



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y COMPOSICIÓN  
QUÍMICA CORPORAL DE LA TILAPIA GRIS DEL NILO (*Oreochromis  
niloticus*) DURANTE EL PERIODO DE ENGORDA BAJO SISTEMAS DE  
CULTIVO TRADICIONAL Y CON TECNOLOGÍA BIOFLOC.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

ESTHER PANDAL BAÑOS

Asesor:

MVZ. EPA. Luis Andrés Castro Fuentes.

Ciudad Universitaria, Cd.Mx., 2019





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, que me han brindado siempre su apoyo, cariño y comprensión, que me han educado e inculcado los valores que han hecho de mi la persona que soy ahora.

A mi hermana, por tu enorme cariño, tus grandes consejos y tus palabras de aliento en todo momento, gracias por tanto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme el privilegio de formar parte de ella.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a todos sus profesores por darme los conocimientos necesarios para formarme como profesionista.

A mis padres y a mi hermana, por comprensión y motivación en todo momento durante la elaboración de este trabajo.

A Karen, por brindarme su amistad. A Edgar, por sus palabras, su conocimiento y su comprensión para este proyecto.

A mi asesor MVZ EPA Luis Andrés Castro Fuentes, por transmitirme sus conocimientos en el área acuícola y en estadística, por su apoyo a lo largo de este trabajo y por contagiarme ese deseo de explorar aún más el mundo de la acuicultura.

A la MVZ EPA María de la Luz Chavacán Ávila, por darme la oportunidad de estar en el Área de Organismos Acuáticos, apoyarme en mi formación profesional y ampliar mis conocimientos.

A la Dra. Laura Guadalupe Espinosa Montaña, por su gran apoyo y paciencia al brindarme sus conocimientos estadísticos para este trabajo.

A todos los académicos que forman parte del área de organismos acuáticos, por sus palabras. A Mir, Fer y Eloy por su gran apoyo durante mis muestreos y fileteo de mis peces.

Al personal del Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, a la Química Águeda García Pérez y al MVZ Antonio Venancio, por permitirme participar en los análisis de laboratorio.

A mis sinodales Biól. Germán Muñoz, Q.A. Águeda García, MVZ María de la Luz Chavacán, MVZ Luis Andrés Castro e Ing. Martha Salazar por la evaluación de esta tesis.

# CONTENIDO

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS.....	22
DISCUSIÓN .....	28
CONCLUSIÓN .....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS. FIGURAS .....	69

## RESUMEN

PANDAL BAÑOS ESTHER. Evaluación de parámetros productivos y composición química corporal de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante el periodo de engorda bajo sistemas de cultivo tradicional y con tecnología biofloc (bajo la dirección de: MVZ EPA Luis Andrés Castro Fuentes).

La tilapia gris del Nilo es una de las especies más consumidas en todo el mundo, posee características que permiten su cultivo en sistemas sustentables con nulo o poco recambio de agua como el sistema con tecnología biofloc, el cual aporta un complemento en la nutrición de los organismos cultivados. Para determinar el efecto del sistema biofloc sobre la calidad de agua, las variables productivas y la composición química corporal de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) se realizó un experimento durante un periodo de 120 días, con dos tratamientos y tres repeticiones: sistema tradicional (ST) y sistema biofloc heterótrofo (BFT). Se emplearon organismos monosexo machos con peso promedio inicial de  $109.88 \pm 39.29$  g a una densidad de siembra de 100 peces/m<sup>3</sup>, alimentados con pellet extruido con 32%PC. El peso final fue significativamente mayor en el sistema tradicional ( $279.93 \pm 78.51$  g) que en el sistema biofloc ( $183.49 \pm 38.57$  g). El consumo de agua fue significativamente menor en el sistema biofloc ( $1.38 \pm 0.15$  m<sup>3</sup>) con respecto al sistema tradicional ( $48.4 \pm 0.0$  m<sup>3</sup>). El porcentaje de proteína cruda en el filete de los organismos cultivados en el sistema tradicional fue significativamente mayor ( $17.69 \pm 0.42\%$ ) en relación al sistema biofloc ( $16.56 \pm 0.07\%$ ).

## **INTRODUCCIÓN**

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas, con la intervención del hombre en el proceso de producción.<sup>1</sup>

En México, ésta actividad nace como un apoyo social a las comunidades rurales, con el cultivo de especies de tilapia y carpa en pequeños cuerpos de agua y unidades de producción para el autoconsumo, con el fin de incrementar el consumo de proteína animal de elevado valor biológico y mejorar los niveles nutricionales de la población, contribuyendo a la seguridad alimentaria y nutricional humana.<sup>2</sup>

Ante la creciente expansión de la industria acuícola y la demanda de productos pesqueros por el aumento de la población, se prevé un incremento en la producción de alimentos de alta calidad, seguros y sanos, obtenidos con técnicas ambientalmente aceptables (desarrollo sustentable).<sup>1</sup>

La tecnología biofloc, es una alternativa sustentable de cultivo en peces, el cual se caracteriza por ser un sistema cerrado, con poco o nulo recambio de agua y con una biota predominantemente aeróbica y heterótrofa.<sup>3</sup> Estas comunidades bacterianas se desarrollan a partir del nitrógeno inorgánico proveniente de restos de materia orgánica y la adición de carbono orgánico al sistema,<sup>4</sup> en donde una aireación constante y profusa, desarrolla y mantiene en suspensión agregados microbianos (flóculos)<sup>3</sup> ricos en proteína y otros nutrientes como fibra,

carbohidratos, lípidos, aminoácidos, vitaminas y minerales, que son utilizados como un complemento alimenticio para los organismos cultivados.<sup>5, 6</sup>

La calidad nutricional del biofloc puede variar substancialmente entre 12 a 49% de proteína cruda, y depende de la conformación de la microbiota, la relación de  $C_{orgánico}:N_{inorgánico}$ , la intensidad de la luz y la salinidad.<sup>7</sup>

La cantidad de flóculos consumidos por parte de los peces depende muy probablemente de la especie, sus características de alimentación y la talla de los organismos; además del tamaño y la densidad del flóculo.<sup>8</sup>

Una de las especies más cultivadas en el sistema biofloc es la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*),<sup>9</sup> ya que tiene un crecimiento acelerado y una tolerancia a: altas biomásas (20-30 kg/m<sup>3</sup>), bajas concentraciones de oxígeno disuelto (~3 mg/L)<sup>10</sup>, amplios rangos de pH (4–11), salinidad (5-15 ‰),<sup>11</sup> amoníaco (0.6–2 mg/L), y presenta resistencia a enfermedades.<sup>6</sup>

En general, el pescado es uno de los alimentos más completos que se puede ofrecer a la población por la calidad y cantidad de nutrimentos que aporta; la ingesta diaria de proteínas recomendada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) es del 10% al 15%, una ración promedio de 150 g de pescado cubre más de la mitad de éste requerimiento.<sup>2</sup> Su valor alimenticio se puede establecer por medio del análisis de diferentes nutrientes en su composición química corporal, los más frecuentemente considerados son el contenido de proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales.<sup>12</sup>

Las tilapias se encuentran entre las especies de peces más consumidas en todo el mundo; por lo que la composición de nutrientes de ésta especie es de gran interés para el acuicultor y el consumidor, ya que significa tanto su eficiencia metabólica como su valor nutricional.<sup>13</sup>

El contenido proteico en la carne de tilapia es de 23.34%,<sup>12</sup> éste valor es elevado como los encontrados en la carne de bovino (22.3%), pollo (22.8%) y cerdo (22.8%);<sup>14</sup> además de ser altamente digerible, proporciona todos los aminoácidos esenciales requeridos por el humano<sup>15</sup> y contiene un excelente balance de aminoácidos esenciales, y de Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGPI) de la serie  $\omega 3$  y  $\omega 6$ .<sup>12</sup>

Esta calidad de nutrientes puede variar por diversos factores intrínsecos como la genética, sexo, edad; y factores extrínsecos como las variables físico-químicas del agua, la composición de la dieta, frecuencia de alimentación y cantidad de alimento proporcionado,<sup>16</sup> por lo que se deduce que los peces cultivados en el sistema biofloc, el cual aporta un complemento alimenticio constante, incrementen su productividad y la calidad nutricional de la carne.

## ANTECEDENTES

En la década de los 70's, la tecnología biofloc (BFT por sus siglas en inglés) se desarrolló en el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar, Centro Oceánico del Pacífico (Ifremer-COP) con diferentes especies de peneidos y compararon éste sistema de cultivo como un "rumen externo" debido a la acción metabólica de los microorganismos presentes en el agua de cultivo.<sup>11</sup>

En 1980, un programa científico francés "Ecotron" fue iniciado por Ifremer-COP, en el cual se explica la existencia de interrelaciones entre el agua, las bacterias nitrificantes y la fisiología nutricional del camarón.<sup>11</sup>

Para 1990, se inició el cultivo de peces o camarones en estanques con intercambio limitado de agua en el Centro Waddel Mariculture en Estados Unidos de América (EUA); y en el caso de la tilapia se desarrolló la idea del cultivo en Israel, pero fue realizado en EUA. Este concepto surgió como una propuesta alternativa para disminuir los daños ambientales ocasionados por la acuicultura.<sup>17</sup>

En el sistema biofloc existen comunidades microbianas que ayudan a minimizar o evitar recambios de agua, produciendo como beneficio adicional, proteína microbiana que puede ser utilizada como alimento.<sup>18</sup>

En estanques a la intemperie con tecnología biofloc, existe una mezcla compleja de algas y bacterias que controlan la calidad del agua,<sup>19</sup> con un aumento en la proporción  $C_{orgánico}:N_{inorgánico}$ .<sup>11</sup>

Los resultados del cultivo de tilapia durante la etapa de engorda en esta modalidad varían en cuanto a los datos de producción: Vázquez<sup>20</sup> comparó la supervivencia, el crecimiento, el factor de conversión alimenticia y el rendimiento en filete de dos grupos genéticos cultivados en sistemas BFT alimentados con diferentes niveles de proteína cruda (32%, 25% y únicamente floc), al término de 90 días, las tilapias grises con un peso inicial  $241 \pm 12.0$  g alcanzaron el peso final de 483.6, 480.4 y 241.7 g respectivamente, sin diferencias significativas entre los tratamientos con alimento comercial pero aquellos individuos que consumieron únicamente floc, obtuvieron el menor peso final, ganancia de peso y rendimiento en filete.

Rodrigues y colaboradores<sup>21</sup> cultivaron tilapias durante 145 días en sistema biofloc con una fuente de carbono de melaza líquida comparándolo con un sistema de agua clara con recambio del 100% diario, los organismos con un peso inicial de  $72.6 \pm 6.83$  g alcanzaron el peso final de  $339.21 \pm 20.67$  g y  $409.84 \pm 23.69$  g respectivamente. El sistema de agua clara registró el mayor peso final, ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento y productividad. La supervivencia y el factor de conversión alimenticia fueron similares entre tratamientos.

Por otra parte, algunos sistemas biofloc han sido instalados dentro de edificios cerrados sin exposición a la luz natural, donde solo los procesos bacterianos controlan la calidad del agua,<sup>19</sup> y utilizan para su crecimiento y mantenimiento, los subproductos nitrogenados producidos por los microorganismos autótrofos y la fuente de carbono.<sup>11</sup>

Los resultados de producción de la engorda de tilapia en el sistema biofloc dentro de edificios cerrados sin exposición a la luz natural son mayores o similares a los de un sistema tradicional con recambio de agua, contrario a lo que registran aquellos sistemas a la intemperie en la misma fase de producción.

Azim y Little<sup>22</sup> cultivaron tilapia gris en esta modalidad de sistema biofloc con dos niveles de proteína cruda (35% y 24%) comparándolos con aquellos cultivados en un sistema de recirculación de agua con un nivel de proteína cruda del 35%. Al término de 90 días, los organismos cultivados en el sistema biofloc con un peso inicial de  $100.69 \pm 13.61$  g obtuvieron el mayor peso final ( $140.72 \pm 27.26$  g y  $138.58 \pm 24.99$  g respectivamente), con un menor factor de conversión alimenticia ( $3.51 \pm 0.44$  g y  $3.44 \pm 0.45$  g respectivamente); con supervivencias similares entre tratamientos.

Liu y colaboradores<sup>23</sup> estudiaron el crecimiento de la tilapia gris del Nilo, la calidad de agua y la comunidad microbiana en un sistema biofloc heterótrofo y en un sistema sin adición de carbohidratos. Al término de 56 días, los organismos cultivados con un peso inicial de  $99.62 \pm 7.24$  g, alcanzaron un peso final de  $263.30 \pm 41.92$  g y  $248 \pm 35.05$  g respectivamente; sin diferencias significativas en la supervivencia, ganancia de peso, productividad y factor de conversión alimenticia.

Por otro lado, los peces utilizan en gran medida las proteínas como fuente de energía, a diferencia de los animales terrestres que utilizan los carbohidratos y lípidos.<sup>24</sup> El contenido de proteína en peso seco de biofloc varía del 25 a 50%.<sup>19</sup>

Los flóculos pueden ser usados por la tilapia como un complemento alimenticio, ya que del 20 al 30% del crecimiento la tilapia se deriva del consumo y digestión de proteína microbiana; reflejándose en una mejora de la conversión alimenticia.<sup>19</sup>

El biofloc no solo proporciona alimento complementario *in situ*, sino también producen enzimas extracelulares<sup>25</sup> que rompen las proteínas, carbohidratos y otros ingredientes nutricionales, lo que facilita la digestibilidad y absorción del alimento.

22, 25

El tipo de dieta que se ofrece a los peces cultivados tiene un efecto significativo en la composición de nutrientes de la carne, y puede adaptarse para producir un perfil de nutrientes deseables en la especie cultivada.<sup>13</sup>

Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> reportaron que la composición química corporal de la tilapia en un sistema de cultivo tradicional es de 72.36% en humedad, 23.34% en proteína, 2.26% en grasas y 1.94% en cenizas; Lorenzo,<sup>26</sup> con el mismo sistema de cultivo, menciona que la composición química corporal de la tilapia es de 78.1±0.18% en humedad, 22.2±0.04% en proteínas, 1.3±0.01% en lípidos y 1.1±0.008% en cenizas. Flores,<sup>27</sup> con un sistema de cultivo de biofloc, reporta un 77.6% en humedad, 21.9% en proteína, 1.36% en cenizas y 3.31% en lípidos.

En el caso de los aminoácidos presentes (g aa/100 g muestra) en los filetes de tilapia cultivada en un sistema tradicional, Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> reportaron valores para algunos aminoácidos esenciales; 0.486 en Lisina, 1.625 en Histidina, 0.807 en Treonina, 1.413 en Valina, 0.555 en Metionina, 1.583 en Isoleucina, 1.454

en Leucina y 1.117 en Fenilalanina. Jung y colaboradores,<sup>28</sup> reportaron una concentración de aminoácidos en filetes de tilapia cultivada en sistemas biofloc autótrofo de Lisina  $1.35\pm 0.09$ , Histidina  $0.54\pm 0.03$ , Treonina  $0.73 \pm 0.03$ , Arginina  $1.13\pm 0.09$ , Valina  $0.84\pm 0.05$ , Metionina  $0.47\pm 0.03$ , Isoleucina  $0.76\pm 0.05$ , Leucina  $1.25\pm 0.07$  y Fenilalanina  $0.68\pm 0.04$ . Hasta el momento no ha sido reportada la concentración de aminoácidos en filetes de tilapia cultivada en sistema biofloc heterótrofo.

Si el sistema biofloc controla la calidad del agua de cultivo y aporta un complemento alimenticio constante, entonces los peces cultivados en este sistema deberán incrementar su productividad y la calidad nutricional de la carne con respecto al sistema tradicional.

## **JUSTIFICACIÓN**

La tilapia gris del Nilo es una de las especies más consumidas en todo el mundo, por lo que resulta de gran interés para los acuicultores. Posee características que permiten su cultivo en sistemas sustentables con nulo o poco recambio de agua como el sistema con tecnología biofloc, el cual aporta un complemento en la nutrición de los organismos cultivados y puede aumentar la calidad nutricional, aspecto que puede ser valioso para el consumidor.

Por lo anterior, la importancia del presente trabajo consiste en evaluar los parámetros productivos, la composición química corporal y los aminoácidos presentes en el filete de la tilapia gris del Nilo cultivada tanto en un sistema tradicional como en un sistema con tecnología biofloc en interior.

## **HIPÓTESIS**

La tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada en el sistema con tecnología biofloc incrementará sus variables productivas y composición química corporal comparada con aquella cultivada en un sistema tradicional.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar al término del periodo de engorda, las variables productivas y la composición química corporal de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema tradicional de agua clara y en un sistema con tecnología biofloc.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar las variables físico-químicas del agua en un sistema tradicional de agua clara y en un sistema con tecnología biofloc.
2. Evaluar las variables productivas al término del periodo de engorda: supervivencia, biomasa, ganancia diaria de peso, tasa específica de crecimiento, porcentaje de peso ganado, productividad, factor de conversión alimenticia, rendimiento en filete, y la relación consumo de agua/biomasa final de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un sistema tradicional de agua clara y en un sistema con tecnología biofloc.
3. Determinar la composición bioquímica del filete de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema tradicional de agua clara y en un sistema con tecnología biofloc.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante los meses de marzo a julio del 2017 en el área de piscicultura del Centro de Educación Ambiental Acuexcomatl (CEA A) ubicado en Av. Año de Juárez #1900 en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, en las coordenadas geográficas 19° 15' 43.070" latitud norte y 99° 01' 41.490" longitud oeste, a 2,248 msnm,<sup>29</sup> presenta un clima subhúmedo templado con una precipitación media anual de 200 mm y una temperatura media anual de 18°C.<sup>30,31</sup>

Para evaluar el desempeño productivo y la composición química corporal de los organismos se emplearon un total 240 peces de la especie tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) monosexo machos, provenientes de la etapa de pre-engorda con peso promedio de 109.88±39.29 g, colocados al azar en dos tratamientos con tres repeticiones: un sistema tradicional de agua clara (ST) y un sistema con tecnología biofloc (BFT), a una densidad de siembra de 40 organismos por estanque (100 peces/m<sup>3</sup>) durante 120 días.

