



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

INGENIERÍA EN ECOSISTEMAS

**EFECTO DE DIFERENTES RELACIONES CARBONO:
NITRÓGENO (C:N) Y FUENTES DE PROBIÓTICOS EN UN
SISTEMA BIOFLOC DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA
(*OREOCHROMIS SP.*)**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN ECOSISTEMAS

AUTOR: SUSANA MISHALL CALUÑA CEDILLO

TUTOR: PhD. FRANCISCO VILLAMARÍN JURADO

CO-TUTOR: Msc. RICARDO ERNESTO BURGOS MORAN

Napo - Ecuador

2023

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Susana Mishell Caluña Cedillo con documento de identidad 1751419159, declaró que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Ingeniería en Ecosistemas, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Tena, 14 de septiembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, reading "Susana Caluña". The signature is stylized with a large, looping 'S' and a cursive 'Caluña'.

Susana Mishell Caluña Cedillo

CI: 1751419159

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Susana Mishell Caluña Cedillo, con documento de identidad N°1751419159, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: “Efecto de diferentes relaciones carbono:nitrógeno (C:N) y fuentes de probióticos en un sistema biofloc de producción de Tilapia roja (*Oreochromis* sp.)”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación superior.

Tena, 14 de septiembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, reading "Susana Caluña", with a large, stylized flourish above the name.

Susana Mishell Caluña Cedillo

CI: 1751419159

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico que el trabajo de titulación: “Efecto de diferentes relaciones carbono:nitrógeno (C:N) y fuentes de probióticos en un sistema bioflocde producción de Tilapia roja (*Oreochromis* sp.)”, en la modalidad de: artículo, fue realizado por Susana Mishell Caluña Cedillo bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Tena, 14 de septiembre de 2023



.....
PhD. Francisco Villamarín

C.I: 1715280069

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Regional Amazónica Ikiam, por haberme brindado una educación de calidad, por las enseñanzas tan valiosas que me ayudaron a formarme como profesional. A los docentes por haber compartido esa pasión por la conservación y por la amazonia.

Además, agradezco a mi tutor Francisco Villamarín por brindarme su tiempo en todo el proceso y guiarme con su conocimiento y pasión por los peces, quien permitió que se desarrollará este trabajo. Así también, agradezco profundamente a mi co-tutor Ricardo Burgos, por guiarme con su conocimiento científico, facilitando mi entendimiento sobre nuevas tecnologías y su gran importancia en el ecosistema.

Agradezco infinitamente a “Finca piscícola el Campo” propiedad de Tito Torres, por brindar el espacio en la fase experimental de este trabajo y Tania Torres por su valiosa contribución. También, agradezco a la Fundación Centro Lianas, por haber ayudado con el financiamiento económico para el análisis proximal de las muestras.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, principalmente a mis padres, por su gran apoyo y por haber creído en mí, durante todo este proceso de mi vida universitaria, por haber estado en los momentos más difíciles, así como en los buenos. Por haberme dado la oportunidad y ayudado a formarme como persona y como profesional. A mi madre y a mi hermana mayor por haberme dado los consejos para afrontar las dificultades y darme las palabras necesarias para que siga creyendo en mí, por haberme corregido e inspirado a ser mejor cada día.

Finalmente quiero dedicar esta tesis, a mis amigos y amigas, por haberme apoyado y acompañado durante toda mi carrera universitaria. Les agradezco infinitamente por todo el apoyo y el amor brindado en todo este tiempo.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
2.1 Diseño experimental.....	3
2.2 Parámetros de calidad del agua	4
2.3 Crecimiento y sobrevivencia de alevines de <i>Oreochromis</i> sp.....	5
2.4 Análisis de composición proximal de la carne de tilapia y flóculos microbianos	6
2.5 Análisis estadísticos	7
3. RESULTADOS	7
3.1 Evaluación de parámetros de calidad de agua.....	7
3.2 Crecimiento y mortalidad de <i>Oreochromis</i> sp.....	9
3.3 Composición proximal de la carne de <i>Oreochromis</i> sp.....	11
3.4 Composición proximal de los flóculos microbianos (biofloc)	12
4. DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES.....	20
6. RECOMENDACIONES	20
7. REFERENCIAS	22
8. ANEXOS.....	227

