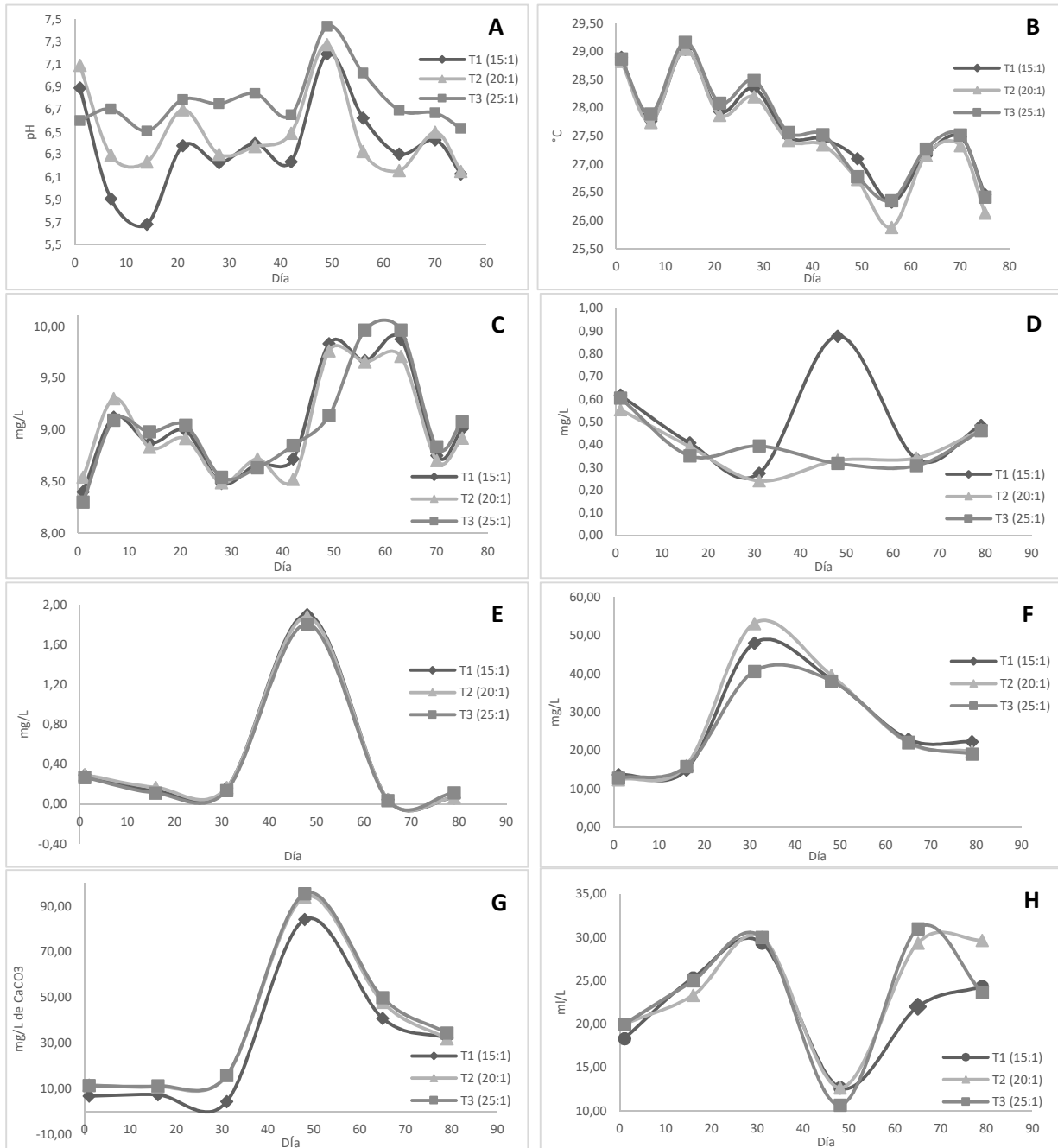


Figura 1. Comportamiento del pH (A), temperatura (B), oxígeno disuelto (C), amonio (D), nitritos (E), nitratos (F), alcalinidad y sólidos sedimentables (H), durante el periodo de estudio.