Se utilizaron estanques rectangulares de polietileno con una capacidad de 400 L de agua, revestidos con fieltro negro para controlar el crecimiento excesivo de organismos autótrofos.

El sistema de aireación intensiva en el sistema tradicional consistió en dos difusores de aire de poro fino Sweetwater® ARL 15, y en el sistema BFT consistió en tres mangueras difusoras de alta eficiencia colocadas en el fondo de los estanques para

mantener una suspensión activa. El suministro de aire estuvo proporcionado por un soplador regenerativo Sweetwater® de 0.5 HP.

Todos los estanques fueron equipados con tres calentadores sumergibles SUNNY® SGH 300 para mantener una temperatura constante de 28°C.

Ambos tratamientos se abastecieron con agua de pozo. El sistema tradicional se mantuvo con un recambio de agua del 100% diario para eliminar los desechos orgánicos generados por los peces; y en el sistema BFT, el recambio de agua fue nulo y sólo se agregó agua semanalmente para reponer las pérdidas por evaporación. El volumen de agua añadido fue medido y registrado.

Los animales de ambos tratamientos se alimentaron con pellet extruido El Pedregal Silver Cup® de 3.5 mm con 32 % de proteína cruda en base a la técnica de saciedad aparente<sup>11</sup> tres veces al día (09:00, 12:00 y 15:00 h) de acuerdo con la tabla de alimentación del American Tilapia Association (ATA)<sup>32</sup> durante el periodo de engorda.

Las variables físico-químicas del agua, oxígeno, temperatura y salinidad, se determinaron diariamente dos veces al día (09:00 y 15:30 h) con un medidor multiparamétrico portátil HACH® HQ40D con sondas IntelliCALL™ LD010105 y CDC40105; simultáneamente, se midió el pH con un potenciómetro HANNA® HI 98130.

El amoníaco y los nitritos se midieron cada 24 horas (10:00 h) con un test de colorimetría NUTRAFIN TEST®. La medición de la transparencia se realizó diariamente utilizando el disco de Secchi (12:00 h).

Los nitratos se midieron semanalmente con un test de colorimetría NUTRAFIN TEST®. La dureza y alcalinidad fueron medidas cada 7 días usando un test de colorimetría LABORETT TETRA TEST®.

Para promover la formación de biofloc en el sistema BFT; se adicionó durante los primeros tres días experimentales una fuente de carbono orgánico que consistió en 95% melaza de caña [48% C] como fuente inmediata y 5% harina de trigo [71% C] como fuente diferida y soporte de fijación para el crecimiento de las bacterias heterótrofas,<sup>5</sup> considerando una relación carbono orgánico:nitrógeno inorgánico 20:1.<sup>4</sup> Posteriormente, cuando la concentración del Nitrógeno Amoniacal Total (NAT) alcanzó 1.2 mg/L,<sup>18</sup> se añadió únicamente melaza de caña [48% C] en una relación carbono orgánico: nitrógeno inorgánico de 10:1.<sup>33</sup>

Una vez generado el biofloculado, se midió el volumen de sólidos suspendidos totales cada 24 h tomando 1 L de agua de los cultivos a través de los conos Imhoff, con un tiempo de sedimentación de 15 min y posteriormente se registró el valor en mL/L.<sup>18</sup>

Cuando el pH disminuyó de 7.0, se hizo una corrección agregando bicarbonato de sodio para mantener constante la alcalinidad y el pH empleando la técnica utilizada por Bernardes y colaboradores.<sup>34</sup>

Cada 15 días se realizaron biometrías desde el inicio hasta el final del experimento del total de los organismos de cada estanque experimental y se pesaron en una báscula digital portátil TORREY®L- PCR- 20 con una precisión de  $\pm 2$  g. El desempeño productivo de los peces cultivados en ambos tratamientos se evaluó a través del cálculo de los siguientes modelos:

- Supervivencia (S): Estima el porcentaje de peces que viven al final del experimento.<sup>35</sup>

$$S = 100 (NF / NI)$$

En dónde:

NF= Número de peces al finalizar el experimento.

NI= Número de peces al iniciar el experimento.

100= Constante para expresar el resultado en porcentaje.

- Biomasa (B): Peso total de los organismos contenidos en un volumen determinado, expresado en kilogramos por metro cúbico.<sup>36</sup>

$$B = PT / V$$

En dónde:

PT= Peso total (kg).

V = Volumen de agua (m<sup>3</sup>).

- Ganancia Diaria de Peso (GDP): Incremento de peso ganado en un intervalo de tiempo equivalente a un día.<sup>11</sup>

$$\text{GDP} = (\text{PF} - \text{PI}) / t$$

En dónde:

PF= Peso final.

PI= Peso inicial.

t= Tiempo.

- Tasa Específica de Crecimiento (TEC): Estima el porcentaje de incremento de peso o talla de los organismos cultivados en un intervalo de tiempo determinado.<sup>37</sup>

$$\text{TEC} = ((\text{Ln PF} - \text{Ln PI}) / t) 100$$

En dónde:

Ln PF= Logaritmo natural de peso final.

Ln PI= Logaritmo natural del peso inicial.

t= Tiempo.

100= Constante para expresar el resultado en porcentaje.

- Porcentaje de Peso Ganado (PPG): Estima el porcentaje del incremento del peso corporal a lo largo del experimento.<sup>38</sup>

$$PPG = ((PF - PI) / PI) 100$$

En dónde:

PF= Peso final.

PI= Peso inicial.

100= Constante para expresar el resultado en porcentaje.

- Productividad (P): Producción en kilogramos por cada metro cúbico.<sup>38</sup>

$$P = (BF - BI)$$

En dónde:

BF= Biomasa final.

BI= Biomasa inicial.

- Factor de Conversión Alimenticia (FCA): Alimento utilizado para producir una unidad de peso de pez.<sup>38</sup>

$$FCA = AC / PG$$

En dónde:

AC= Alimento consumido.

PG= Peso Ganado.

- Rendimiento en filete (RF): Porcentaje del peso del pescado correspondiente a su filete.<sup>35</sup>

$$RF= 100 (PTF/ PTP)$$

En dónde:

PTF= Peso Total del Filete.

PTP= Peso Total del Pescado

100= Constante para expresar el resultado en porcentaje.

- Consumo de agua/biomasa final (CA:BF): Cantidad de agua utilizada durante el experimento en m<sup>3</sup> para producir 1 kg de biomasa.<sup>21</sup>

$$CA:BF= m^3/BF$$

En dónde:

m<sup>3</sup>= Volumen de agua utilizado.

BF= Biomasa Final

Para determinar el rendimiento en filete al finalizar el periodo de engorda se obtuvo una muestra del 10% de los peces cultivados en cada tratamiento. El método de eutanasia se realizó por medio del descenso de temperatura a menos de 3°C, lo que causó una sedación por choque térmico, e inmediatamente se insertó un estilete perforador en la cavidad craneal para producir la pérdida inmediata de la sensibilidad.<sup>39, 40, 41, 42</sup>

Para obtener el filete se realizaron cuatro incisiones, la primera consistió en un corte longitudinal desde la membrana branquiostegal hasta el poro anal para eviscerar en una sola intención, el segundo corte fue oblicuo alrededor del opérculo justo detrás de la aleta pectoral, seguido de un corte transversal en el límite caudal del pedúnculo, y a continuación se realizó un corte longitudinal en el dorso del pescado lo más cercano a las apófisis espinosas de las vértebras hasta obtener la porción muscular, finalmente se retiró la piel del músculo para obtener el filete.<sup>43</sup>

Posteriormente se tomaron cuatro muestras de 400 g de filete de manera aleatoria de cada tratamiento y se almacenaron en bolsas nuevas de plástico transparente, a una temperatura de 4°C;<sup>44</sup> dos de ellas se enviaron al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia para determinar humedad (950.02), proteína cruda (954.01), extracto etéreo (920.39), cenizas (942.05) y fibra cruda (973.18) mediante un Análisis Químico Proximal (AQP);<sup>45</sup> las dos muestras restantes se enviaron al Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química para determinar el perfil de aminoácidos.

**Análisis estadístico.**

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico JMP® 8.0.2 de SAS.<sup>46</sup> La diferencia estadística entre los tratamientos se determinó a través de la prueba T de Student para muestras independientes, después de verificar la homocedasticidad y normalidad de los datos. Los valores en porcentaje fueron transformados al arcoseno de la variable antes de ser analizados.<sup>47</sup>

## RESULTADOS

### Variables físico-químicas del agua

Los resultados de las variables de calidad de agua, obtenidas durante el periodo de engorda de 120 días en los sistemas tradicional y con tecnología biofloc se encuentran en el **Cuadro 1**.

**Cuadro 1.** Variables físico-químicas del agua en sistemas de cultivo tradicional y con tecnología biofloc.

Variable	Sistema tradicional			Sistema biofloc			Valor óptimo
	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.48	5.73	4.74±0.43 <sup>b</sup>	2.95	6.16	5.15±0.49 <sup>a</sup>	4.00–6.00 <sup>48</sup>
Temperatura (°C)	22.3	29.1	27.53±0.84 <sup>b</sup>	23.5	34.5	28.55±1.22 <sup>a</sup>	25.00–30.00 <sup>11</sup>
Amoniaco (mg/L)	0	1.12	0.28±0.24 <sup>a</sup>	0	0.68	0.005±0.05 <sup>b</sup>	0.00–0.25 <sup>48</sup>
Nitritos (mg/L)	0	3.3	1.98±1.05 <sup>a</sup>	0	17.5	1.79±1.05 <sup>a</sup>	0.30–0.80 <sup>48</sup>
Nitratos (mg/L)	0	110	53.52±44.72 <sup>a</sup>	0	250	48.03±55.25 <sup>a</sup>	20.00–50.00 <sup>48</sup>
Potencial de hidrógeno	6.1	8.96	8.12±0.34 <sup>a</sup>	5	8.82	6.79±0.99 <sup>b</sup>	6.00–8.00 <sup>48</sup>
Dureza General (mg/L)	17.9	179	86.84±35.18 <sup>b</sup>	35.8	895	443.71±286.38 <sup>a</sup>	75.00–150.00 <sup>48</sup>
Alcalinidad (mg/L)	35.8	161.1	79.88±30.45 <sup>b</sup>	35.8	196.9	119.66±43.68 <sup>a</sup>	20.00–120.00 <sup>48</sup>
Salinidad (‰)	0.12	0.35	0.20±0.03 <sup>b</sup>	0.95	4.91	2.77±1.07 <sup>a</sup>	5.00–15.00 <sup>11</sup>
Transparencia (cm)	15	35	28.41±3.83 <sup>a</sup>	1	17	3.19±1.3 <sup>b</sup>	25.00–35.00 <sup>49</sup>
Sólidos suspendidos totales (mL/L)	0	50	1.39±5.24 <sup>b</sup>	0	200	62.26±37.65 <sup>a</sup>	25.00–50.00 <sup>19</sup>

Literales diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística (P<0.05).

Los promedios de las variables físico-químicas de la calidad del agua: oxígeno disuelto (**Figura 1**), temperatura (**Figura 2**), potencial de hidrógeno (**Figura 3**),

alcalinidad (**Figura 4**), salinidad (**Figura 5**) y transparencia (**Figura 6**) se registraron dentro de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia en ambos sistemas de producción.

La dureza general (**Figura 7**) y los sólidos suspendidos totales (**Figura 8**) se mantuvieron dentro de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia en el sistema tradicional, no así para el sistema con tecnología biofloc.

Los promedios de los compuestos nitrogenados: amoníaco (**Figura 9**), nitritos (**Figura 10**) y nitratos (**Figura 11**) registraron valores promedio fuera del rango óptimo para la especie en el sistema tradicional, en cambio, en el sistema con tecnología biofloc el amoníaco y los nitratos se mantuvieron dentro de los rangos recomendados.

## VARIABLES PRODUCTIVAS

Los resultados de las variables productivas obtenidas en este trabajo se muestran en el **Cuadro 2**.

**Cuadro 2.** Variables productivas de la tilapia gris del nilo (*Oreochromis niloticus*) en sistemas tradicional y con tecnología biofloc.

Variable	Sistema tradicional			Sistema biofloc		
	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Supervivencia (%)	55.05	100	83.35±24.64 <sup>a</sup>	82.54	95.02	90.01±6.59 <sup>a</sup>
Peso inicial (g)	102	124	110.92±12.05 <sup>a</sup>	96	120	108.85 ± 12.59 <sup>a</sup>
Biomasa inicial (kg/m <sup>3</sup> )	10.27	12.49	11.1 0±1.20 <sup>a</sup>	9.53	12.01	10.89±1.25 <sup>a</sup>
Peso final (g)	116	458	279.93±78.51 <sup>a</sup>	100	280	183.49±38.57 <sup>b</sup>
Biomasa final (kg/m <sup>3</sup> )	22.56	29.92	26.24±5.19 <sup>a</sup>	15.28	17.23	16.36±0.99 <sup>b</sup>
Ganancia Diaria de Peso (g)	0.28	2.71	1.43±0.53 <sup>a</sup>	0.2	1.18	0.63±0.22 <sup>b</sup>
Tasa Específica de Crecimiento (%)	0.36	1.39	0.82±0.26 <sup>a</sup>	0.17	1.10	0.46±0.18 <sup>b</sup>
Porcentaje de Peso Ganado (%)	54.93	430.43	181.80±92.45 <sup>a</sup>	22.85	277.77	80.49±45.96 <sup>b</sup>
Productividad (kg/m <sup>3</sup> )	12.01	19.64	15.82±2.54 <sup>a</sup>	3.27	7.70	5.47±2.08 <sup>b</sup>
Factor de Conversión Alimenticia	1.72	2.25	1.99±0.37 <sup>a</sup>	2.42	3.38	2.83±0.49 <sup>a</sup>
Rendimiento en filete (%)	26.41	35.82	31.37±3.00 <sup>a</sup>	24.07	31.69	28.69±1.80 <sup>b</sup>
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	48.4	48.4	48.4±0.0 <sup>a</sup>	1.30	1.56	1.38±0.15 <sup>b</sup>
Consumo de agua/Biomasa final (m <sup>3</sup> /kg)	1.60	2.12	1.86±0.36 <sup>a</sup>	0.07	0.10	0.08±0.01 <sup>b</sup>

Literales diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística (P<0.05).

La supervivencia (**Figura 12**) y el factor de conversión alimenticia (**Figura 13**) no registraron diferencias significativas entre tratamientos. Las variables peso final, biomasa final, ganancia diaria de peso (**Figura 14**), tasa específica de crecimiento,

porcentaje de peso ganado, productividad y rendimiento en filete (**Figura 15**) fueron significativamente mayores en el sistema tradicional. El consumo de agua al final de 120 días fue significativamente menor en el sistema con tecnología biofloc (**Figura 16**). La biomasa producida respecto al consumo de agua al final del experimento fue significativamente menor en el sistema con tecnología biofloc (**Figura 17**).

### Calidad nutricional

En el **Cuadro 3**, se muestran los resultados de la calidad nutricional del biofloc a los 120 días de cultivo. La **Figura 18** señala el porcentaje de proteína digestible en pepsina del floculo.

**Cuadro 3.** Calidad nutricional del biofloc.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Azim y Little <sup>22</sup>	Rodrigues <sup>21</sup>	Luo <sup>50</sup>	Liu <sup>23</sup>
Materia seca	3.36	3.47	3.41±0.07	---	---	---	---
Humedad	96.53	96.64	96.68±0.07	---	---	---	---
Proteína cruda	26.23	26.32	26.27±0.06	37.93±2.38	33.22	30.90±9.04	26.12±0.62
Proteína digestible en pepsina	7.34	7.86	7.6±0.36	---	---	---	----
Extracto etéreo	0.01	0.03	0.02±0.01	3.16±0.31	1.25	1.27±0.61	7.18±0.14
Cenizas	0.82	0.82	0.82±0.0	13.38±1.35	13.68	---	--
Fibra cruda	0.45	0.56	0.50 0.07	6.27±0.44	4.84	---	---

En el **Cuadro 4**, se muestran los resultados de la calidad nutricional del filete de tilapia de ambos tratamientos.

**Cuadro 4.** Calidad nutricional del filete de la tilapia gris del nilo (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de cultivo tradicional y con tecnología biofloc.

Variable	Sistema tradicional			Sistema biofloc		
	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
Humedad	77.84	78.9	78.37±0.74 <sup>a</sup>	78.71	79.37	79.04±0.46 <sup>a</sup>
Materia seca	21.10	22.16	21.63±0.74 <sup>a</sup>	20.63	21.29	20.96±0.46 <sup>a</sup>
Proteína cruda	17.39	17.99	17.69±0.42 <sup>a</sup>	16.51	16.62	16.56±0.07 <sup>b</sup>
Extracto etéreo	1.16	2.33	1.74±0.82 <sup>a</sup>	1.11	1.33	1.22±0.15 <sup>a</sup>
Cenizas	1.20	1.21	1.20±0.00 <sup>a</sup>	1.15	1.18	1.16±0.02 <sup>a</sup>

Literales diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística (P<0.05).

El porcentaje de humedad, materia seca, extracto etéreo y cenizas no registraron diferencias significativas en los filetes de pescado de ambos tratamientos. El porcentaje de proteína cruda fue significativamente mayor en los filetes de pescado del sistema tradicional (**Figura 19**).

En la concentración de aminoácidos presentes en el filete de los organismos cultivados no fue posible realizar repeticiones debido al alto costo de la prueba. El **Cuadro 5**, presenta los resultados de aminoácidos del filete de los organismos cultivados en ambos tratamientos de muestras aunadas (**Figura 20** y **Figura 21**).