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental del uso de la tecnología biofloc con alevines de tilapia roja.....	4
Tabla 2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA), relativo (TCR), y específico (TCE) para masa (g) de las tilapias rojas. Los datos corresponden a media $\pm$ desviación estándar.....	10
Tabla 3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA), relativo (TCR), específico (TCE) para longitud (cm) de tilapias rojas. Datos corresponden a $\pm$ desviación estándar.....	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Parámetros de calidad de agua: A. Temperatura. B. pH. C. Oxígeno disuelto. D. Amonio. E. Amoniac. F. Nitrito. G. Nitrato.	9
Figura 2.	A. Tasa de conversión alimenticia. B. Índice de condición corporal. C. Índice hepatosomático. D. Tasas de sobrevivencia.	11
Figura 3.	Análisis de composición proximal de la carne de tilapias. A) Proteína. B) Ceniza. C) Humedad. D) Grasa.	12
Figura 4.	Análisis de composición proximal del biofloc. A) Proteína. B) Ceniza. C) Humedad. D) Grasa.	13

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Parámetros de calidad de agua durante un periodo de 60 días de experimentación. Los datos corresponden a la media $\pm$ desviación estándar.	22
Anexo 2.	Crecimiento y mortalidad de <i>Oreochromis</i> sp. en un sistema biofloc. Los datos corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar.	22
Anexo 3.	Composición proximal de <i>Oreochromis</i> sp. en un sistema biofloc. Los datos corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar.	22
Anexo 4.	Composición proximal del biofloc. Los datos corresponden a media $\pm$ desviación estándar.	22

RESUMEN

La tecnología biofloc es un sistema de acuicultura sostenible, basado en el establecimiento de comunidades microbianas que ayudan a mejorar la calidad del agua. Este enfoque se reconoce como una importante fuente de nutrición para los organismos cultivados, lo cual incide en la mejor productividad piscícola. El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar cómo las diferentes relaciones de C:N, el uso de lixiviado de lombriz y probiótico comercial, influyen en el crecimiento, sobrevivencia, composición proximal de los peces y de los flóculos que se encuentran en el sistema biofloc con alevines de *Oreochromis* sp. durante 60 días de cultivo. Para ello, se implementó un diseño experimental que constaba en 5 tratamientos: un grupo control, dos tratamientos con lixiviado de lombriz y dos con probiótico con C:N (15:11, 20:1). Los resultados obtenidos en parámetros de calidad de agua como temperatura, pH, OD y nitrato no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos. No obstante, se observaron diferencias significativas en los niveles de amonio y nitrito en comparación al grupo control. Además, los tratamientos biofloc presentaron una disminución en la tasa de índice hepatosomático y mayor tasa de crecimiento, conversión alimenticia, índice de condición corporal y composición proximal de los peces y de los flóculos microbianos. La supervivencia fue baja para todos los tratamientos incluyendo el grupo control. Se concluye que la tecnología biofloc con el uso de lixiviado de lombriz y probiótico presentó mejor desempeño en el crecimiento y la composición proximal de la carne, así como en los flóculos microbianos.

Palabras clave: Crecimiento, composición proximal, lixiviado de lombriz, tilapia roja.