Por otra parte, el incremento en los niveles $\text{NO}_2\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ en todos los tratamientos pudo deberse principalmente en bajos niveles de pH

y alcalinidad, los cuales afectan considerablemente la velocidad de los procesos de nitrificación, pues se ha observado que la tasa máxima

de nitrificación se produce entre valores de 7,2 a 9,0 de pH, aproximadamente, a valores inferiores a 6,5 la velocidad de nitrificación se reduce de forma brusca^[38]. Otros autores han destacado que existe una relación significativa entre las relaciones C:N, con reducción de compuestos nitrogenados, incrementando la eficiencia cuando se tiene altas relaciones^{[10] [39] [28]}.

Los valores de amonio, nitrito y nitrato presentaron un incremento significativo entre los días 30 y 50 en el tratamiento T1 (15:1), mientras que los tratamientos T2 (20:1) y T3 (25:1) sólo se incrementaron los valores de nitritos y nitratos. La alcalinidad presentó igual comportamiento en todos los tratamientos, incrementando sus valores a través del tiempo de estudio, mientras que los sólidos sedimentables mostraron un comportamiento muy variable en la mitad del periodo de estudio, en todos los tratamientos.

Variables de producción.

Supervivencia. Esta variable mostró ser superior en los tratamientos T2 (20:1) y T3 (25:1) con 98,3% y 95,0% respectivamente, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) con el tratamiento T1 (66,7%). Las diferencias en los valores de supervivencia no son ocasionadas por los métodos de cultivo, sino por causas ajenas y accidentales durante el experimento. La baja supervivencia en el tratamiento T1 fue el resultado de los incrementos en las concentraciones de amonio causada por la sobrealimentación accidental.

Los resultados anteriormente descritos se atribuyen a múltiples inconvenientes presentados en el periodo de estudio, principalmente a las variaciones de algunos parámetros de calidad de agua, en especial a los compuestos nitrogenados como amonio y nitrito. Los porcentajes de supervivencia de los tratamientos T2 y T3 fue inferior al 90%, que podría considerarse alta y dentro de los valores reportados por otros estudios en sistemas de biofloc. Poleo et al^[30], en sistemas superintensivos de cachama blanca, reportó alta supervivencia ($92 \pm 7\%$); Azim y Little^[10] registraron supervivencia de 100% en cultivo de tilapia nilótica, en este mismo sistema; de igual forma, Luo et al^[40], al comparar

el desempeño de tilapia nilótica en sistemas BFT y RAS, reportaron supervivencia del 100% en ambos sistemas.

Los resultados de supervivencia del presente estudio se sugieren como consecuencia del bienestar y adaptación de los animales al sistema de cultivo, lo cual es respaldado por las demás variables de producción.

Incremento de peso (IP), talla (IT) y tasa de crecimiento simple (TCS). El ANOVA indicó que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores medios de los distintos tratamientos, cuando se evaluó las variables IP, IT y TCS, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Los altos valores de SS en todos los tratamientos también afectaron el crecimiento de la especie, debido a que ocasionaron taponamiento en branquias en los peces y dificultad para su respiración; los bajos valores de incremento de peso se atribuyen a los decrecientes porcentajes de alimentación suministrados en cada tratamiento y que el biofloc no suplió como alimentación complementaria para esta especie.

Según algunos autores, para el uso de la tecnología BFT y la selección de la especie a cultivar, se debe tener en cuenta su capacidad de tolerar altas concentraciones de sólidos en el agua^[41]. Otros estudios, que han sido realizados con el uso de biofloc como fuente de alimento *in situ*, señalan que los bioflocs pueden ser ocupados por diferentes especies de cultivo y, sin embargo, su comportamiento productivo depende de las características de la especie, sus hábitos alimenticios, el tamaño del animal, el tamaño y la densidad de la masa floc^{[12] [42] [43]}.

En otros estudios con especies nativas tropicales, como *Colossoma macropomum*, se observó que el BFT no mejoró la producción y crecimiento de la especie, comparado con el sistema tradicional de cultivo^[44]. Hay que resaltar que para el uso de especies alternativas en sistemas BFT, se debe considerar el estudio de algunos requisitos importantes, como las adecuadas densidades (kg/m^3) y la calidad de agua requerida por la especie a cultivar, en especial la concentración de compuestos nitrogenados y la cantidad de sólidos en el agua^[45].

Tabla 2. Efecto de las diferentes relaciones C:N en el comportamiento productivo de alevinos de óscar *Astronotus ocellatus*.