**Cuadro 5.** Aminoácidos presentes en el filete de tilapia gris del nilo (*Oreochromis niloticus*) en sistemas cultivo tradicional y con tecnología biofloc.

<b>Aminoácido</b>	<b>Sistema Tradicional g aa/100g muestra</b>	<b>Sistema biofloc g aa/100g muestra</b>
Lisina	1.97	2.30
Histidina	1.55	0.31
Treonina	1.19	2.33
Arginina	1.53	0.43
Valina	1.00	0.90
Metionina	0.92	0.99
Isoleucina	0.75	1.12
Leucina	0.78	1.42
Fenilalanina	1.63	8.09

## DISCUSIÓN

### Variables físico-químicas del agua

En el presente experimento, el oxígeno disuelto registró concentraciones dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia en ambos tratamientos, tal y como lo menciona Vinatea,<sup>48</sup> quien reporta que los niveles óptimos de oxígeno disuelto deben estar entre 4 y 6 mg/L, no obstante, se presentó una diferencia significativa entre tratamientos debido a que el sistema de aireación con mangueras difusoras de alta eficiencia requerida para mantener los sólidos en suspensión en el tratamiento con tecnología biofloc incrementó la concentración de ésta variable; resultados similares son descritos por Azim y Little<sup>22</sup> y por Rodrigues<sup>21</sup> quienes reportan una concentración de  $6.0 \pm 2.29$  mg/L y  $4.49 \pm 0.98$  mg/L respectivamente. Este incremento en la concentración de oxígeno disuelto no influyó de forma positiva en el peso final de los organismos cultivados en este sistema de producción.

La temperatura se mantuvo dentro de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia recomendados por El-Sayed,<sup>11</sup> la diferencia entre tratamientos se debe a los recambios constantes de agua en el sistema tradicional lo que favorece descensos de temperatura; caso contrario, el sistema con tecnología biofloc permite mantener de forma constante la temperatura e incluso puede incrementarla.

La concentración de amoníaco presentó una diferencia significativa entre tratamientos. En el sistema tradicional, el recambio total de agua del 100% diario no fue suficiente para disminuir las concentraciones elevadas de amoníaco que

resultan del metabolismo de los peces,<sup>48</sup> ya que evita la instauración de bacterias quimiolitótrofas que transforman el amoníaco hasta el nitrato;<sup>51, 52</sup> estas bacterias nitrificantes son naturalmente promovidas por la presencia de amoníaco y nitrito, y utilizan como soporte de fijación la materia floculada,<sup>53</sup> la cual es eliminada durante el reemplazo de agua,<sup>53</sup> y al realizarlo de forma diaria, no permite el tiempo de generación de las bacterias oxidantes de amoníaco y de nitrito, que se ha estimado en 25 y 60 h respectivamente.<sup>54</sup>

En cambio, la concentración de amoníaco en el sistema con tecnología biofloc se registró cercana al valor ideal, y fue resultado del control del metabolismo de la comunidad bacteriana heterótrofa sobre los organismos autótrofos (fotótrofos y quimiolitótrofos) a través de una proporción  $C_{orgánico}:N_{inorgánico}$ <sup>4, 51, 33, 52</sup> que promueve la captación de subproductos nitrogenados y la formación de biomasa bacteriana,<sup>24</sup> razón por la cual se registra una menor concentración en este sistema, coincidiendo con lo descrito por Muñoz.<sup>55</sup>

En la concentración de nitritos no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, los resultados en ambos sistemas de producción están fuera de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia señalados por Vinatea.<sup>48</sup> El nitrito es el contaminante más común en los sistemas de cultivo, se forma a partir de la oxidación metabólica del amoníaco y se acumula en los sistemas acuáticos como resultado de un desbalance de la actividad microbiana nitrificante.<sup>53, 56</sup>

Las bacterias nitrificantes son particularmente sensibles al pH, se ha reportado un rango óptimo de pH para las bacterias oxidadoras de nitrito (típicamente *Nitrobacter*) entre 7.2 a 7.7,<sup>57</sup> razón que puede estar relacionada con la alta concentración de nitritos determinada en el sistema con tecnología biofloc en el cual se registraron valores promedio de pH ligeramente ácidos que inhibieron el proceso de nitrificación de las bacterias oxidadoras de nitritos.<sup>57</sup> Por otra parte, el recambio total de agua cada 24 horas en el sistema tradicional,<sup>53</sup> no fue suficiente para mantener la concentración de éste compuesto nitrogenado dentro de los rangos óptimos para la engorda de tilapia,<sup>48</sup> no obstante, cuando los peces sufren de una intoxicación por nitritos se trasladan a agua limpia para que los niveles de metahemoglobina en la sangre disminuyan a valores fisiológicos normales (10% de la hemoglobina total) después de 24 h,<sup>58</sup> por lo que el recambio de agua diario pudo reducir el efecto negativo en los organismos cultivados en este sistema.

Por otro lado, en el sistema con tecnología biofloc, se registró una concentración elevada de nitritos durante la formación inicial de biofloc y parece ser una constante en este sistema mientras se desarrollan las bacterias oxidadoras de nitritos, una vez instauradas la concentración de este compuesto comienza a disminuir hasta valores ideales,<sup>11, 14, 22, 23, 36</sup> no obstante, su incremento pudo resultar en daños fisiológicos ya que afecta el proceso de regulación de iones en el cuerpo, y provoca anemia funcional e hipoxia tisular.<sup>58, 59</sup>

Una alta concentración de nitritos en el agua es un potencial factor desencadenante de estrés en los organismos acuáticos. Penetran al cuerpo de los peces a través de

las células branquiales eosinofílicas secretoras de cloro, y se acumulan en el plasma, donde oxidan el hierro bivalente de la hemoglobina de los eritrocitos a hierro trivalente, produciendo metahemoglobina, la cual es incapaz de transportar oxígeno. Los nitritos también pueden afectar el proceso de regulación del nivel de iones en el cuerpo, funciones cardiovasculares, y procesos endocrinos y excretorios. Los peces expuestos a concentraciones subletales momentáneas o crónicas son más propensos a las enfermedades infecciosas, lo que sugiere un impacto negativo de los nitritos en el sistema inmunitario de los peces.<sup>58</sup>

La concentración de nitratos no registró diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, los niveles determinados en el sistema tradicional se encuentran fuera del rango óptimo para el cultivo de tilapia recomendado por Vinatea.<sup>48</sup> Los nitratos son el producto final de la oxidación del amoníaco,<sup>48</sup> se forman a partir de la acción metabólica de las bacterias oxidadoras de nitritos;<sup>57</sup> en el sistema tradicional se registraron valores promedio de pH alcalinos que pudieron influir sobre el metabolismo de las bacterias por lo que se registraron valores elevados de nitratos, aunado a esto, se observa nuevamente que el recambio total de agua cada 24 horas en el sistema tradicional<sup>53</sup> no fue suficiente para mantener la concentración de éste compuesto nitrogenado dentro de los rangos óptimos para la engorda de tilapia.

La importancia de los nitratos dentro del ciclo del nitrógeno ha sido reconocida para la nutrición y el crecimiento del fitoplancton,<sup>60</sup> sin embargo, tiene la capacidad de oxidar la hemoglobina en metahemoglobina como sucede con los nitritos,<sup>48</sup> a pesar de ello, el nitrato es relativamente no tóxico para la tilapia, aunque la exposición

prolongada a niveles elevados de este compuesto puede disminuir la respuesta inmune e inducir la mortalidad.<sup>11</sup>

En sistemas cerrados éste compuesto puede tornarse potencialmente tóxico, en donde altos niveles pueden ser alcanzados como resultado de la nitrificación del nitrito.<sup>48</sup>

La concentración de nitrato se acumuló de forma gradual en los sistemas con tecnología biofloc, tal y como lo señalan Azim<sup>22</sup> y Rodrigues;<sup>21</sup> sin embargo, el uso del nitrato por las bacterias heterótrofas ha recibido menos atención que la descomposición y mineralización del nitrógeno orgánico<sup>60</sup> e inorgánico;<sup>4, 33</sup> se ha sugerido que la mayoría de las bacterias heterótrofas presentan el sistema asimilatorio nitrato reductasa, lo que les posibilita utilizar el nitrato como fuente de nitrógeno, y por lo tanto favoreció los valores promedio dentro de los rangos óptimos para el cultivo de la tilapia sugeridos por Vinatea.<sup>48</sup>

El potencial de hidrógeno se mantuvo dentro de los rangos óptimos para el cultivo de tilapia recomendados por Vinatea,<sup>48, 11</sup> no obstante presentó diferencia entre tratamientos. El recambio total de agua diario mantuvo constante el pH en valores alcalinos en el sistema tradicional. Por el contrario, en el sistema con tecnología biofloc se registró una tendencia hacia la acidificación la cual está asociada a la respiración oxidativa de los microorganismos que provoca una alta cantidad de dióxido de carbono que se acumula en el sistema;<sup>33, 36</sup> así también, la producción de biomasa bacteriana por parte de las bacterias heterótrofas consume la

alcalinidad y junto con el proceso de nitrificación resulta en la reducción del pH en los sistemas sin renovación de agua.<sup>19, 33, 55</sup>

La concentración de iones de hidrógeno en el agua afecta las respuestas de supervivencia, crecimiento y reproducción.<sup>61</sup> Los altos niveles de pH (>9.0) afectan directamente a los peces y favorece la presentación del nitrógeno amoniacal total en su forma tóxica o no ionizada, por lo que el amoníaco puede alcanzar niveles extremos durante breves períodos en el ciclo de pH diario, lo que puede provocar la mortalidad de los peces, ya sea por la toxicidad del pH, los altos niveles resultantes de amoníaco no ionizado o la combinación de estos.<sup>62</sup>

Tomaz y colaboradores,<sup>63</sup> señalan que valores de pH cercanos a 8.0 afectan la fisiología de los peces y su supervivencia; y reducen las variables productivas peso final, tasa específica de crecimiento y la tasa de eficiencia proteica, no obstante, estos resultados difieren con los del presente trabajo, ya que los organismos cultivados en el sistema tradicional con valores promedio de pH ligeramente alcalinos son los que registraron las variables productivas más altas.

Por otra parte, se ha reportado que con valores de pH críticos (<6.0) existe una interrupción metabólica en la tilapia, y resulta en una reducción del crecimiento, inapetencia, letargia, y baja reproducción,<sup>64</sup> lo que puede explicar las bajas variables productivas registradas en el sistema con tecnología biofloc.

En un pH ácido, los niveles altos de iones hidrógeno tienden a causar toxicidad en los peces, promoviendo trastornos en la osmorregulación debido a la inhibición de

la captura de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Na}^+$ , así como pérdidas iónicas por la ruptura de las uniones en las células branquiales, esta reducción hidromineral causa disfunciones de hemoglobina y hematocrito, lo que puede llevar a un desarrollo deficiente.<sup>61, 65</sup>

La capacidad del agua para mantener constante el pH está relacionada con la alcalinidad. Con frecuencia la alcalinidad se confunde con la dureza probablemente porque ambas generalmente se determinan en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .<sup>66</sup> La dureza, se define como la concentración de cationes divalentes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  <sup>66</sup> y  $\text{Sr}^{++}$ ) y aniones monovalentes ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y divalentes ( $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{SiO}_3^{=}$ )<sup>67, 68</sup> en cambio, los principales iones que contribuyen a la alcalinidad son el carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) y el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ),<sup>66</sup> los cuales confieren al agua la capacidad de amortiguar los cambios en el pH. El agua con baja alcalinidad es más susceptible a la acidificación que el agua con alta alcalinidad.<sup>68, 69</sup>

La dureza es un factor importante con respecto al uso del agua para otros propósitos diferentes a la acuicultura, *per se* tiene menos importancia biológica que la alcalinidad,<sup>70</sup> por lo que el índice de productividad biológica en los ecosistemas acuáticos se basa en la alcalinidad y no en la dureza.

En los sistemas de cultivo cerrados como el biofloc, la alcalinidad tiende a disminuir con el tiempo debido a los procesos químicos y biológicos oxidativos que ocurren en el agua (nitrificación y liberación de iones hidrógeno); mientras que la dureza tiende a aumentar como resultado de la entrada continua de calcio a través del alimento dado a los peces.<sup>68</sup>

El mantenimiento de la alcalinidad es fundamental para evitar las oscilaciones del pH, ya que proporciona un sistema más estable para los bioflocs y el estado fisiológico de los peces.<sup>34</sup> Una alcalinidad entre 50–300 mg/L se considera óptima para la acuicultura.<sup>69</sup> Por el contrario, una alcalinidad menor a 30 mg/L reduce la capacidad de amortiguación del agua.<sup>71</sup>

En el presente experimento las concentraciones de dureza y alcalinidad presentaron diferencia significativa entre los tratamientos. El recambio de agua diario en el sistema tradicional permitió mantener los valores de ambas variables dentro de los recomendados por Vinatea.<sup>48</sup>

Por otra parte, en el sistema con tecnología biofloc la concentración de dureza registró valores muy superiores a lo recomendado<sup>48</sup> debido a la constante adición de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) utilizado para incrementar la alcalinidad y mantener constante el pH dentro de los rangos recomendados para los microorganismos heterótrofos en el sistema<sup>57</sup> y la tilapia gris del Nilo.<sup>48</sup>

Bernardes y colaboradores<sup>34</sup> señalan al bicarbonato de sodio como la mejor alternativa para corregir la alcalinidad y el pH en los sistemas biofloc, debido a que este compuesto se disocia en el agua y produce una base de carbonato que da como resultado un pH alcalino, en su estudio, presentaron una relación dureza:alcalinidad de 1.3:1, estos resultados difieren con los del presente trabajo, en el cual se registra una relación dureza:alcalinidad de 3.7:1. Cavalcante<sup>69</sup> indica que el crecimiento de juveniles de tilapia mejora cuando la relación

dureza:alcalinidad se mantiene cercana al 1:1, y cuando esta relación es  $>1$  los organismos cultivados presentan estrés osmótico.<sup>68</sup> Estos autores, concluyen que el agua de cultivo con una dureza entre 250-500 mg/L y una alcalinidad entre 50-100 mg/L tiene un impacto negativo en el crecimiento de los peces y la eficiencia alimenticia. Estos resultados concuerdan con los descritos en el presente trabajo, donde el desbalance en la relación dureza:alcalinidad afectó negativamente el crecimiento de los organismos cultivados en el sistema biofloc, existiendo una correlación negativa entre la dureza y la ganancia diaria de peso (**Figura 22**), por lo que se sugiere determinar de forma diaria la concentración de dureza y alcalinidad para establecer el punto de equilibrio en dicha relación.

Si los cambios de acidez y alcalinidad del agua son frecuentes, provoca alteraciones en el equilibrio ácido-base de los peces,<sup>71</sup> estrés que perjudica su tasa de crecimiento,<sup>69</sup> tal y como sucedió en los peces cultivados en el sistema biofloc.

La cantidad de sales inorgánicas disueltas en un cuerpo de agua es conocida como salinidad y en el presente experimento registró diferencias significativas entre tratamientos. En el sistema tradicional permaneció constante como resultado del recambio total de agua diario. Por el contrario, en el sistema con tecnología biofloc se registró un incremento a medida que se agregaba el bicarbonato de sodio para corregir el descenso del pH.

Los cambios abruptos de salinidad ( $>5$  g/L) producen un shock en las bacterias nitrificadoras y causan una disminución de las tasas de eliminación del nitrógeno

amoniacal y el nitrógeno de nitrito;<sup>66</sup> este efecto se percibía cada vez que se adicionaba el bicarbonato de sodio en el agua de cultivo del sistema biofloc ya que se observaba al microscopio de forma cualitativa un descenso de la diversidad y la cantidad de microorganismos, lo que probablemente demeritó la calidad nutricional del biofloc.

Por otra parte, algunos estudios han demostrado beneficios del agua a baja salinidad (5.6-7.5 g/L) sobre el crecimiento de la tilapia gris del Nilo,<sup>72, 73, 74</sup> a pesar de que el bicarbonato de sodio incrementaba paulatinamente la salinidad no se observó un efecto positivo sobre el crecimiento de los organismos cultivados en el sistema biofloc, por lo que se debe determinar si existe un efecto del incremento de la dureza, salinidad o la interacción de éstas sobre el crecimiento de la tilapia gris del Nilo en sistemas con tecnología biofloc heterótrofos.

La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) se define como la masa de partículas orgánicas e inorgánicas entre 30 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro presentes en un volumen de agua conocido.<sup>66</sup> En el presente experimento, el volumen de sólidos suspendidos totales presentó diferencias significativas entre tratamientos; en el sistema tradicional se mantuvieron en niveles bajos como resultado del recambio total de agua diario, por el contrario, en los sistemas biofloc se permite que los sólidos suspendidos se acumulen a través del tiempo, no obstante en el presente experimento se superaron los valores recomendados para el cultivo de tilapia (25-50 mL/L),<sup>19</sup> el exceso puede generar un efecto abrasivo en las branquias de los peces, causando cambios estructurales y estrés fisiológico, lo que conduce a fallas

en los procesos de osmorregulación, excreción y transferencia de gases,<sup>75</sup> aspectos que pueden estar relacionados con la baja ganancia de peso de los peces cultivados en el sistema biofloc. Ante esta situación, se ha recomendado un límite máximo de sólidos suspendidos totales entre 10 a 15 mL/L.<sup>76, 77</sup> Se requiere investigar si el excedente de sólidos suspendidos totales puede utilizarse como alimento en hojuela para la alimentación de otros organismos acuáticos.

La calidad de agua mantenida en los diferentes sistemas de producción afecta directamente a los organismos cultivados, cualquier sustancia que se encuentra en el agua mantiene un contacto directo y continuo con los peces y puede tener un efecto positivo o negativo sobre sus variables productivas; por lo que es preciso realizar estudios de estrés en la tilapia gris del Nilo como resultado de los cambios en la calidad del agua que ocurren en el sistema con tecnología biofloc heterótrofo.