ABSTRACT

Biofloc technology is a sustainable aquaculture system, based on the establishment of microbial communities that help improve water quality. This approach is recognized as an important source of nutrition for cultured organisms, which affects the best productivity of fish. The main objective of this study was to evaluate how different C:N ratios, the use of worm leaching, and commercial probiotics, influence the growth, survival, proximal fish composition, and microbial flocs found in the biofloc system with fingerlings of *Oreochromis* sp. during 60 days of culture. For this, an experimental design consisting of 5 treatments: a control group, two treatments with worm leaching and two with probiotics and with C:N (15:11, 20:1). The results obtained in relation to water quality parameters such as temperature, pH, DO and nitrate did not show significant differences between the treatments. However, significant differences were observed in ammonium and nitrite levels compared to the control group. In addition, the biofloc treatments presented a decrease in the hepatosomatic index rate and a higher growth rate, feed conversion, body condition index and proximal composition of the fish and microbial flocs. Survival was low for all treatments, including the control group. It is concluded that the biofloc technology with the use of leaching with worms and probiotics presented better behavior in growth and composition of the proximal meat, as well as in microbial flocs.

Keywords: Growth, proximal composition, worm leachate, red tilapia

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en una importante fuente de proteína animal para la nutrición de las personas, por esta razón, la producción de pescado en condiciones de cautiverio ofrece una alternativa para las pesquerías de poblaciones silvestres de peces y genera importantes ingresos económicos a la población (FAO, 2018). Sin embargo, la acuicultura convencional puede presentar riesgos para el ambiente a través de la degradación de los hábitats naturales debido al uso y descargas de fármacos y desechos provenientes de piscinas sin el adecuado tratamiento (Naylor et al., 2000).

De esta forma, es importante lograr una mejor gestión a través de prácticas sostenibles en la acuicultura que aborde diferentes problemas ambientales y económicos, con herramientas que generen una producción de carne de alta calidad (Crab et al., 2012). Actualmente, existen tecnologías en la acuicultura consideradas mucho más sostenibles y amigables con el medio ambiente (Khanjani et al., 2020). La tecnología biofloc (bioflóculos o flóculos microbianos) es una alternativa de manejo acuícola que, a través del establecimiento de comunidades microbianas, ayuda a mejorar la calidad del agua en el sistema de cultivo y, por lo tanto, requiere un mínimo recambio de ésta (Azim & Little, 2008).

El principio está en el establecimiento de bacterias heterótrofas y otros microorganismos como zooplancton, protozoos y microalgas que se encuentran *in situ* en el sistema de cultivo (Azim & Little, 2008; Khanjani et al., 2020). Estas comunidades microbianas, proveen de una fuente de alimentación y probióticos constante para los peces. Este es un alimento que contiene alto valor proteico con un bajo costo de producción (Ahmad et al., 2017).

El principio para el establecimiento de los bioflóculos está basado en proporcionar altos niveles de oxígeno y de carbono para mejorar la actividad y proliferación de bacterias heterótrofas (Khanjani et al., 2020). Los flóculos de microorganismos formados en el sistema contribuyen a la degradación y reaprovechamiento de los residuos orgánicos nitrogenados provenientes de los peces y del alimento, de esta forma, los elevados niveles de carbono aumentan la relación C:N y el oxígeno disuelto genera condiciones hiperóxicas que favorecen la actividad de las bacterias heterótrofas (Azim & Little, 2008). Éstas a su vez, transforman la materia orgánica en nutrientes, impulsando una mejor productividad de biomasa microbiana proteica que sirve como alimento extra para los

propios peces cultivados (Azim & Little, 2008; Zapata et al., 2017). Para que las bacterias heterótrofas se desarrollen, el carbono orgánico debe estar disponible en una alta relación con respecto al nitrógeno (C:N) superior a 10:1 (Zapata et al., 2017).

La fuente de carbono externa se la puede obtener usando melaza, que permite que los desechos tóxicos sean aprovechados por las bacterias heterótrofas convirtiéndolas en proteínas útiles (Ahmad et al., 2017; Zablon et al., 2022a). Esto aumenta la tasa de sobrevivencia y el crecimiento de los peces, en parte, porque muchos de los organismos que conforman los bioflóculos son considerados probióticos (Khanjani et al., 2020; Zapata et al., 2017).