Variable	Tratamientos (Relación C:N)		
	T1 (15:1)	T2 (20:1)	T3 (25:1)
Supervivencia (%)	66,7a	98,3b	95,0b
Peso inicial (g)	1,67±0,37a	1,67±0,37a	1,67±0,37a
Peso Final (g)	3,84±0,82a	3,94±1,1a	3,72±0,9a
IP (g)	9,69±5,99a	9,78±4,80a	8,19±5,33a
IT (cm)	0,38±0,15a	0,34±0,24a	0,31±0,23a
TCS (%)	1,21±0,86a	1,22±0,79a	1,04±0,75a
FCA	3,98±6,83a	2,42±4,05b	4,23±3,60a
B/C	1,81	2,67	2,50

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tanto el incremento de peso, como el incremento de talla, presentaron un comportamiento lineal en el periodo de estudio en todos los tratamientos, sin que las diferencias fueran significativas ($p > 0,05$), tal como se muestra en la Figura 3.

Conversión alimenticia (CA). La mejor conversión alimenticia se presentó en el tratamiento T2 (20:1), con un valor de $2,42 \pm 4,05$,

mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) con los demás tratamientos. Varios estudios han demostrado que los BFT pueden sustituir la alimentación de animales acuáticos y hasta promover su crecimiento, tal es el caso de especies con gran potencial comercial son las carpas *C. auratus*^[28], los langostinos de agua dulce *M. rosenbergii* y *M. amazonicum*^[42], camarón blanco *Litopenaeus vannamei*^[46] y tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*^[20].

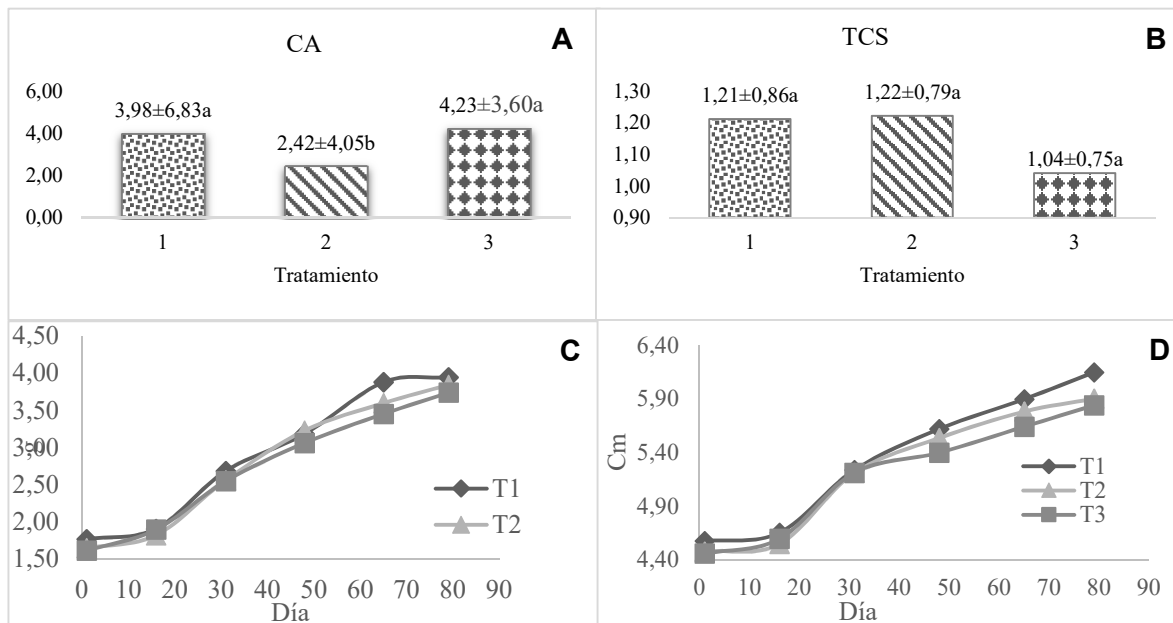


Figura 2. Resultados por tratamiento, en conversión alimenticia(A), tasa de crecimiento simple (B), incremento de peso (C) e incremento de talla (D).