## **Variables productivas**

En el presente experimento, la supervivencia no registró diferencias significativas entre tratamientos, no obstante, se presentó en el sistema tradicional una mortalidad asociada a la presencia del monogeneo *Gyrodactylus* spp. en las branquias de los peces cultivados (**Figura 23**). Este parásito afecta principalmente poblaciones jóvenes de peces y con alta densidad de siembra;<sup>78</sup> perfora la piel mediante su órgano de sujeción, se alimenta del moco y las células epiteliales, y disminuye las

defensas inmunitarias de los hospederos haciéndolos susceptibles a infecciones oportunistas, lo que provoca mortalidades entre el 50 al 60%.<sup>79</sup>

Grano-Maldonado y colaboradores,<sup>80</sup> reportan una mortalidad del 40% asociada a *Gyrodactylus* en tilapia gris del Nilo cultivada en un sistema tradicional de flujo continuo, lo que concuerda con lo registrado en el sistema tradicional del presente experimento, y a pesar de que éste género monogéneo fue observado en los peces cultivados en el sistema biofloc, no se presentó una mortalidad elevada, y se asocia que la comunidad microbiana existente en el sistema, principalmente bacterias heterótrofas, estimuló una respuesta inmune que logró controlar los organismos patógenos y reducir la propagación potencial de enfermedades en los organismos presentes.<sup>11</sup> Resultados similares son descritos por Giuliani y colaboradores<sup>81</sup> quienes registraron una disminución en el número de ectoparásitos presentes en las branquias de los peces cultivados en el sistema biofloc.

Luo y colaboradores, señalan que las tilapias cultivadas en el sistema biofloc mejoran su inmunidad al tener una alta concentración sérica de super óxido dismutasa total (T- SOD), esta enzima ayuda a disminuir los efectos tóxicos de las especies reactivas de oxígeno (ROS)<sup>50</sup> producidas por la respuesta inmune innata de los peces que destruyen eficazmente patógenos invasores durante un proceso infeccioso tales como bacterias, hongos o parásitos.<sup>82</sup> La supervivencia de los organismos cultivados en el sistema biofloc del presente experimento fue mayor a la reportada por Oliveira y colaboradores,<sup>83</sup> quienes registran al término de 45 días una supervivencia del 75%.

El peso final de los organismos cultivados al término de 120 días fue significativamente mayor en el sistema tradicional que en el sistema con tecnología biofloc, sin embargo, ninguno de los sistemas de cultivo alcanzó el peso final individual esperado de 400 g calculado para una densidad de siembra 100 peces/m<sup>3</sup> y una biomasa final de 40 kg/m<sup>3</sup>, Timmons y colaboradores<sup>66</sup> señalan este nivel de biomasa como la máxima capacidad que puede sostener un sistema intensivo, no obstante, Costas y colaboradores,<sup>84</sup> mencionan que un número elevado de organismos por unidad de volumen afecta negativamente el crecimiento en sistemas de producción tradicionales; Tetteh-Doku-Mensah y colaboradores,<sup>85</sup> observaron que el incremento en la densidad de siembra afecta negativamente el crecimiento, el factor de conversión alimenticia y el rendimiento de la tilapia gris del Nilo, sin afectar la supervivencia, tal y como se registró el presente experimento, lo que sugiere utilizar una menor densidad de siembra para alcanzar el peso final esperado en ambos sistemas de producción.

El bajo peso final registrado en el sistema biofloc derivó en un menor rendimiento de las variables productivas de los organismos cultivados en este sistema, por lo que la ganancia diaria de peso (GDP), tasa específica de crecimiento (TEC), porcentaje de peso ganado (PPG) y productividad fueron mayores en el sistema tradicional.

Ramírez<sup>86</sup> reportó en un sistema tradicional una GDP de  $3.57 \pm 0.18$  g/día y TEC de  $0.91 \pm 0.04\%$ /día al término de 122 días; Peña<sup>87</sup> bajo el mismo sistema de producción menciona una GDP de 2.99 g/día, TEC de 1.34%/día y una PPG de 13,004.0% al

término de 157 días; los resultados de ambos experimentos son mayores que los obtenidos en el presente trabajo, sin embargo, estos autores, emplearon una menor densidad de siembra (50 y 32 peces/m<sup>3</sup> respectivamente) comparado con los 100 peces/m<sup>3</sup> utilizados para el presente experimento. Con lo que respecta a la productividad, Azim y Little<sup>22</sup> señalan 3.35±0.08 kg/m<sup>3</sup> al término de 84 días, una productividad inferior a lo comparado con el presente trabajo (5.36 kg/m<sup>3</sup>) durante el mismo periodo de tiempo con prácticamente la misma densidad de siembra (94 peces/m<sup>3</sup>).

Por otro lado, en un sistema biofloc heterótrofo, Lima y colaboradores,<sup>87</sup> reportaron una GDP de 2.20±0.40 g/día, TEC de 0.93±0.11%/día, PPG de 9,379.0% y una productividad de 10.64 kg/m<sup>3</sup> al término de 128 días; Rodrigues y colaboradores<sup>21</sup> bajo el mismo sistema de producción señala una GDP de 1.84±0.12 g/día, TEC de 1.05±0.02%/día, PPG de 367.21% y una productividad de 8.85 kg/m<sup>3</sup> después de 145 días, ambos autores presentaron mayores resultados que los obtenidos en el presente experimento, sin embargo, utilizaron una densidad de siembra de 45 peces/m<sup>3</sup> y 35 peces/m<sup>3</sup> respectivamente.

Es importante señalar que tanto el sistema tradicional como el sistema con tecnología biofloc registraron una ganancia diaria de peso menor a lo señalado por la ATA<sup>32</sup> (3.40 g/día para un periodo de tiempo de 120 días), lo que sugiere un efecto negativo de la alta densidad de siembra sobre las variables productivas, tal y como lo señalan Costas y colaboradores<sup>84</sup> y Tetteh-Doku-Mensah y colaboradores.<sup>85</sup>

En el factor de conversión alimenticia no se registraron diferencias significativas entre tratamientos, no obstante, para el peso final esperado de 400 g, la ATA<sup>32</sup> señala un factor de conversión alimenticia de 1.73, y en el presente experimento en ambos sistemas de producción se registraron valores superiores a lo indicado por esta asociación. Peña,<sup>87</sup> reportó un factor de conversión alimenticia de 1.20 para tilapia gris del Nilo en el sistema tradicional, Lima y colaboradores,<sup>88</sup> y Rodrigues y colaboradores,<sup>21</sup> reportan un factor de conversión alimenticia en el sistema con tecnología biofloc de  $1.58 \pm 0.19$  y  $1.74 \pm 0.05$  respectivamente. Resultados similares son reportados por Fuentes<sup>89</sup> en donde el incremento de la densidad de siembra afectó negativamente el factor de conversión alimenticia en el sistema biofloc.

La competencia por los alimentos o el espacio pueden afectar negativamente el crecimiento de los peces, por lo tanto, una mayor densidad de población conduce a un mayor estrés y el aumento resultante en los requisitos de energía causa una reducción en las tasas de crecimiento y el aprovechamiento de los alimentos.<sup>84</sup>

El estrés ambiental ocasionado por el descenso del pH, y el aumento de la dureza y la salinidad como consecuencia de la adición de bicarbonato de sodio para mantener constante la alcalinidad del agua del sistema biofloc, probablemente provocó un incremento en la demanda energética de los peces cultivados debido a la intensificación del metabolismo y las reacciones de alarma que emite el sistema nervioso central ante una situación de estrés.<sup>90</sup> Cavalcante y colaboradores mencionan que los organismos que tienen una mayor variación de pH en el agua, presentan mayor estrés y afecta de forma negativa el peso corporal de los peces si

se compara con aquellos que no experimentan estos cambios, tal como se registró en este experimento.<sup>69</sup> La exposición de los peces a diferentes concentraciones de dureza y salinidad pudo modificar la ingesta de agua, alterar la salinidad del contenido intestinal y afectar la actividad de las enzimas digestivas, lo que impidió la digestión del alimento (biofloc y alimento comercial) y la consecuente absorción de nutrientes. Este desequilibrio explicaría el deterioro de la conversión alimenticia y la baja ganancia de peso de las tilapias cultivadas en el sistema biofloc, tal y como lo señala Vieira de Azevedo.<sup>74</sup> Resultados similares son señalados por Méndez,<sup>91</sup> y Rodríguez y colaboradores<sup>21</sup> durante el periodo de pre-engorda y engorda de tilapia en sistema biofloc heterótrofo respectivamente.

El rendimiento en filete presentó una diferencia significativa entre tratamientos. Timmons<sup>66</sup> reporta un rendimiento mínimo esperado del 30% para organismos cultivados en un sistema tradicional, tal como se registró en el presente experimento, no obstante, este resultado es menor a lo señalado por Ramírez,<sup>86</sup> ( $33.22 \pm 1.54\%$ ) y por Peña<sup>87</sup> (34.6%). Por otro lado, en el sistema con tecnología biofloc el resultado registrado en el presente experimento es mayor al señalado por Fuentes<sup>89</sup> ( $26.86 \pm 1.18\%$ ), sin embargo, no alcanzó el rendimiento mínimo esperado por Timmons.<sup>66</sup> El rendimiento del filete de la tilapia depende de factores diversos, entre ellos: condición corporal y tamaño del pescado, método de fileteado y habilidad técnica de quien lo realiza.<sup>92</sup> En este experimento, los peces de mayor tamaño fueron los que registraron el mayor rendimiento en filete.

El consumo de agua utilizada en los tratamientos presentó una diferencia significativa. En el sistema tradicional se presentó un consumo de agua mucho mayor debido a los recambios totales del 100% para mantener las variables fisicoquímicas de la calidad del agua dentro de los rangos tolerables por la especie, no obstante, este manejo es ambientalmente adverso.<sup>93</sup> En este sistema se registró que para producir 1 kg de biomasa se requieren 1,860 litros de agua.

Por el contrario, un sistema con tecnología biofloc considerado como la nueva “Revolución azul”, recicla y reutiliza continuamente los nutrientes en el medio de cultivo, beneficiándose del mínimo o nulo recambio de agua.<sup>51</sup> En este experimento, se registró que para producir 1 kg de biomasa se requirieron 80 litros de agua, es decir, tan sólo el 4.3% del agua utilizada para generar la misma biomasa en el sistema tradicional. Resultados similares son presentados por Rodrigues y colaboradores<sup>21</sup> quienes ahorraron un 91.3% de agua en el sistema biofloc que en el sistema tradicional.

### **Calidad nutricional del biofloc**

En cuanto a la calidad nutricional del biofloc, cabe mencionar que las investigaciones se basan principalmente en la cantidad de proteína cruda, lípidos, fibra cruda y cenizas.

En un sistema biofloc heterótrofo, Azim y Little<sup>22</sup> registraron una proteína cruda (PC) de  $37.93 \pm 2.38\%$ , extracto etéreo (EE) de  $3.16 \pm 0.31\%$ ; cenizas (Cen) de  $13.38 \pm 1.35$  y fibra cruda (FC) de  $6.27 \pm 0.44$ ; Rodrigues y colaboradores<sup>21</sup> señalan una PC de  $33.42\%$ , EE de  $1.65\%$ , Cen de  $13.37\%$  y FC de  $6.95\%$ ; Luo y colaboradores<sup>50</sup> mencionan una PC de  $30.90 \pm 9.04\%$  y un EE de  $1.27 \pm 0.61\%$ . Estos resultados son mayores a los registrados en el presente trabajo. La proteína cruda determinada en este experimento fue similar con lo reportado por Liu y colaboradores<sup>23</sup> con  $26.12 \pm 0.62\%$ .

Se ha demostrado que las propiedades nutricionales de los flóculos se ven influenciadas por el tipo de fuente de carbono orgánico utilizada, ya que estimula el crecimiento de microorganismos específicos que influyen en las propiedades nutricionales, la disponibilidad, la palatabilidad y la digestibilidad de los organismos cultivados.<sup>8</sup>

La digestibilidad, es uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad de la proteína.<sup>89</sup> La degradación de los nutrientes en peces omnívoros como la tilapia gris del Nilo se realiza en dos tiempos, en primera instancia existe una fase ácida en el estómago donde proteasas como la pepsina comienzan a actuar.<sup>94</sup> En el presente trabajo, se determinó que alrededor del 28% del total de la proteína cruda presente en el biofloc puede ser hidrolizada por esta enzima; sin embargo, existe una segunda fase alcalina a lo largo del intestino donde proteasas como la tripsina y la quimotripsina continúan con la hidrólisis de la proteína,<sup>94</sup> enzimas que no fueron determinadas en este trabajo.

## Calidad nutricional del filete

La cantidad y calidad de los nutrientes que son ingeridos por las tilapias cultivadas, tienen un efecto directo sobre cómo cubrirán sus necesidades para la formación de tejidos y estructuras.<sup>90</sup>

La humedad presente en los filetes de pescado no registró diferencia significativa entre tratamientos (**Figura 24**). Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> y Lorenzo<sup>26</sup> reportan resultados similares a los registrados en el presente trabajo en filetes de tilapia cultivadas en un sistema tradicional con 72.36% y 78.1±0.18% respectivamente. Así también, en un sistema con tecnología biofloc, Rodríguez y colaboradores<sup>21</sup> señalan un porcentaje de humedad similar con 76.47%. Iturbide y Sandoval<sup>95</sup> mencionan que todos los alimentos contienen entre 60% y 95% de agua.

La materia seca presente en los filetes de tilapia no registró diferencias significativas entre tratamientos (**Figura 24**). Los filetes de tilapia cultivadas en el sistema tradicional registraron una materia seca menor a lo señalado por Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> con 27.64%, pero fue similar a lo reportado por Lorenzo<sup>26</sup> con 21.9%. En un sistema con tecnología biofloc, Rodríguez y colaboradores<sup>21</sup> menciona una mayor materia seca en los filetes de tilapia (23.53%) que los registrados en este trabajo.

El porcentaje de proteína cruda en los filetes de tilapia presentó una diferencia significativa entre tratamientos (**Figura 25** y **Figura 26**). El sistema tradicional registró un mayor porcentaje de proteína cruda (17.69±0.42%) en los filetes de

tilapia, no obstante, estos resultados son menores a los reportados por Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> (23.34%) y por Lorenzo<sup>26</sup> (19.0%), y son mayores a los mencionados por Rocha y colaboradores<sup>96</sup> (16.2- 16.7%). Por otro lado, los filetes de tilapia cultivadas en el sistema con tecnología biofloc obtuvieron un menor porcentaje de proteína cruda pese a que el biofloc se ha señalado como un suministro de nutrientes esenciales<sup>97</sup> complementario al alimento balanceado, y considerado como una fuente de proteínas para la tilapia.<sup>97</sup> Flores<sup>27</sup> sugiere que aquellos peces que consumen menos proteína en el alimento balanceado complementan esta deficiencia con el consumo del biofloc, no obstante, este beneficio puede estar relacionado con el tipo de microorganismos presentes en su sistema biofloc autótrofo, y puede ser la razón del bajo porcentaje de proteína cruda presente en los filetes de tilapia cultivadas en este trabajo (heterótrofo), sin embargo, Rodríguez y colaboradores<sup>21</sup> bajo este mismo sistema indican un porcentaje de proteína cruda mayor (20.28%).

El extracto etéreo no presentó diferencias significativas entre tratamientos (**Figura 25**). Los resultados determinados en los filetes de tilapia cultivadas en el sistema tradicional son menores a los reportados por Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> (2.11%) y por Lorenzo<sup>26</sup> (4.6%). El porcentaje de extracto etéreo de los filetes de tilapia cultivada en el sistema con tecnología biofloc fue similar a lo señalado por Rodríguez y colaboradores<sup>21</sup> (1.24%) sin encontrar un efecto de los microorganismos existentes en el biofloc sobre el porcentaje del extracto etéreo de los filetes de

pescado, ya que se ha referenciado que en los sistemas de cultivo donde los peces tienen acceso a alimentos naturales presenten un alto valor lipídico.<sup>13</sup>

Las cenizas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (**Figura 25**). En el sistema tradicional el resultado obtenido fue similar a lo reportado por Izquierdo y colaboradores<sup>12</sup> y Lorenzo<sup>26</sup> que fue de 1.94% y 1.0%, respectivamente. Para el sistema con tecnología biofloc, el porcentaje de cenizas del presente experimento es menor a lo reportado por Fuentes<sup>89</sup> ( $5.1\pm 0.2\%$ ) y similar al que señala Rodrigues y colaboradores<sup>21</sup> (1.32%). Pese a la alta concentración de dureza presente en el agua de cultivo del sistema biofloc, no existió un efecto en el porcentaje de cenizas de los filetes de tilapia, lo que implicó probablemente un gasto energético en la regulación osmótica de los peces.

### **Análisis de aminoácidos en filete**

El pescado es considerado una carne de importante valor biológico pues representa una fuente valiosa de proteína animal de alta calidad; esta proteína es altamente digestible y proporciona todos los aminoácidos esenciales requeridos por el humano.<sup>13</sup>

Los aminoácidos son los constituyentes fundamentales de la proteína, y los que estén presentes en el alimento son los decisivos para determinar la calidad de la proteína del filete de tilapia. De los 20 aminoácidos existentes, 10 pueden ser

sintetizados por el organismo (no esenciales), y el resto requieren ser aportados al organismo por medio de la dieta (esenciales).<sup>98</sup>

En el presente trabajo se analizaron en el filete de tilapia, nueve de los diez aminoácidos esenciales; en dónde seis de éstos (lisina, treonina, metionina, isoleucina, leucina y fenilalanina) se presentaron en una mayor proporción en el filete de tilapia cultivada en el sistema biofloc (**Figura 27**).