Adicionalmente, sustratos naturales como el lixiviado de lombriz pueden incentivar el establecimiento de bacterias beneficiosas en el sistema de cultivo con propiedades probióticas (Musyoka & Nairuti, 2021). La vermicomposta produce lixiviado de residuos orgánicos provenientes de las lombrices, el uso del lixiviado en la acuicultura ha mostrado grandes beneficios, ya que, está compuesto por nutrientes esenciales como proteínas, minerales y vitaminas (Musyoka & Nairuti, 2021). Además, posee una gran variedad de microorganismos, lo que contribuye como una fuente proteínica para los peces y el zooplancton que se encuentran en el sistema (Musyoka & Nairuti, 2021). Específicamente, el uso del lixiviado de lombriz como una fuente de proteína en el sistema biofloc, ayuda a la producción, incentivando el crecimiento de los peces y mejorando la calidad del agua (Bag et al., 2012; Musyoka et al., 2020).

Asimismo, los probióticos desempeñan un papel importante en la acuicultura, en la salud y en el rendimiento de los peces promoviendo el aumento de peso, optimizando el consumo de alimento, y fortaleciendo la respuesta inmune (Dawood et al., 2017). Esto se debe a que los probióticos ayudan a controlar las bacterias patógenas del sistema, promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas para los peces y ayuda a mantener una calidad de agua óptima para la producción de peces (Dawood et al., 2017; Mohapatra et al., 2013).

El aumento del consumo per cápita de la carne de pescado como una fuente importante de nutrición, ha impulsado el aumento en la producción de peces a nivel mundial, teniendo como uno de las principales especies cultivadas a la tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Esta especie es una importante fuente de recursos económicos de nutrición para las poblaciones humanas a nivel mundial (FAO, 2020). Algunas de las razones por las

cuales la tilapia es el pez que más se cultiva en el mundo, es porque posee un gran potencial productivo como comercial, se adapta bien a la crianza en cautiverio, tiene un rápido desarrollo, son resistentes a enfermedades y al estrés que se genera por la manipulación (Ortega et al., 2016; Torres Quevedo & Espejo González, 2001).

El uso de nuevos métodos de acuicultura como la tecnología biofloc, promueve un mejor manejo acuícola. Asimismo, genera una mejor producción de alta calidad de peces. El objetivo de este estudio fue evaluar cómo las diferentes relaciones C:N (15:1, 20:1) y el uso de una fuente externa de organismos probióticos de origen comercial y el lixiviado de lombriz, influyen en: a) la calidad del agua del sistema, b) el crecimiento y sobrevivencia de los peces, c) la composición proximal de la carne de tilapia roja y de los flóculos microbianos que se encuentran en el agua de cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Diseño experimental

El experimento fue llevado a cabo en la finca piscícola “El Campo” que se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad de Macas (-2.194827, -78.074760), provincia de Pastaza. La maduración del biofloc tuvo una duración de 20 días, mientras que, el experimento tuvo una duración de 60 días y se utilizó 150 alevines de tilapia roja que, en la etapa inicial del experimento pesaban alrededor de 3g de masa corporal y fueron aclimatados en un estanque madre. Los peces fueron alimentados con balanceado comercial con 40% de contenido proteico en una cantidad diaria de 4% de la masa corporal.

El experimento se llevó a cabo con dos relaciones C:N, una relación (C:N 15:1) baja, y una relación (C:N 20:1) alta. Para la maduración del agua para el establecimiento de los bioflóculos, se aplicó alimento balanceado y melaza, en donde el alimento y la melaza generan una cantidad de N en el sistema y para mantener las relaciones C:N se hace uso de una fuente de carbono. El alimento posee alrededor de 0.045% de N, es por esto que para neutralizar la cantidad de N en el sistema y mantener una buena relación C: N se agregó una fuente externa de carbono (melaza) que contiene 70% de carbono y el 30% restante es agua. La cantidad de melaza que se adicionó diariamente al primer

tratamiento (C:N. 15:1) fue de 0.91 g, mientras que para el segundo tratamiento (C:N. 20:1) fue de 1.81g. A partir de la segunda semana, el suministro diario de alimento balanceado fue reducido a 2% de la masa corporal, ya que se reduce la ingesta diaria de los peces (Khanjani & Sharifinia, 2020).