Existen varios trabajos en los que se reporta valores adecuados de cultivo, tanto en crecimiento como supervivencia de esta especie, destacando trabajos realizados con probióticos^[47], en

donde los alevinos alimentados con un suplemento de protexin, en una dosis de 0,15 g/kg de alimento, mostraron diferencias con el control, el peso final ($35,07 \pm 1,19$ g), la ganancia de

Artículo de Investigación

peso corporal ($30,17 \pm 1,08$ g) y la CA (entre 1,13 y 1,23) más altos, en un estudio durante dos meses. También se ha implementado el uso de carotenoides en la alimentación de óscar, obteniendo buenos resultados en el crecimiento (GP=0,6% y FCA $1,5 \pm 0,3$) al utilizar astaxantina como suplemento alimenticio (200 mg/kg) en 50 días de cultivo en peces juveniles ($25,6 \pm 0,6$ g)^[48].

En otras especies se han reportado conversiones alimenticias dentro del mismo rango, al ser comparadas con la presente investigación, como los reportes de Azim y Little^[10], cuando evaluaron el desempeño de tilapia nilótica en TBF usando niveles de proteína de 24% PB y 35% PB, quienes reportaron factores de conversión en el rango de 3,4 y 3,5, respectivamente; al igual que Widanarni y Maryam^[49], quienes reportan conversiones entre 1,4 (25 tilapias/m³) y 2,0 (100 tilapias/m³).

Finalmente, es importante aclarar que los resultados pueden variar según las condiciones experimentales de cada autor; sin embargo, la explicación a los valores aquí obtenidos pueden estar relacionados con las necesidades alimenticias propias de la especie^[50], al no ser satisfechas tanto por el concentrado suministrado, como por el floc del medio de cultivo, ya que, debido a la tendencia carnívora de esta especie, sería necesario un alimento con mayor contenido de proteína. Esto es ratificado por Torres

et al^[51], quien indica que el uso de nutrientes por el pez óscar es similar a juveniles de los peces carnívoros.

Análisis parcial de costos. Para el análisis, se tuvo en cuenta únicamente los costos variables: costo de alevinos, alimento de 35% PB, melaza, bicarbonato y sal, insumos mayormente utilizados en el experimento.

Los resultados obtenidos muestran valores positivos en todos los tratamientos, debido a que por ser una especie ornamental su valor como alevino supera al de cualquier especie de cultivo. El mayor índice en la relación beneficio/costo se reporta en el tratamiento T2 (15:1) con 2,67, lo que indica que por cada peso invertido se obtendrán 2,67 pesos.

De acuerdo con la representación porcentual del total de costos, la adquisición de los alevinos representó el mayor costos (>90%) que el alimento concentrado ($\approx 5\%$); resultado muy cercano al obtenido por Kubitza^[8] quien reportó la compra de juveniles como el ítem de mayor costo (46%), por encima del costo alimento (37%).

Los resultados descritos anteriormente permiten sugerir la viabilidad comercial que ofrece el sistema biofloc en la producción de alevinos de óscar, costos que se diluyen debido a los rendimientos obtenidos.

CONCLUSIONES

La especie de cultivo registró su mejor índice B/C (2,67) cuando se utilizó una relación C:N de 20:1 (T2), alimentados con 35% de PB, método con el cual se puede alcanzar incrementos de peso $9,78 \pm 4,80$ gramos y supervivencia de 98,3% en cultivo bajo condiciones experimentales que se pueden mejorar mediante algunos

controles en el volumen de sólidos; el cual también garantiza óptimas condiciones de calidad de agua para la especie.

Los resultados del presente estudio demuestran el potencial de la tecnología BFT para esta especie, siempre y cuando se realicen los ajustes descritos, para optimizar la tecnología.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este trabajo agradecen al Programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño y a la Fundación Orinoquía, por fomentar y financiar este proyecto de investigación. Igualmente al señor Steven