En general, el perfil de aminoácidos del filete de tilapia gris cultivada en el sistema tradicional obtuvo resultados superiores (g aa/100 g muestra) a lo mencionado por Karapanagiotidis<sup>13</sup> quien señala valores de lisina (1.71), histidina (0.48), treonina (0.70), arginina (1.17), valina (0.72), metionina (0.67), isoleucina (0.75), fenilalanina (1.17) con excepción de leucina (1.31), así también es superior a lo señalado por Izquierdo<sup>12</sup> en lisina (0.486), treonina (0.807), metionina (0.555) e inferior en: histidina (1.625), valina (1.413), isoleucina (1.583), leucina (1.454), fenilalanina (1.117), y son inferiores a los reportados por Newsome y colaboradores<sup>99</sup> quienes determinan treonina (2.3), arginina (1.7), valina (2.1), isoleucina (1.5), leucina (1.6), con excepción de fenilalanina (1.1).

Por otro lado, el perfil de aminoácidos en el filete de tilapia cultivada en el sistema con tecnología biofloc fue superior a lo que reportan Newsome y colaboradores<sup>98</sup>, Karapanagiotidis<sup>13</sup> e Izquierdo y colaboradores,<sup>12</sup> lo que sugiere que los microorganismos presentes en el biofloc incrementan la calidad de la proteína en el filete de tilapia, tal y como lo señala Karapanagiotidis que menciona que la

composición nutrimental del filete de la tilapia depende del monitoreo y control del sistema de cultivo y la alimentación proporcionada, el efecto de la dieta tanto en calidad como en contenido de proteína de la fuente afecta la composición nutrimental de todo el cuerpo del pez.<sup>13</sup>

## CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que:

- La tecnología de biofloc en el cultivo de tilapia gris del Nilo es eficiente en el consumo de agua comparado con un sistema tradicional, lo que demuestra la sustentabilidad del sistema.
- El sistema tradicional de cultivo favoreció las variables productivas de la tilapia gris del Nilo en la etapa de engorda comparada con el sistema con tecnología biofloc heterótrofo.
- El porcentaje de proteína cruda de los filetes de tilapia cultivada en el sistema tradicional fue superior que en el sistema con tecnología biofloc.

## REFERENCIAS

1. Vela-Vallejo S, González-Posada JO. Acuicultura: La Revolución Azul. Madrid (España): APROMAR; 2007.
2. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, Programa Mundial de Alimentos, Organización Mundial de la Salud. El estado de la seguridad alimentaria y nutrición en el mundo. Roma: FAO; 2018. 218 p.
3. Emereciano MGC, Wasielesky JW, Soares RB, Ballester EC, Izeppi EM, Cavalli RO. Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase de berçário em meio heterotrófico. Acta Sci Biol Sci. 2007;29(1):1–7.
4. Avnimelech Y. Carbon-nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture. 1999;176:227–35.
5. Medeiros SS. O uso da Dextrose como fonte de carbono no desenvolvimento de bio-flocos e desempenho do camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado em sistema sem renovação de água. [tesis de maestría]. Río Grande (RS): Instituto de Oceanografía. Universidad Federal de Río Grande; 2009.
6. Bru CSB. Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): una alternativa para la

- piscicultura urbana [tesis de maestría]. Medellín (Col.): Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin; 2016.
7. Monroy-Dosta MC, De Lara RA, Castro-Mejía J, Castro-Mejía G, Emerenciano MG. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociados al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 2013;48(3):511–20. doi: 10.4067/S0718-19572013000300009
  8. Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*. 2012;356,357(2012):351–356. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.046
  9. Loreto JEF. Descripción productiva y económica de una engorda de tilapia bajo sistema de Biofloc. Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México; 2016. 68 p.p
  10. Emerenciano M, Gaxiola G, Cuzon G. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. En: Darko MM, editor. *Biomass Now. Cultivation and Utilization*. Canadá: INTECH. 2013. p. 301-328.
  11. El- Sayed, A-FM. *Tilapia Culture*. Cambridge: CABI Publishing; 2006.
  12. Izquierdo CP, Torres FG, Barboza de Martínez Y, Márquez SE, Altara CM. Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. *Scielo*. 2001;50(2):1–7.

13. Karapanagiotidis IT. Nutrient Profiles of Tilapia. En: Perschbacher PW, Stickney RR, editor. Tilapia in Intensive Co- culture. Oxford: Wiley Blackwel, World Aquaculture Society; 2017. p. 261-305.
14. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. FAO. [Internet]. Composición de la carne [Consultado el 10 de agosto del 2019]. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. Producción y Sanidad Animal; [aproximadamente 2 pantallas]. Disponible en: [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)
15. Ruxton CHS. The benefits of fish consumption. Nutrition Bulletin. 2011;36(2):287-287. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2010.01869.x>
16. Rubio MOL. Efecto de la proteína dietética sobre el crecimiento y composición corporal de la tilapia híbrida roja "Pargo- UNAM". [tesis de maestría]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 2009.
17. Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. Aquaculture. 2007;264:140-147.  
  
doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.11.025
18. Avnimelech Y. Biofloc Technology A Practical Guide Book. Lousiana: World Aquaculture Society; 2009.

19. Hargreaves JA. Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center. Abril de 2013;4503:1-11.
20. Vázquez FIA. Efecto del porcentaje de proteína cruda sobre el desempeño productivo entre la población sintética de tilapia: Pargo- UNAM y la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) bajo un sistema de cultivo biofloc. [tesis licenciatura]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2014.
21. Rodrigues LEC, Liano SR, Montes GPJ, Mascena BÍF, de Souza CE. Culture of Nile tilapia in a biofloc system with different sources of carbon. Revista Ciência Agronômica. 2018;49(3):458-466. doi: 10.5935/1806-6690.20180052
22. 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;283:29-35. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.036.
23. Liu W, Luo G, Chen W, Tan H, Wu S, Zhang N, Yu Y. Effect of no carbohydrate addition on water quality, growth performance and microbial community in water-reusing biofloc systems for tilapia production under high-density cultivation. Aquaculture Research, 2018;49:2446-2454. doi: 10.1111/are.13704

24. Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*. 2007;270:1-14. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006.
25. Xu W-J, Pan L-Q. Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopeneus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. *Elsevier*. 2012;356-357:147-152. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.05.022
26. Lorenzo MJL. Efecto de tres métodos de cocción sobre el contenido nutricional de la mojarra Tilapia (*Oreochromis* sp.) [tesis licenciatura]. Tuxtepec (Mx): Universidad del Papaloapan, Facultad de Ingeniería de Alimentos; 2011.
27. Flores CA. Composición química de Pargo- UNAM y la tilapia del Nilo bajo el suministro de dos alimentos con diferentes niveles de proteína en un sistema de biofloc. [tesis licenciatura]. Ciudad de México (Mx). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2016.
28. Jung J-Y, Damusaru JH, Park Y, Kim K, Seong M, Je H-W, Kim S, Bai SC. Autotrophic biofloc technology system (ABFT) using *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* positively affects performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2017;27:259-264. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2017.09.021>

29. Google Inc. Google Earth. Versión 7.1.5.1557 [software]. 20 de mayo de 2015 [consultado 13 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.google.com>
30. inegi.org.mx [Internet]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI [consultado el 13 de agosto del 2019]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/estatal/df/m013/default.htm>
31. Vidal R. Las regiones climáticas de México. Vol. 2. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México; 2005.
32. American Tilapia Association. Tabla de crecimiento de tilapia nilótica en sistemas intensivos.USA. Boletín de otoño. Fall Newsletter. 1995.
33. Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. Elsevier. 2006;257:346–358. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019
34. Bernardes MG, Tarouco F, Rosa CE, Robaldo RB. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 2017;468:10-17.
35. Jiménez PM. Desempeño productivo de la tilapia roja: “Pargo- UNAM” y dos líneas grises de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) bajo condiciones de

- cultivo intensivo. [tesis de licenciatura]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias; 2015.
36. del.rae.es [Internet]. RAE: Real Academia Española;2019. [consultado el 22 febrero 2019]. Disponible en: <https://dle.rae.es/?id=5YtOE4H>
37. Castro FLA. Determinación del desempeño productivo del camarón del Pacífico *Litopenaeus vannamei* en el sistema de producción intensivo con tecnología biofloc comparado con el sistema de agua clara, ambos en baja salinidad. [tesis de especialidad]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 2015.
38. Furtado PS. O Efeito do Hidróxido de Cálcio, do Carbonato e Bicarbonato de Sódio na Qualidade de Água e no Desempenho Zootécnico do Camarão *Litopenaeus vannamei* Cultivado com Tecnologia de Bioflocos (BFT). [tesis maestría]. Río Grande (Br): Universidad Federal de Río Grande, Instituto de Oceanografía.; 2011.
39. Rubio LM, Silveira CR. Bienestar de los animales acuáticos, con fines de control sanitario. REDVET [Internet]. 2009 [Artículo #8] [citado 9 de mayo de 2011]; 10(8). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/26850135\\_Bienestar\\_de\\_los\\_animales\\_acuaticos\\_con\\_fines\\_de\\_control\\_sanitario\\_Welfare\\_of\\_the\\_aquatic\\_animals\\_with\\_ends\\_of\\_sanitary\\_control](https://www.researchgate.net/publication/26850135_Bienestar_de_los_animales_acuaticos_con_fines_de_control_sanitario_Welfare_of_the_aquatic_animals_with_ends_of_sanitary_control)

40. oie.int [Internet]. Código Sanitario para los Animales Acuáticos (2018).. [consultado el 13 de agosto del 2019].OIE; [aproximadamente 2 pantallas]. Disponible en : <https://www.oie.int/es/normas/codigo-acuatico/acceso-en-linea/>
41. Canadian Council on Animal Care. Guidelines on: The care and use of fish in research, teaching and testing. Ottawa (Canadá): CCAC; 2005.
42. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia [Internet]. Ciudad de México [consultado el 13 de junio del 2017]. Cuidado y Uso de los Animales; [aproximadamente 2 pantallas]. Disponible en: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/principal/cicua.html>
43. Chavacán AML, Castro FLA. Manual de la asignatura práctica de Medicina y Zootecnia Acuícola. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Ciudad de México; 2013.
44. Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica FMVZ, UNAM. [Internet]. Análisis químicos y toxicológicos de alimentos. [consultado el 27 de marzo del 2017]. DNAB; [aproximadamente 3 pantallas]. Disponible en: [http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/servicios/archivos/Folleto\\_Nutricion.pdf](http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/servicios/archivos/Folleto_Nutricion.pdf)
45. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Food Composition; Additives; Natural Contaminants. Volume Two. 15<sup>th</sup> ed. Washington D.C.; 1990.

46. SAS Institute Inc. JMP®. Versión 10.0.0 [software]. 2012.
47. Zar JH. Biostatistical Analysis. 5th ed. New Jersey: Pearson; 2010.
48. Vinatea AL. Principios químicos de calidad del agua en acuicultura. Una revisión para peces y camarones. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco; 2012.
49. Chemonics International Inc. Manual de Procedimientos de Producción de la tilapia. Washington D.C.; 2010.
50. 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;422-423:1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.023>
51. Emerenciano CMG, Martínez-Córdova LR, Martínez-Porchas M, Miranda-Baeza A. Biofloc Technology (BFT): A tool for water quality management in aquaculture. En: Tutu H, editor. *Water quality*. Sudáfrica: INTECH. 2017. p. 91-109.
52. Madigan MT, Martinko JM, Dunlap, PV, Clark DP. Brock. *Biología de los microorganismos*. 22nd ed. Madrid: Pearson; 2009.
53. Yun L, Yu Z, Li Y, Luo P, Jiang X, Tian Y, Ding X. Ammonia nitrogen and nitrite removal by a heterotrophic *Sphingomonas* sp. Strain LPN080 and its potencial

- application in aquaculture. *Aquaculture*. 2019;500:477- 484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.054>
54. Leonard N. Blancheton JP, Guiraud JP. Populations of heterotrophic bacteria in a experimental recirculating aquaculture system. *Elsevier*. 2000;22:109-120.
55. Muñoz KVN. Contribución del biofloc inoculado con diferentes probióticos sobre el crecimiento y niveles de actividad enzimática digestiva en juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) Var SPRING. [tesis maestría]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California; 2018.
56. Wang Wei-Na, Wang An-Li, Zhang Ya-Juan, Li Zhi-Hua, Wang Jun-Xia, Sun Ru- Yong. Effects of nitrite on lethal and immune response of *Macrobrachium nipponense*. *Elsevier*. 2004;232:679-686. doi: [10.1016/j.aquaculture.2003.08.018](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.08.018)
57. Raper E, Fisher R, Anderson DR, Stephenson T, Soares A. Alkalinity and external carbon requirements for denitrification-nitrification of coke wastewater. *Environmental Technology*. 2018;39(17):2266- 2277. doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1437779>
58. Kroupová HK, Valentová O, Svobodová Z, Sauer P, Máchová J. Toxic effects of nitrite of freshwater organisms: a review. *Reviews in Aquaculture*. 2018;10:525- 542. doi: [10.1111/raq.12184](https://doi.org/10.1111/raq.12184)

59. Yanbo W, Wenju Z, Weifen L, Zirong X. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. 2006;32:49-54. doi: DOI 10.1007/s10695-005-5744-2
60. Luque- Almagro VM, Gatest AJ, Moreno- Vivián C, Ferguson SJ, Richardson DJ, Roldán MD. Bacterial nitrate assimilation: gene distribution and regulation. Biochemical Society Transactions. 2011;39:1838-1843. doi: 10.1042/BST20110688
61. da Paixão LCH, Mambro RCVD, Barbosa OCP, Couto RD, Copatti CE. Effects of interaction between pH and stocking density on the growth, haematological and biochemical responses of Nile tilapia juveniles. 2018;495:62-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.037>
62. Soderberg RW. Aquaculture Technolgy. Flowing water and static water fish culture. Taylor & Francis Group. Boca Raton, United States; 2017.
63. Tomaz RV, dos Santos LFR, de Holanda CD, do Carmo SMV. Tolerance of Nile tilapia juveniles to highly acidic rearing water. Acta Scientiarum. 2015;37(3):227-233. doi: 10.4025/actascianimsci.v37i3.27031
64. Castillo CLF. Tilapia roja 2011. Una evolución de 29 años, de la incertidumbre al éxito. Editorial Académica Española; 2012.
65. Wendelaar BSE. The Stress Response in Fish. Physiological Reviews. 1997;77(3):591-625.

66. Timmons MB, Ebeling JM, Piedrahita RH, Hevia M, Parada G, Labatut R. *Acuicultura en Sistemas de Recirculación*. 2<sup>nd</sup> ed. United States: USDA, 2009.
67. Romero RJA. *Calidad del agua*. 2<sup>nd</sup> ed. México: Alfaomega; 2005.
68. Cavalcante DH, Nunes CN, Saldanha SJL, Dos Santos LFR, Vinícius CM. Imbalances in the hardness/alkalinity ratio of water and Nile tilapia's growth performance. *Acta Scientiarum Technology*. 2014;36(1):49-54. doi: 10.4025/actascitechnol.v36i1.18995.
69. Cavalcante DH, Da Silva SR, Damascenso PP, Masaki FM, Vinícius CSM. Single or paired increase of total alkalinity and hardness of water for cultivation of Nile tilapia juveniles, (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Technology*. 2012;34(2):177-183. doi: 10.4025/actascitechnol.v34i2.12003.
70. Boyd CE. *Water Quality*. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Springer; 2015.
71. Bhatnagar A, Devi P. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *International Journal of Environmental Sciences*. 2013;3(6):1980-2009. doi: 10.6088/ijes.2013030600019
72. Jun Q, Pao X, Haizhen W, Ruiwei L, Hui W, 2012. Combined effect of temperature, salinity and density on the growth and feed utilization of Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*. 2012;43(9):1344-1356.  
  
doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02938.x

73. Qiang J, Wang H, Kpundeh MD, He J, Xu P. 2013. Effect of water temperature, salinity, and their interaction on growth, plasma osmolality, and gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) (L.). Elsevier. 2013;38(6):331-338. doi: 10.1016/j.jtherbio.2013.04.002
74. Vieira AR, dos Santos- Costa K, Figueiredo OK, Flores-Lopes F, Teixeira-Lanna AT, Tavares-Braga LG. Responses of Nile tilapia to different levels of water salinity. Latin America Journal of Aquatic Research. 2015;43(5):828-835. doi: 10.3856/vol43-issue5-fulltext-3
75. Amparo VAO. Aplicación de la tecnología biofloc (BFT) al cultivo de *Totoaba macdonaldi*. [tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 2019.
76. Samocha, TM, Patnaik S, Speed M, Ali, AM, Burger JM, Almeida RV, Ayub Z, Harisanto M, Horowitz A, Brook DL. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaus vanammei*. Aquacultural Engineering. [Internet]. 2007;36(2):184-191.
77. Castro-Nieto LM, Castro-Barrera T, De Lara-Andrade R, Castro-Mejia J, Castro-Mejia G. Sistemas biofloc: un avance tecnológico en acuicultura. E-BIOS. 2012;1(1):1-6.