El experimento se realizó con un total de 150 tilapias rojas distribuidas 10 alevines en 15 tanques de 60L, con dos relaciones C:N (“baja” 15:1 y “alta” 20:1). Adicionalmente, se establecieron dos tratamientos según la fuente de probióticos. En el primero, se agregó lixiviado de lombriz y en el segundo, bacterias probióticas comerciales (Probiovet®). De esta forma, el diseño experimental estuvo compuesto por cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño experimental del uso de la tecnología biofloc con alevines de tilapia roja.

Tipo de tratamiento	Relación C:N	Tipo de fuente
Control		Manejo convencional
Lixiviado alto (LA)	Relación C:N de 20:1	Probiótico de lixiviado de lombriz
Lixiviado bajo (LB)	Relación C:N de 15:1	Probiótico de lixiviado de lombriz
Probiótico alto (PA)	Relación C:N de 20:1	Probiótico comercial
Probiótico bajo (PB)	Relación C:N de 15:1	Probiótico comercial

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

2.2 Parámetros de calidad del agua

Todos los tanques experimentales fueron provistos de aireación continua las 24 horas del día, con piedras difusoras de aire conectadas a una fuente de oxigenación externa que bombeo de 110 litros de aire por minuto.

Durante el experimento, se cuantificó semanalmente los parámetros de calidad de agua como: temperatura (C°), Potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto ([O₂] mg/l), amonio ([NH₄] mg/l), amoníaco ([NH₃] mg/l), nitrito ([NO₂] mg/l), nitrato ([NO₃] mg/l). Esta evaluación se realizó con kits de prueba de agua dulce API.

2.3 Crecimiento y sobrevivencia de alevines de *Oreochromis* sp.

Se realizaron biometrías en las tilapias rojas al inicio, a los 30 días y a los 60 días después del inicio del experimento. En las biometrías se tomó información sobre la masa corporal y la longitud estándar de los individuos para determinar su condición corporal y crecimiento. Se determinó el crecimiento absoluto (CA), crecimiento relativo (CR), asimismo, la tasa de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR) para los diferentes tratamientos, adicionalmente, se analizó la tasa de crecimiento específica (TCE) (Busacker et al., 1990)

El análisis de crecimiento se determinó a partir de las siguientes fórmulas:

$$CA = Y2 - Y1$$

$$TCA = Y2 - Y1 / t2 - t1$$

$$CR = Y2 - Y1 / Y1 * 100$$

$$TCR = Y2 - Y1 / Y1 * (t2 - t1) * 100$$

$$TCE (\% / \text{Dia}) = (\ln Y2 - \ln Y1) / t2 - t1 * 100$$

En donde: Y1 y Y2 es la masa o longitud inicial y final de los peces en el experimento, t1 y t2 es el tiempo en días al inicio y al final del experimento. Mientras que, ln Y1 y ln Y2 es el logaritmo natural del peso y la longitud en el inicio y al final del experimento de los tratamientos biofloc.

Para determinar la eficiencia en la asimilación del alimento proporcionado en función del crecimiento, se cuantificó la tasa de conversión alimenticia (TCA), que es la razón entre la cantidad de alimento suministrado y la ganancia en masa corporal de los peces al final del experimento (60 días) (Mohammadi et al., 2021).

$$TCA = \text{Cantidad de alimento suministrado (g)} / \text{Ganancia en masa corporal (g)}$$

La condición corporal (K) es una medida que ofrece una noción sobre qué tan pesados son los peces con relación a su longitud corporal. Este parámetro fue cuantificado al inicio, a los 30 días y al finalizar el experimento en los 60 días. Para esto, se tomó datos de la longitud estándar, midiendo a los individuos desde el premaxilar hasta el péndulo caudal y su masa.