Earl Jensen Bennion, por su confianza y total apoyo al desarrollo del proyecto. A todas las personas que hacen parte de la Fundación Orinoquía por permitirnos trabajar en conjunto, por su amabilidad y orientación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Froese R and Pauly D. Editors. Fish Base. World Wide Web electronic publication. Consultado el [2 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: www.fishbase.org.
- [2] Ortega-Lara A. Guía Visual de los Principales Peces Ornamentales Continentales de Colombia. Serie Recursos Pesqueros de Colombia. AUNAP. Ortega-Lara A, Puentes V, Barbosa LS, Mojica H, Gómez SM, Polanco-Rengifo O (Eds.). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, AUNAP ©, Fundación FUNINDES ©. Santiago de Cali, Colombia, 2016; 112 p.
- [3] Galvis N, Sánchez-Duarte EP, Mesa-Salazar L, López-Pinto Y, Gutiérrez EM, Gutiérrez-Cortés A, Leiva Castaño M, Castellanos Castillo C. Peces de la Amazonía colombiana con énfasis en especies de interés ornamental. Bogotá: INCODER; 2007.
- [4] Gonzalez E, Varona MP, Cala P. Datos biológicos de óscar, *Astronotus ocellatus* (pisces: cichlidae), en los alrededores de Leticia, Amazonia. *Dahlia*, No. 1., 1996; pp 51-62.
- [5] Castillo-Pastuzan E, Novoa-Serna J, Álvares-Perdomo N, Lema-Arias M, Gallardo-Aza R, Collazos-Laso F y Eslava-Mocha P. Rayas, Óscares y arawanas: Introducción al cultivo de tres especies en el río Bitá, Puerto Carreño. Vichada, 2016.
- [6] Rosa C. Apaiari u Ósacar (Agassiz, 1831). 2006. [En línea]. Consultado el [10 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: www.photographia.com.br/peixe03_jpg_view.htm.
- [7] Collazos-Lasso LF, Arias-Castellanos JA. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT): Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión, *Orinoquía*, 2015; (19)1: 77-86.
- [8] Kubitz F. Cultivo de tilapias en sistema de “bioflocos”, sin renovación de agua. *Panorama da Acuicultura*. 2011.
- [9] Hari B, Kurup BM, Varghese JT, Schrama JW, Verdegem MCJ. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, 2004; 241: 179–194.
- [10] Azim M, Little D. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 2008; 283: 29-35.
- [11] De Schryver P, Verstraete W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresour. Technol.*, 2009; 100 (3): 1162–1167.
- [12] Avnimelech Y. *Biofloc Technology: A practical guide book*. The World Aquaculture Society. 2009; 272 p.
- [13] Craig LB, Andrew JR, Jhon WL, Avnimelech Y. *Biofloc-based aquaculture system: Aquaculture production systems*. Edited by James Tidwell. 2012; 12: 278-306.
- [14] Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. *Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry, Biomass Now. Cultivation and Utilization*. Miodrag Darko M (Ed.) (Chapter 12). 2013.
- [15] 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): 511-20.
- [16] Ekasari J, Azhar MH, Surawidjaja EH, Nuryati S, De Schryver P, Bossier P. Immune response and disease resistance of shrimp fed biofloc grown on different carbon sources. *Fish Shellfish Immun.*, 2014; 41: 332 – 339.

- [17] Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Sommerfelt ST. Microbial biofloc and proteins levels in green tiger shrimp: Recirculation Aquaculture System. New York: Caruga Aqua Ventures, 2002; 748 p.
- [18] Ebeling J, Timmons M, Bisogni J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture in aquaculture production systems. *Aquaculture*, 2006; 257: 346–58.
- [19] Timmons MB, Ebeling JM. *Recirculating Aquaculture*. 2nd ed. Ithaca, NY: CayugaAqua Ventures, 2007. 948 p.
- [20] Pérez-Fuentes JA, Hernández-Vergara MP, Pérez-Rostro CI, 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.
- [21] Schneider O, Blancheton JP, Varadi L, Eding EH, Verreth JAJ. Cost price and production strategies in European recirculation systems: Linking tradition & technology highest quality for the consumer. Florence, Italy: World Aquaculture Society, 2006.
- [22] Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 1999; 176: 227-35.
- [23] Emerenciano M, Cuzon G, Gaxiola G. Tecnología de biofloc (BFT): perspectivas para la Península de Yucatán. In: Recursos Costeros del Sureste: tendencias actuales en investigación y estado del arte. Sánchez AJ, Brito-Pérez R, Chiappa-Carrara X (Eds.). Mérida, Yucatán, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México and Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Yucatán, 2012.
- [24] Ekasari J, Angela D, HadiWaluyo S, Bachtiar T, Surawidjaja EH, Bossier P, Schryver PD. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, 2014; 426–427.
- [25] Poli MA, Schweitzer R, Oliveira-Nuñer A. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: effect of suspended solids in the performance of larvae. *Aquacultural Engineering*, 2015; 2-17.
- [26] Abu-Bakar NS, Mohd-Nasir N, Lananan F, Abdul-Hamid SH, Shiung-Lama S, Jusoh A. Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish (*Clarias gariepinus*) utilizing bioflocs technology. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015; 100: 100–106.
- [27] Liu L, Hu Z, Dai X, Avnimelech Y. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture*, 2014; 79–86.
- [28] Wang G, Yu E, Xie J, Yu D, Li Z, Luo W, Qiu L, Zheng Z. Effect of C/N ratio on water quality in zero-water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. *Aquaculture*, 2015; 443: 98–104.
- [29] Rocha-Ferretto AD. Avaliação do potencial de criação de juvenis de tainhas mugil cf. hospes e mugil liza em sistema de bioflocos. Rio Grande, RS, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande, 2012.
- [30] Poleo G, Aranbarrio JV, Mendoza L, Romero O. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesq. Agropec.*, 2011; 46: 429-435.
- [31] Arias CJA, Novoa SJ, Collazos LLF. Resultados de un experimento de cultivo con tecnología biofloc de *Piaractus brachypomus*. XXI Jornada de Acuicultura IALL, Villavicencio-Colombia, 2015.