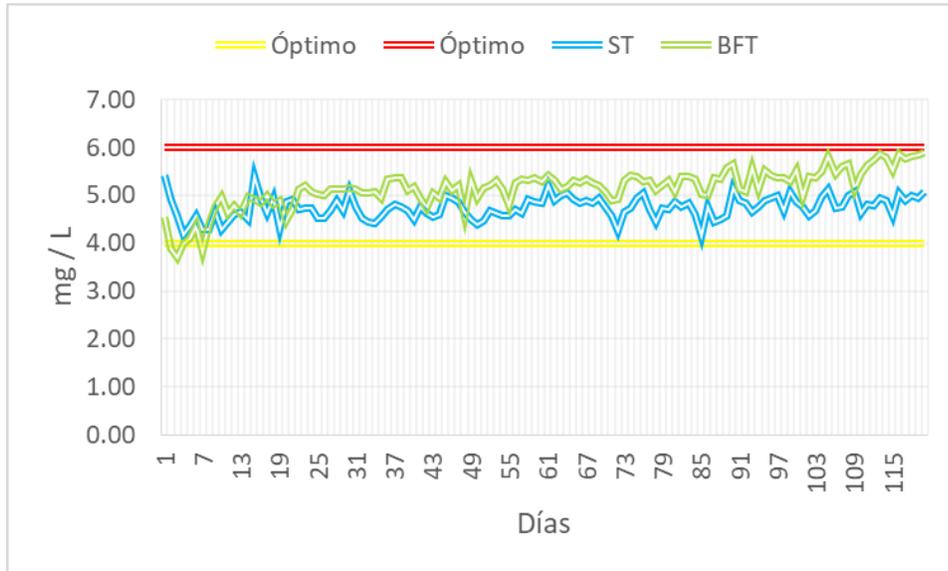
78. Flores CJ, Flores CR. Monogeneos, parásitos de peces en México: estudio recapitulativo. *Revista Técnica Pecuaria en México*. 2003;4(2):175-192.
79. Salgado-Maldonado G, Rubio-Godoy M. Helmintos parásitos de peces de agua dulce introducidos. *Revista Especies Acuáticas Invasoras en México*. CONABIO. 2014.
80. Grano-Maldonado MI, Rodríguez-Santiago, MA, García-Vargas F, Nieves-Soto, M, Soares F. An emerging caused by *Gyrodactylus cichlidarum* Paperna, 1968 (Monogenea: Gyrodactylidae) associated with massive mortality on farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) (L.) on the Mexican Pacific coast. *Latin America Journal of Aquatic Research*. 2018;46 (5):961-968. doi: 10.3856/vol46-issue5-fulltext-9
81. Giuliani DE, Gottlieb AAP, Tomas JG, Baldisserotto B, Coelho EMG. Digestive enzymes and parasitology of Nile tilapia juveniles raised in brackish biofloc water and fed with different digestible protein and digestible energy levels. *Aquaculture*. 2019;506:35-41. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.03.022
82. Guzmán VLT. Efecto del  $\beta$ - glucano 1,3/1,6 sobre la respuesta inmune, la actividad enzimática digestiva y la expresión de genes de *Lutjanus peru* y *Sparus aurata*. [tesis doctorado]. Centro de Investigaciones Biológicas del noreste, Baja California Sur; 2014.
83. Oliveira AFG, Araújo F, Ramos AÉ, Maldonado TE, Benvindo SA, Alencar TE. Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis*

- niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*. 2017;479(564-570). doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.029>
84. Costas B, Aragão C, Mancera JM, Dinis MT, Conceição LEC. High stocking density induces crowding stress and effects amino acid metabolism in Senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup 1858) juveniles. *Aquaculture Research*. 2007;39(1):1-9. doi: [doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01845.x](http://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01845.x)
85. Tetteh-Doku ME, Klenam AF, Ashum-Johnson M. Effect of different stocking densities on growth performance and profitability of (*Oreochromis niloticus*) fry reared in hapa-in-pond system. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*. 2013;5(8):2014-209. doi: [10.5897/IJFA2013.0367](https://doi.org/10.5897/IJFA2013.0367)
86. Ramírez PJG. Comparación del desempeño productivo de la población sintética de tilapia roja Pargo- UNAM y la tilapia del Nilo gris bajo condiciones de cultivo intensivo. [tesis licenciatura]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2009.
87. Peña DC. Comparación de crecimiento y rendimiento de filete entre una población sintética de tilapia roja, el “Pargo- UNAM”, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y un híbrido rojo en Medellín de Bravo, Veracruz. [tesis licenciatura]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2009.

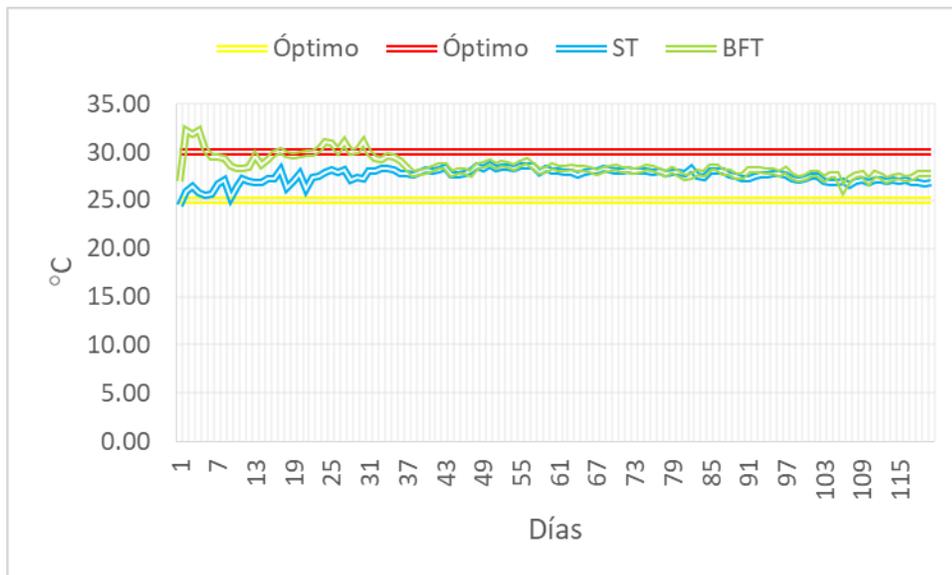
88. Lima ECR, Souza LR, Wambach FX, Silva LU, Correia SE. Cultivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. 2015; 16 (4): 948- 957. Brasileño.
89. Fuentes AVH. Efecto de la densidad de siembra en la productividad de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc. [tesis licenciatura]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2015.
90. Martínez-Porchas M, Martínez-Córdova LR, Ramos-Enríquez R. Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos. REDVET. 2009;10(10):1-16.
91. Méndez DLAJ. Desempeño productivo de la población sintética Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en etapa de crianza bajo condiciones de cultivo intensivo en el sistema con tecnología biofloc y el sistema de recambios de agua. [tesina especialidad]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; 2018.
92. Silva PC, do Nascimento KS, Sipaúba TLH, Leão SV. Desempenho productivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em diferentes densidades e trocas de agua em “raceway”. Acta Scientiarum. 2002; 24 (4): 935- 941. Brasileño.

93. Collazos-Lasso, L, Arias-Castellanos JA. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revision. Orinoquia. 2015;19(1):77-86.
94. Lemus AIR. Efecto de diferentes fuentes de proteína sobre la digestibilidad *in vitro* y aparente en juveniles del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*). [tesis maestría]. Ciudad de México (Mx): Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias del mar y limnología; 2015.
95. Iturbide CFA, Sandoval GJ. Análisis de alimentos. Fundamentos y técnicas. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México; 2013.
96. Rocha DN, Simoes LN, Paiva G, Gomes LC. Sensory, morphometric and proximate analyses of Nile tilapia reared in ponds and net-cages. Scielo. 2012;41(7):1795-1799. doi: 10.1590/S1516-35982012000700033
97. Bossier P, Ekasari J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. Microbial biotechnology. 2017.
98. León SM. Proteínas en nutrición artificial. Madrid: EDIKAMED S.L.; 2006.
99. Newsome SD, Fogel ML, Kelly L, del Río CM. Contributions of direct incorporation from diet and microbial amino acids to protein synthesis in Nile tilapia. Functional Ecology. British Ecology Society. 2011;25:1051-1062. doi: 10.1111/j.1365-2435.2011.01866.x

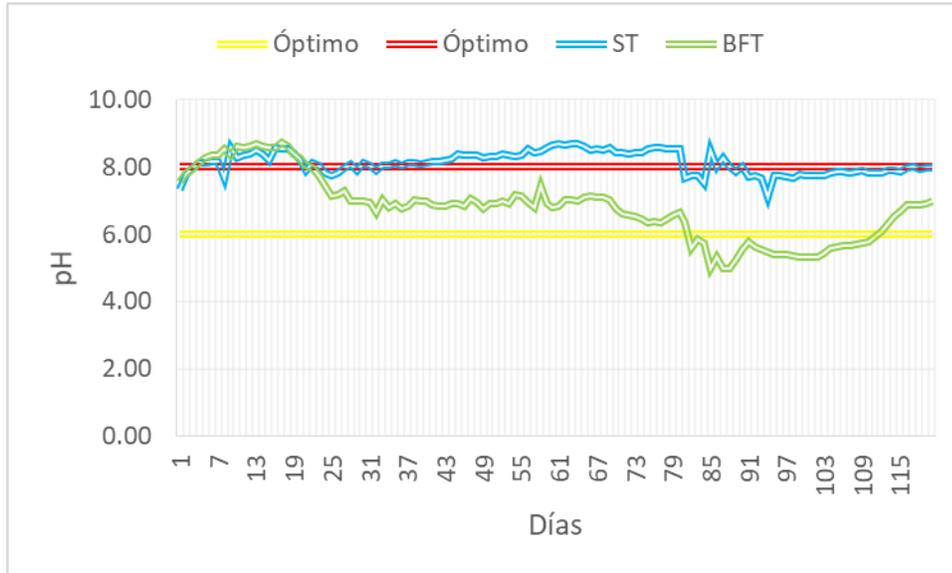
## ANEXOS. FIGURAS



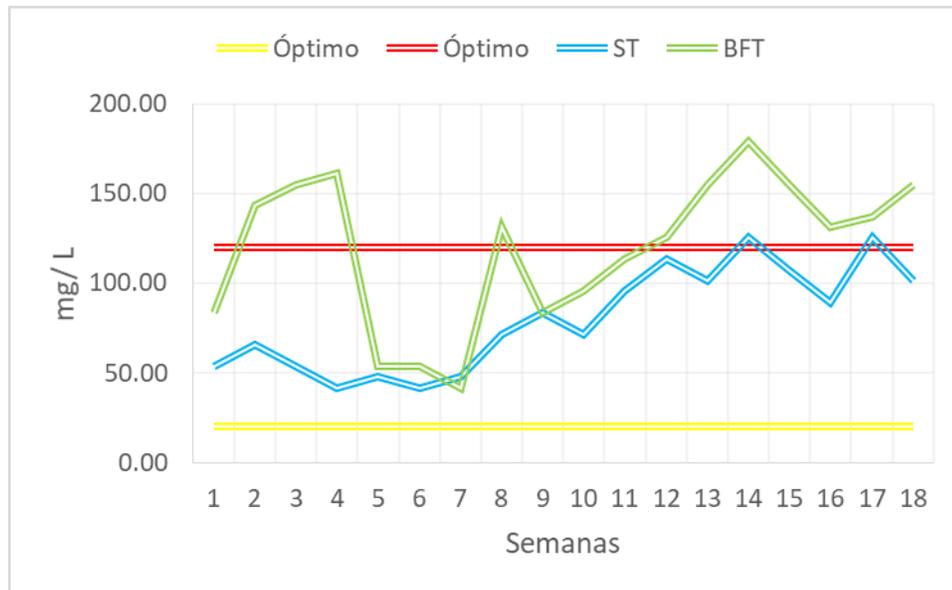
**Figura 1.** Concentración del oxígeno disuelto durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



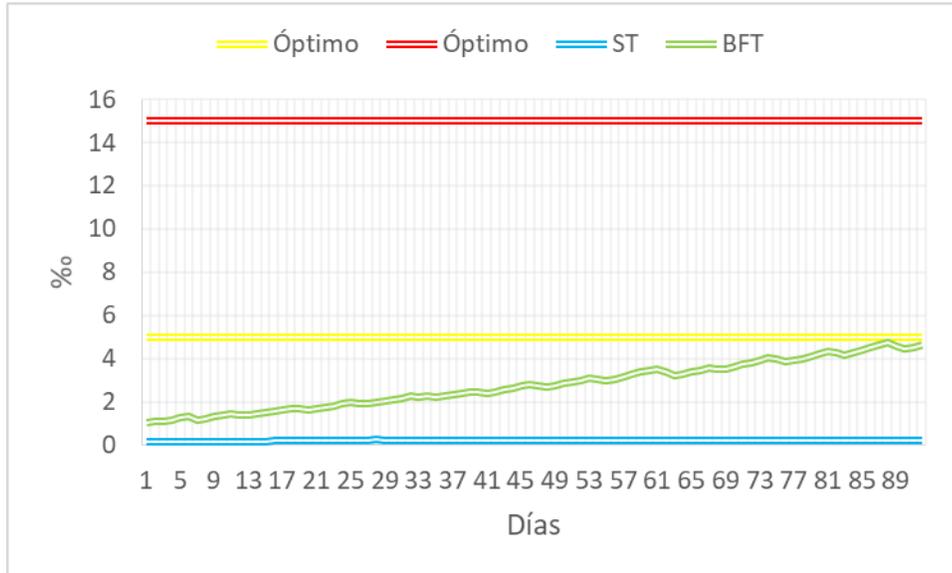
**Figura 2.** Comportamiento de la temperatura durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



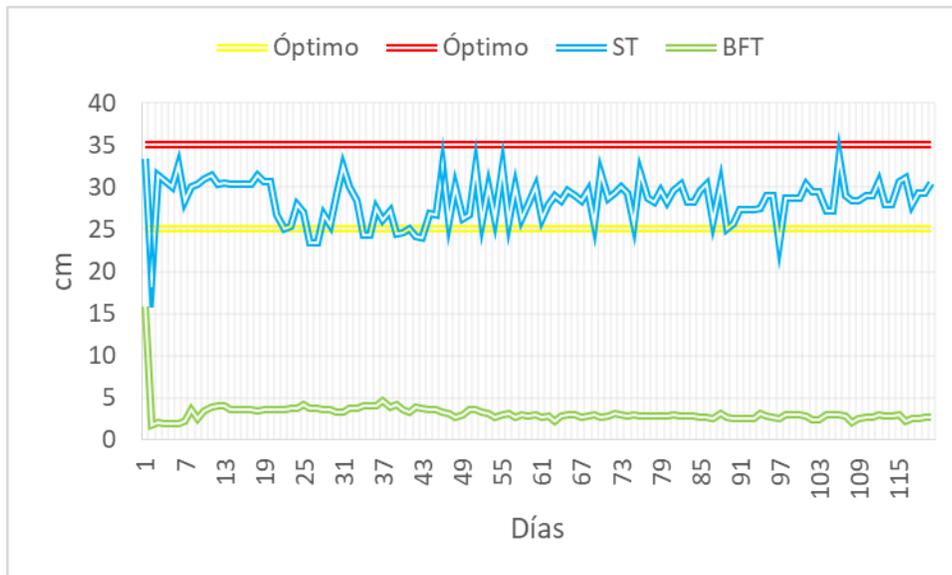
**Figura 3.** Comportamiento del pH durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



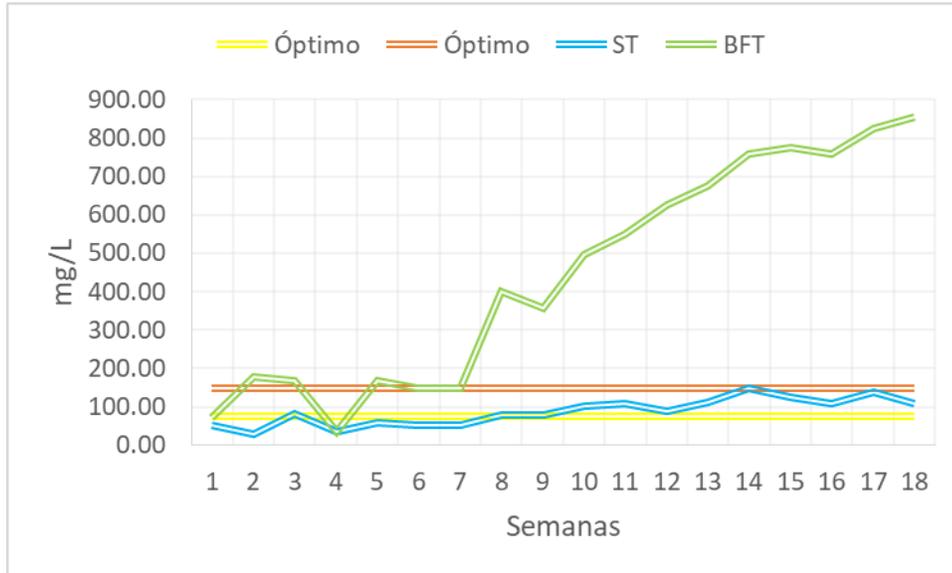
**Figura 4.** Comportamiento de la alcalinidad durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



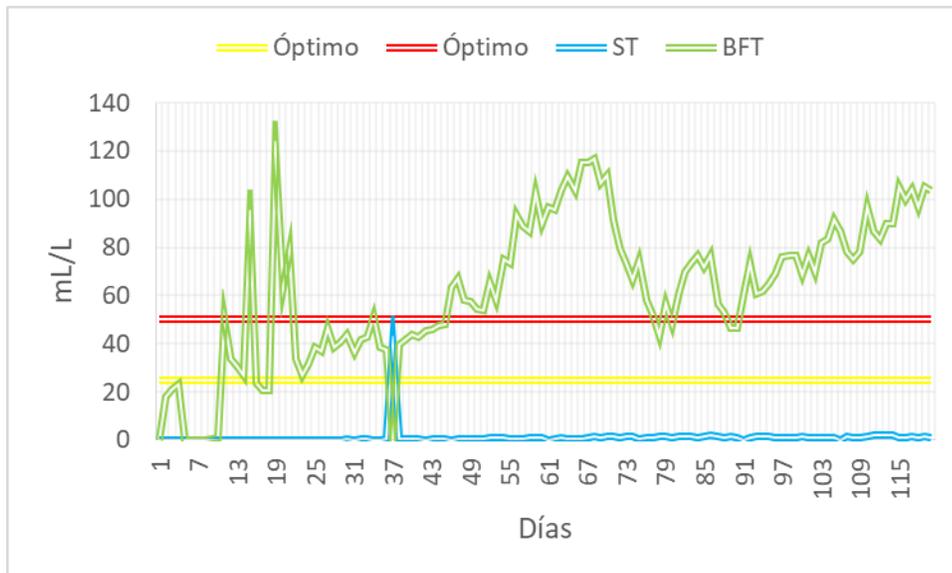
**Figura 5.** Comportamiento de la salinidad durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