Para obtener este índice, se utilizó la fórmula (Nash et al., 2006):

$$K = (\text{masa corporal del pez} / \text{longitud estándar}^3) * 100$$

El índice hepatosomático (IHS) fue obtenido al final del experimento en los 60 días. Para esto, se diseccionó a los individuos para obtener la masa del hígado y la masa del cuerpo completo usando la fórmula de (Sadekarpawar & Pragna, 2013):

$$\text{IHS} : (\text{masa del hígado} / \text{masa corporal} * 100)$$

La tasa de supervivencia en las tilapias rojas, fue cuantificada usando el número de peces al inicio y al final del experimento, en donde se usó la fórmula (Mohammadi et al., 2021):

$$\text{Tasa de supervivencia} = (\text{Número final de peces} / \text{Número inicial de peces}) * 100$$

2.4 Análisis de composición proximal de la carne de tilapia y flóculos microbianos

Al final del experimento (60 días), se realizó un análisis de composición proximal, o perfil nutricional (porcentaje de proteína total, cenizas, humedad y grasas) de la carne de los peces, juntando las muestras de músculo dorsal de todos los individuos de cada tanque experimental (en promedio 1.45g). Por otro lado, se analizó también el perfil nutricional de los bioflóculos suspendidos en el agua y decantados en el fondo del estanque haciendo un pool de este material por cada unidad experimental (aproximadamente 2g).

El análisis de contenido proteico fue realizado usando el método Micro Kjeldahl, este método consiste en evaluar el contenido de nitrógeno total de la muestra a partir del uso de un catalizador, para determinar la calidad de la muestra (AOAC, 2009; FAO, 1993). El resultado muestra el porcentaje de proteína en peso seco y para transformar la proteína en peso húmedo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Proteína en peso húmedo} = (\text{Peso seco} * \text{proteína}) / 100$$

El análisis de humedad está basado en la diferencia en masa entre material seco y el material húmedo para determinar el nivel de humedad de la muestra (AOAC, 2009; FAO, 1993). Para secar las muestras, se usó la técnica de liofilización, congelando las muestras a -80 C° para mantener toda la humedad posible. Después, se utilizó el liofilizador para la etapa de sublimación, donde se somete a la muestra a un proceso de

vacío para que el agua se evapore sin pasar por el estado líquido (Oyinloye & Yoon, 2020).

Para cuantificar el porcentaje de cenizas se incineraron las muestras previamente liofilizadas en un horno mufla a temperatura de 600 °C. A partir de esto, se examina el contenido de material inorgánico de la muestra para la identificación de minerales totales (AOAC, 2009; FAO, 1993).

Finalmente, las grasas totales fueron medidas con el método Soxhlet (AOAC, 2009; FAO, 1993). Para esto, las muestras fueron extraídas a partir de éter de petróleo y evaluadas como porcentaje de masa corporal.