- [32] Oficina de Planeación. Alcaldía de Puerto Carreño - Vichada. Consultado el 2 de Agosto de 2016. [En línea] Disponible en Internet: www.alcaldiapuerto_carreño.gov.co/oficinadeplaneacionmunicipal
- [33] Gutierrez SM, Schofield PJ, Prodocimo V. Salinity and temperature tolerance of an emergent alien species, the Amazon fish *Astronotus ocellatus*. *Hydrobiologia*, 2016; DOI 10.1007/s10750-016-2740-8.
- [34] Rakocy J, Masser M, Losordo T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC, 2006; 454: 1-16.
- [35] Mettam J. An investigation into the use of gill pathologies in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as a welfare score reflecting water quality. Thesis. UK: University of Stirling, 2005.
- [36] Noble AC, Summerfelt ST. Disease encountered in rainbow trout cultured in recirculating system. *Annual Review of Fish Diseases*, 1996; 65–92.
- [37] Xia Y, Yu EM, Xie J. Analysis of bacterial community structure of bio-floc by PCR-DGGE. *J. Fish. China* 36, 2012; 10: 1563–1571.
- [38] González P, Quintans P, Vizcaíno M, Miguel R, González J, Pérez GR. 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.
- [39] Asaduzzaman M, Wahab M, y Verdegem M. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 2008; 280: 117–123.
- [40] Luo G, Gao Q, Wang C, Liu W, Sun D, Li L, Tan H. 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*, 2014; 422: 1-7.
- [41] Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 2012; 351–356.
- [42] Crab, R; Chielens B, Wille M, Bossier P, Verstraete W. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture*, 2010; 41: 559-567.
- [43] Crab R, Kochva M, Verstraete W, Avnimelech Y. Bio-flocs technology application in overwintering of tilapia. *Aquaculture Engineering*, 2009; 40:105–112.
- [44] Itani AL, Neto ET, Silva SL, Araújo ML, Lima AF, Barbosa JM. Efeito do sistema heterotrófico no crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum*). X jornada de ensino, pesquisa e extensão. Recife, 2010.
- [45] Emerenciano-Maurício G. Espécies alternativas em sistemas de bioflocos. Florianópolis: Aquáticos (Ianoa/udesc), 2016.
- [46] Xu WJ, Pan LQ, Zhao DH. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture*, 2012; 147–153.
- [47] Firouzbakhsh F, Noori F, Khalesi MK. Effects of a probiotic, protexin, on the growth performance and hematological parameters in the Oscar (*Astronotus ocellatus*) fingerlings. *Fish Physiol Biochem.*, 2011; 37: 833–842.
- [48] Alishahi M, Karamifar M, Mesbah M. Effects of astaxanthin and *Dunaliella salina* on skin carotenoids, growth performance and immune response of *Astronotus ocellatus*. *Aquacult Int.*, 2015.

Artículo de Investigación

- [49] Widanarni J, Maryam S. Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis* sp.: Cultured at different stocking densities. *Journal of Biosciences*, 2012; 19: 73-80.
- [50] Siva JWB. Biología e cultivo do apaiari *Astronotus*. Baldisseroto B, Gomes LC (Eds.) *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. 363-387.
- [51] Torres do Nascimento TM, Perez-Fabregat T, Rodrigues LA, Sakomura N, Batista J, Fernandes K. Effects of different sampling intervals on apparent protein and energy digestibility of common feed ingredients by juvenile oscar fish (*Astronotus ocellatus*). *Acta Scientiarum-Animal Sciences*, 2012; 34: 143-147.