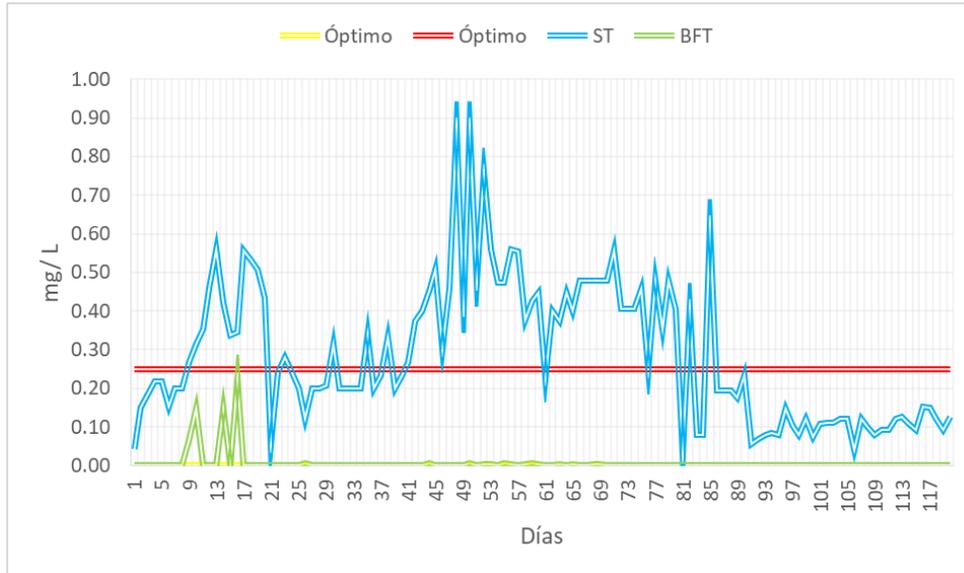
**Figura 6.** Comportamiento de la transparencia durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



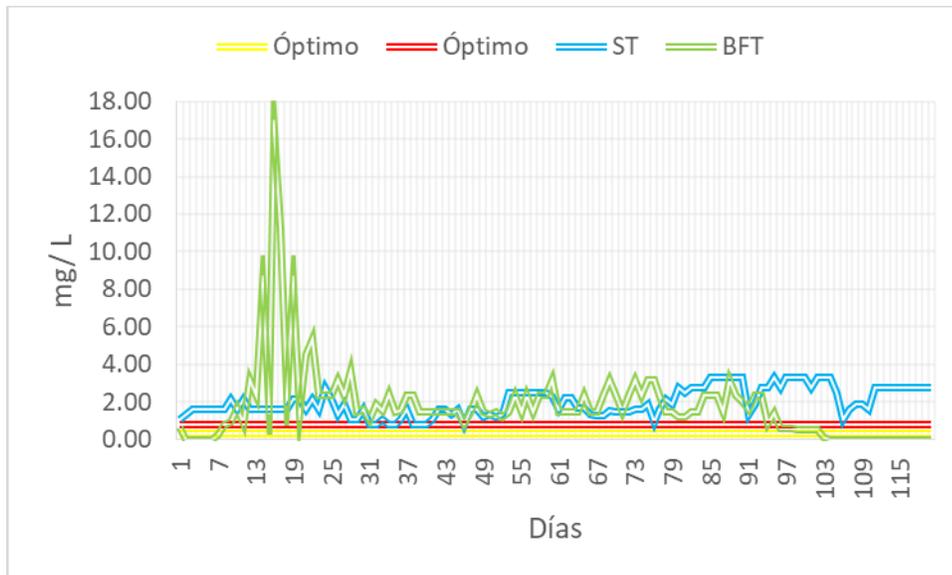
**Figura 7.** Comportamiento de la dureza general durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



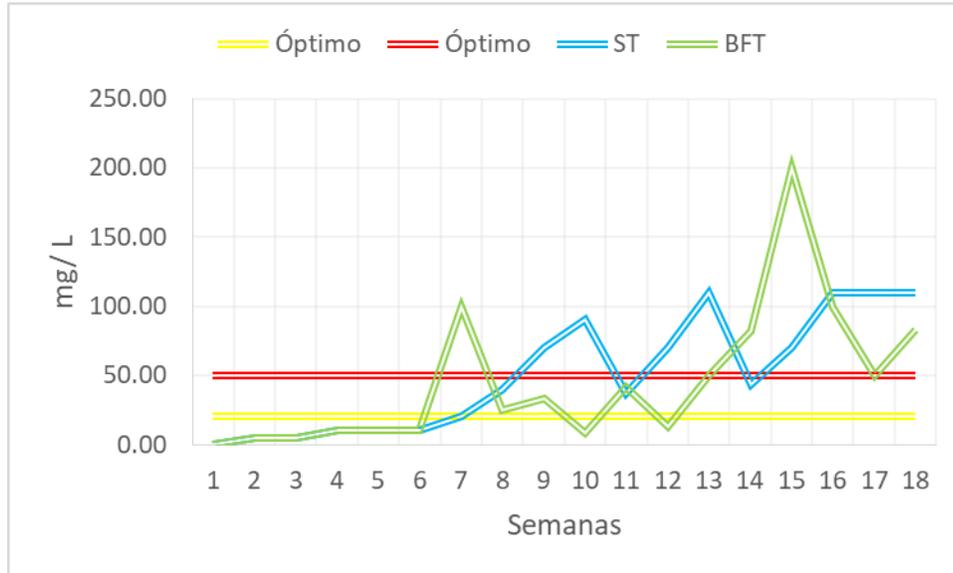
**Figura 8.** Comportamiento de sólidos suspendidos totales durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



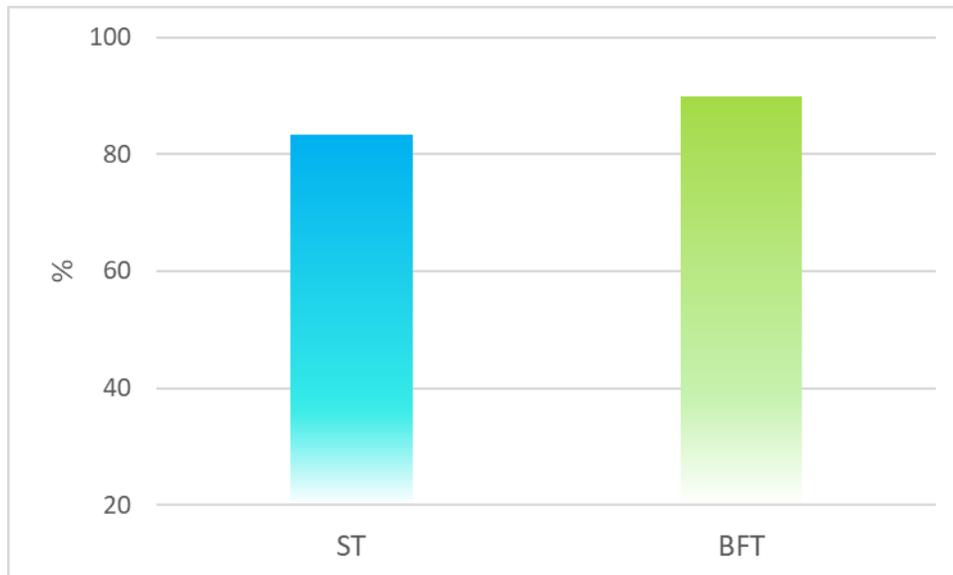
**Figura 9.** Comportamiento del amoniacó durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



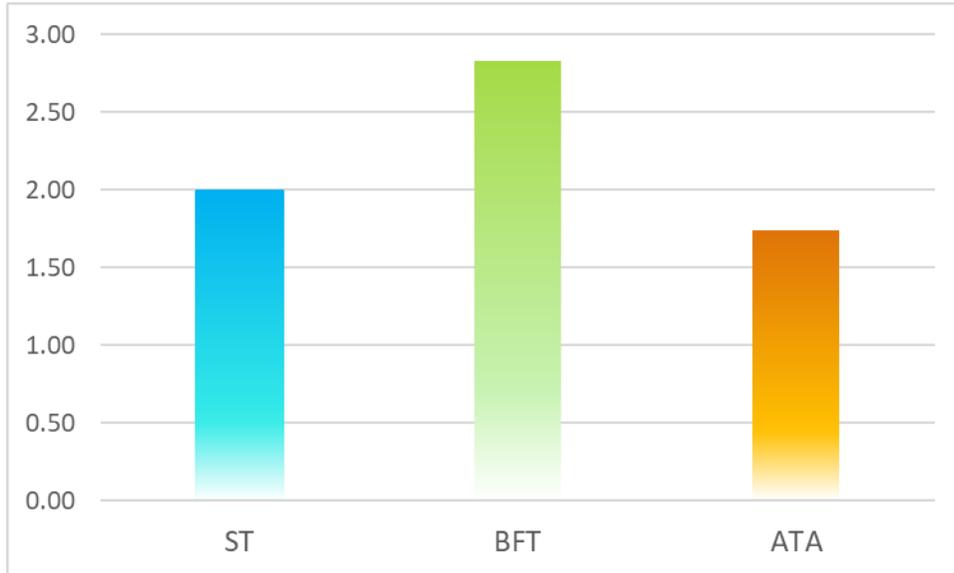
**Figura 10.** Comportamiento de los nitritos durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



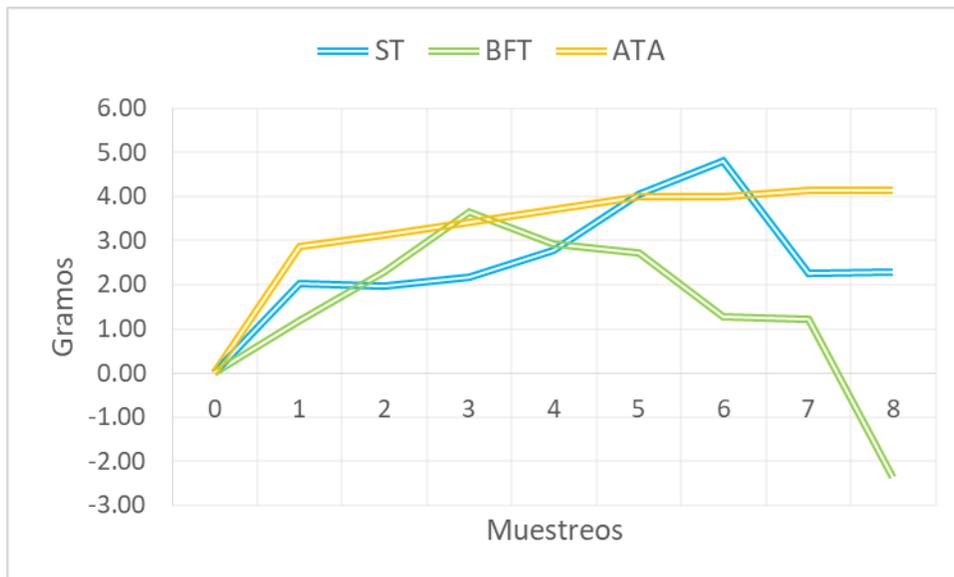
**Figura 11.** Comportamiento de los nitratos durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



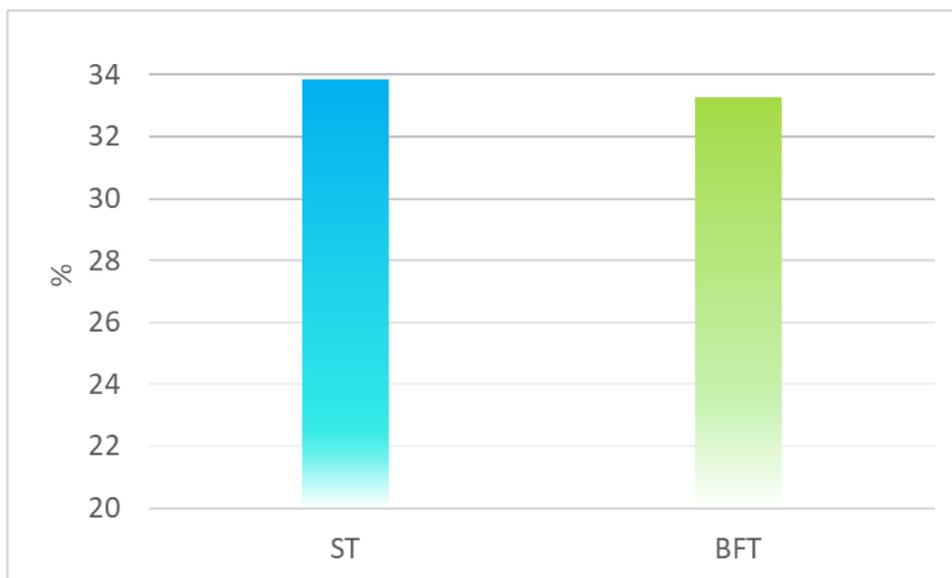
**Figura 12.** Porcentaje de supervivencia de los peces en ambos sistemas durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



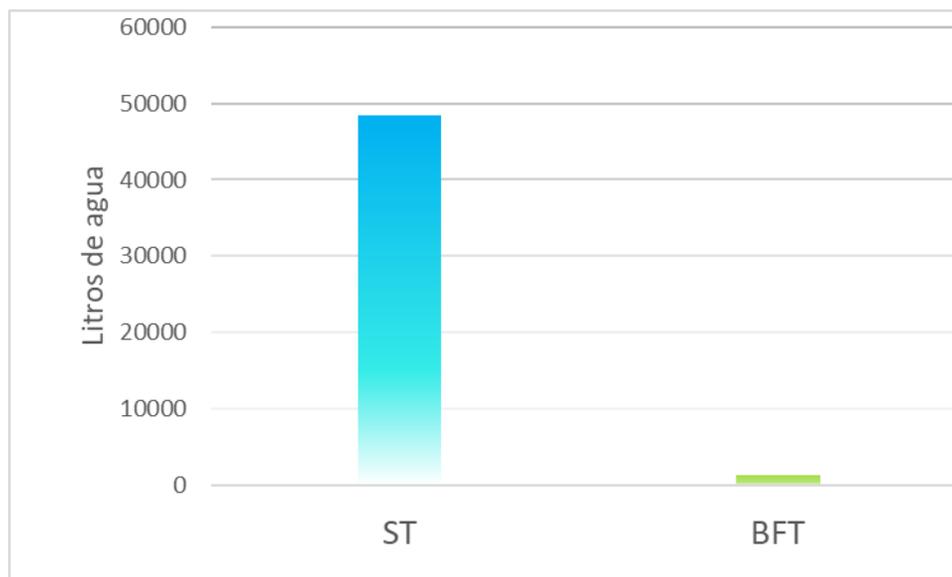
**Figura 13.** Factor de conversión alimenticia en el sistema tradicional (ST), en el sistema con tecnología biofloc (BFT) y lo recomendado por la American Tilapia Association.



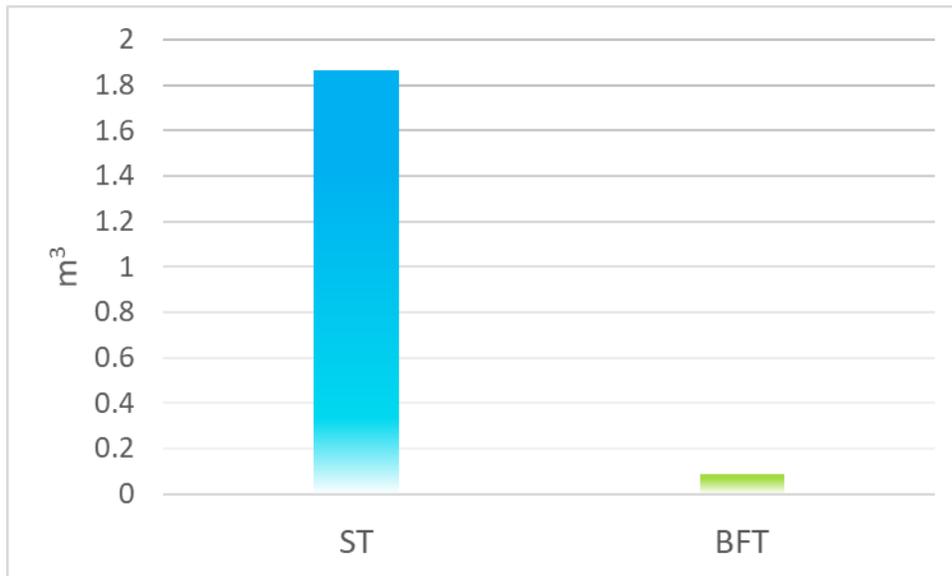
**Figura 14.** Ganancia diaria de peso a lo largo del experimento en el sistema tradicional (ST), en el sistema con tecnología biofloc (BFT) y lo recomendado por la American Tilapia Association.



**Figura 15.** Rendimiento en filete del sistema tradicional (ST) y del sistema con tecnología biofloc (BFT).



**Figura 16.** Cantidad de agua utilizada durante el experimento en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



**Figura 17.** Cantidad de agua utilizada para producir 1 Kg de biomasa en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y BIOQUÍMICA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS PARA ALIMENTOS  
Av. Universidad No. 3000 México D.F. Tel. 5622-5907 y 5622-5879 Fax: 5622-5906

Constancia: 292I/17

Hoja 02/02

**DR. LUIS ANDRÉS CASTRO**  
FMVZ-UNAM

**Muestra.: 292I (INVESTIGACIÓN)**  
**BIOFLOC TINA 4**

**Fecha de recepción: 04.08.17**

**Resultados\***

<b>Proteína Cruda</b>	26.32%
<b>Proteína Digestible</b>	7.86%

\*Los resultados se expresan en Base Seca

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria 11 de Agosto de 2017



  
 Q.A. Águeda García Pérez      Dr. Luis Corona Gochi  
 Responsable del Laboratorio      Depto. de Nutrición Animal y Bioquímica

Esta constancia ampara únicamente la muestra analizada. Se prohíbe la reproducción total o parcial de la misma sin previa autorización escrita del responsable del laboratorio. La presente constancia no podrá ser utilizada para fines legales.

**Figura 18.** Porcentaje de proteína digestible en pepsina del biofloc.



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL Y BIOQUÍMICA

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS PARA ALIMENTOS

Av. Universidad No. 3000 México D.F. Tel. 5622-5907 y 5622-5879 Fax: 5622-5906

Constancia: 287I/17

Hoja 01/01

DR. LUIS ANDRÉS CASTRO  
FMVZ-UNAM

Muestra.: 287I (INVESTIGACIÓN)  
FILETE PESCADO TINA 3

Fecha de recepción: 04.08.17

Análisis Químico Inmediato\*

Materia seca	21.29%
Humedad	78.71%
Proteína Cruda (Nitrógeno*6.25)	16.51%
Extracto Etéreo	1.33%
Cenizas	1.15%
Fibra Cruda	0.00%
Extracto Libre de Nitrógeno	2.29%

Los resultados se expresan en Base Húmeda

\*Método AOAC Químico Proximal (1990)

NA = NO ANALIZADO

NC = NO CALCULADO

Analizó: Ladislao Mendoza Medina

UNAM.  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 14 de Agosto de 2017

Q.A. Águeda García Pérez  
Responsable del Laboratorio

Dr. Luis Corona Gochi  
Jefe del Depto. de Nutrición Animal y  
Bioquímica

Esta constancia ampara únicamente la muestra analizada. Se prohíbe la reproducción total o parcial de la misma sin previa autorización escrita del responsable del laboratorio. La presente constancia no podrá ser utilizada para fines legales.

FRP-DNAB-MV-002 Rev. 3

**Figura 19.** Calidad nutricional del filete de tilapia cultivado en un sistema con tecnología biofloc.



Informe de prueba:  
Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos

Tabla 3. Perfil de aminoácidos

Muestra	Pescado ST	
	g aa/100 g muestra	g aa/100 g proteína
Aminoácido		
Ácido aspártico	1.02	4.65
Ácido glutámico	2.11	9.61
Serina	0.97	4.73
Glicina	1.57	7.12
Lisina	1.97	8.96
Histidina	1.55	7.03
Treonina	1.19	5.52
Arginina	1.53	6.97
Alanina	0.65	2.97
Prolina	1.79	8.11
Cisteína	0.36	1.62
Tirosina	1.32	6.66
Valina	1.00	4.53
Metionina	0.92	4.18
Isoleucina	0.75	3.39
Leucina	0.78	3.53
Fenilalanina	1.63	7.41
Amoníaco residual	0.11	0.49
<b>Total</b>	<b>21.20</b>	<b>97.48</b>

Los resultados reportados son representativos sólo de la muestra recibida.  
El muestreo y representatividad de la muestra recibida en este laboratorio es responsabilidad de la empresa y/o del solicitante.

Anexos: No aplica.



Se prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del Jefe de la USIA.  
USIA-PA-03-F-06.00  
Código del informe: LQAA-2017-064

Página 5 de 5

**Figura 20.** Perfil de aminoácidos presentes en el filete de tilapia cultivada en un sistema tradicional.



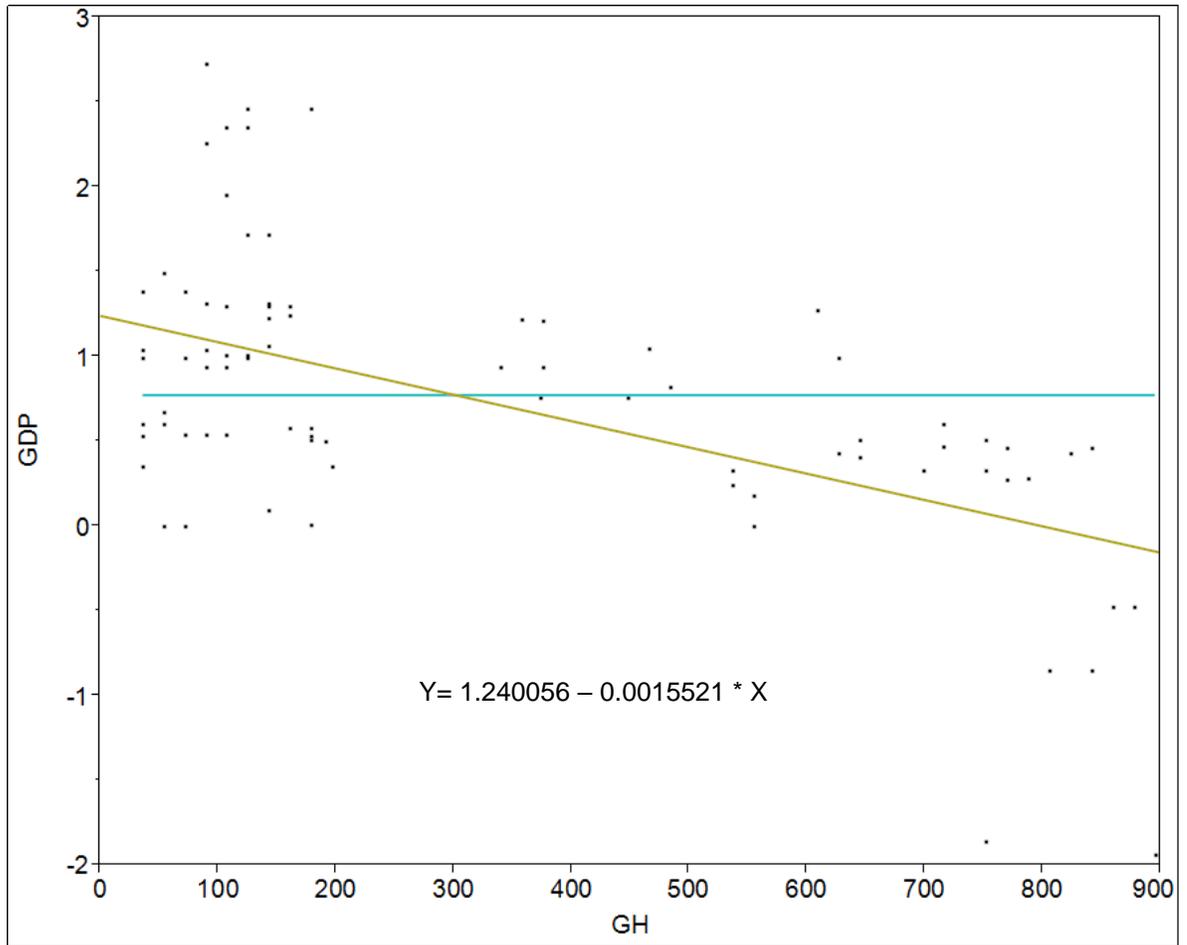
Informe de prueba:  
Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos

Tabla 2. Perfil de aminoácidos

Muestra	Pescado BFT	
	g aa/100 g muestra	g aa/100 g proteína
Aminoácido		
Ácido aspártico	0.84	3.60
Ácido glutámico	2.14	9.18
Serina	1.12	4.77
Glicina	1.91	8.17
Lisina	2.30	9.85
Histidina	0.31	1.34
Treonina	2.33	9.96
Arginina	0.43	1.82
Alanina	0.48	2.05
Prolina	1.25	5.34
Cisteina	0.44	1.89
Tirosina	1.73	7.38
Valina	0.90	3.84
Metionina	0.99	4.24
Isoleucina	1.12	4.80
Leucina	1.42	6.06
Fenilalanina	1.89	8.09
Amoníaco Residual	0.19	0.80
<b>Total</b>	<b>21.77</b>	<b>93.17</b>

Los resultados reportados son representativos sólo de la muestra recibida.  
El muestreo y representatividad de la muestra recibida en este laboratorio es responsabilidad de la empresa y/o del solicitante

**Figura 21.** Perfil de aminoácidos presentes en el filete de tilapia cultivada en un sistema con tecnología biofloc.



**Figura 22.** Correlación entre la ganancia diaria de peso (GDP) y la dureza (GH) en el sistema biofloc.

10 de junio del 2017  
**RESULTADO DE NECROPSIA**

<b>DATOS GENERALES:</b>	<b>DATOS DEL REMITENTE:</b>
Identificación: Tilapia	Responsable: Esther Pandal Baños
Especie: <i>Oreochromis niloticus</i>	MVZ: Esther Pandal Baños
Edad: Juvenil	E-mail: esther18panda@gmail.com

El día 23 de mayo se realizó la necropsia del animal antes referido.  
Los hallazgos patológicos encontrados durante la necropsia se describen a continuación:

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:**  
**INSPECCION EXTERNA:** El cadáver presentó buena condición corporal. La aleta caudal se observa retraída y con áreas blancas (necrosis).  
**INSPECCION INTERNA:**  
**Branquias:** Las branquias se observan opacas y retraídas, en múltiples áreas se observan de color blanco (necrosis).

**El resto de los órganos examinados no presentaron alteraciones patológicas evidentes.**

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**  
**Branquias:** En múltiples áreas, las branquias están engrosadas por edema y muestran hiperplasia leve con fusión de las lamelas secundarias. El tejido intersticial está infiltrado por moderada cantidad de granulocitos eosinofílicos y linfocitos. Adyacente a las lamelas, se observan numerosos tremátodos de aproximadamente 500 µm de largo adheridos al epitelio branquial, los cuales presentan un tegumento delgado, múltiples ganchos marginales, un parénquima esponjoso, tracto digestivo y órganos reproductores. En algunas áreas se observan organismos unicelulares ciliosos de aproximadamente 20 µm.

**El resto de las secciones de tejido examinados no presenta cambios histomorfológicos evidentes.**

**DIAGNÓSTICOS MORFOLÓGICOS:**

- Bronquitis linfocítica grave multifocal con numerosos tremátodos intralesionales compatibles con *Gyrodactylus* spp.
  - Hiperplasia y fusión lamelar moderada a grave multifocal

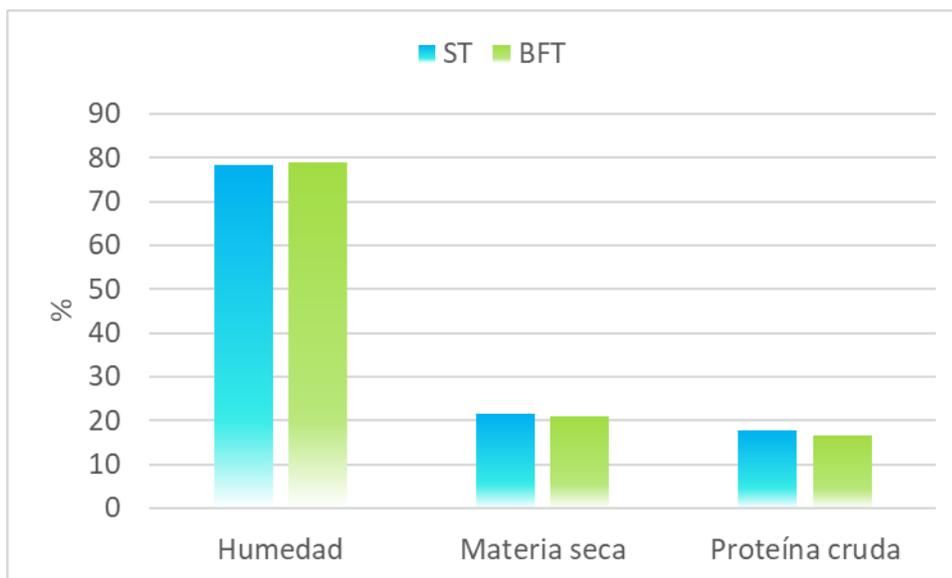
**COMENTARIO:** De acuerdo con los hallazgos macroscópicos y microscópicos, se determina que el cuadro infeccioso corresponde a una parasitosis lamelar asociada a monogéneos compatibles con *Gyrodactylus*. Estos tremátodos representan una mortalidad y morbilidad significativa en especies de cultivo con cargas parasitarias excesivas asociadas a características físico-químicas del agua ya que la mala calidad del agua promueve la multiplicación de dichos parásitos. Se recomienda verificar características del agua y aplicar el tratamiento pertinente.

**ATENTAMENTE**

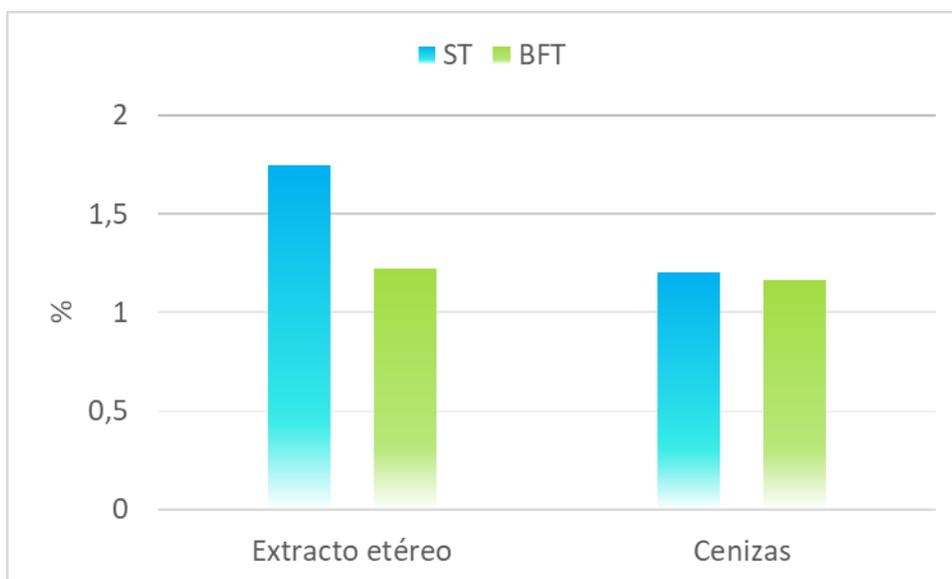


**eMVZ Alfredo Pérez Guiot**  
Patólogo Responsable

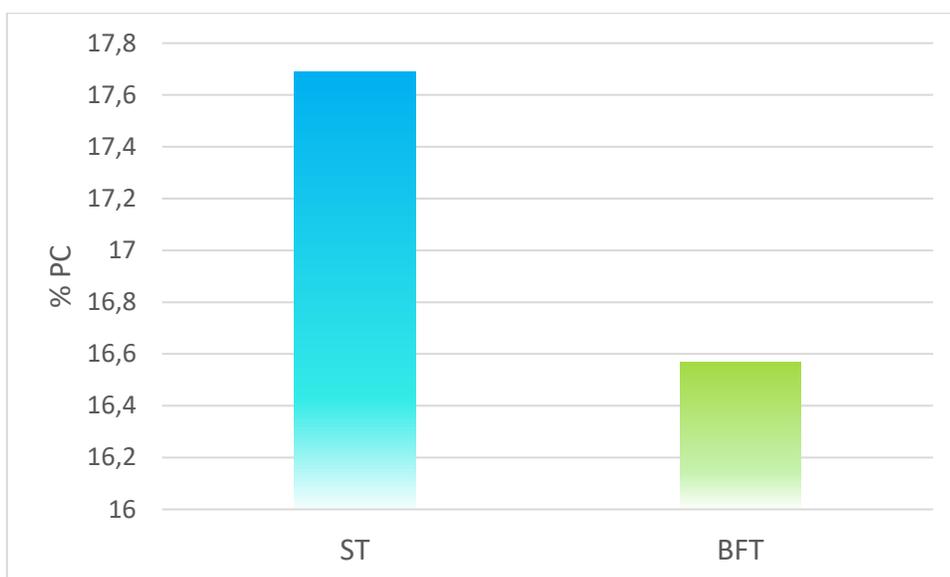
**Figura 23.** Reporte de necropsia realizado a los organismos afectados durante el experimento en el sistema tradicional.



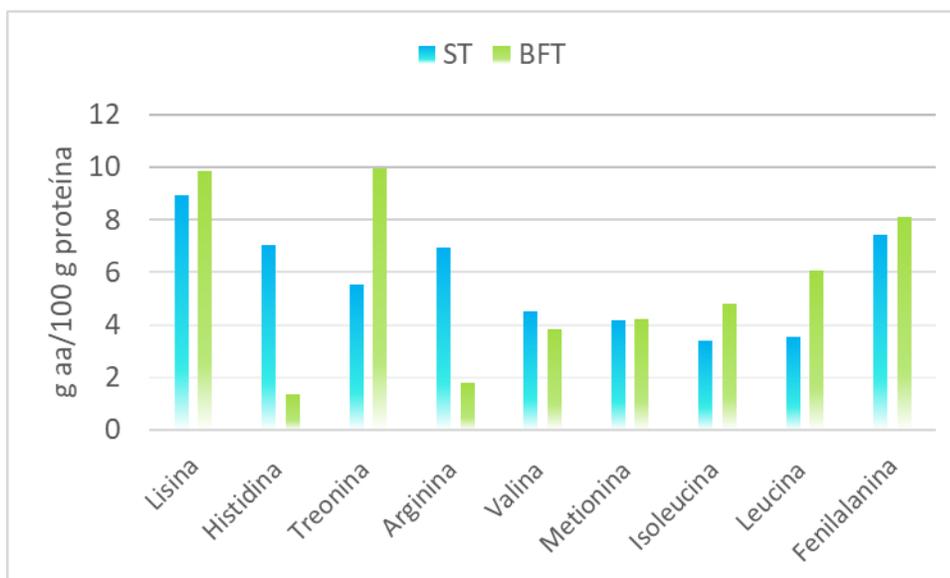
**Figura 24.** Análisis químico proximal del filete de tilapia cultivada en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



**Figura 25.** Análisis químico proximal del filete de tilapia cultivada en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



**Figura 26.** Porcentaje de proteína cruda del filete de tilapia cultivada en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).



**Figura 27.** Cantidad de aminoácidos esenciales presentes en el filete de tilapia cultivada en el sistema tradicional (ST) y en el sistema con tecnología biofloc (BFT).