2.5 Análisis estadísticos

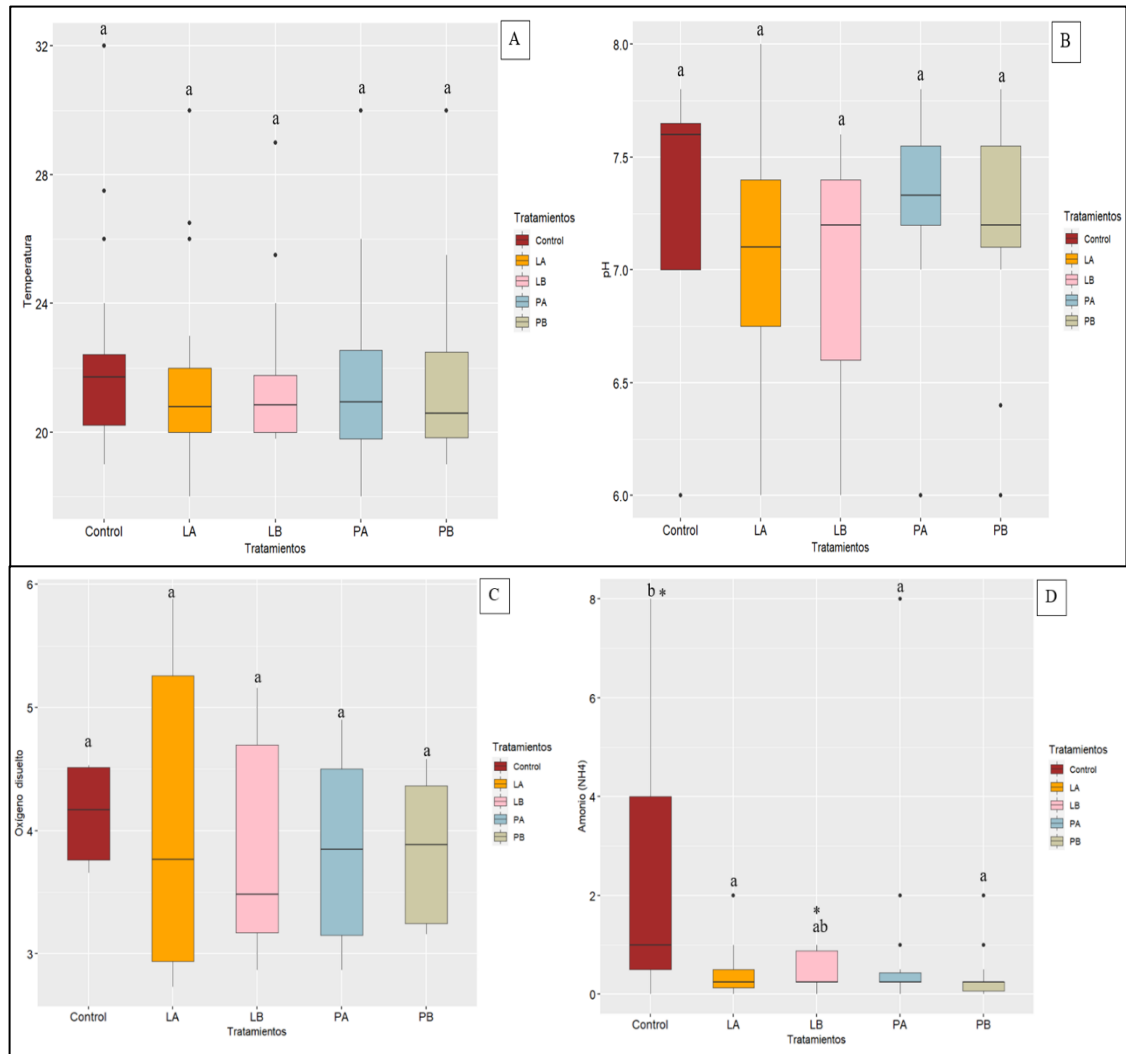
Los datos fueron analizados en el programa R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021) para llevar a cabo los análisis estadísticos descritos a continuación. Los datos pertenecen a parámetros de calidad de agua, biometría y composición proximal de las tilapias y biofloc, fueron sometidos a un análisis unidireccional de varianza (ANOVA), para determinar si variaba en función de la relación C:N y el tipo de probiótico utilizado en los parámetros medidos. Además, se realizó el análisis de Tukey para crear intervalos de confianza entre los tratamientos para identificar qué grupos en específico difieren entre sí. Los datos se presentaron de manera descriptiva como: media $\pm$ desviación estándar, puesto que, la media indica el valor promedio de cada grupo y la desviación estándar indica la dispersión de los datos alrededor de la media. Y los resultados fueron analizados con un análisis post-hoc para identificar agrupamientos estadísticos entre los tratamientos.

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación de parámetros de calidad de agua

Los parámetros medidos de calidad de agua como la temperatura (ANOVA, $p= 0.908$), el pH (ANOVA, $p= 0.227$), el oxígeno disuelto (ANOVA, $p= 0.965$), amoníaco (ANOVA, $p= 2.455 \times 10^{-4}$) y nitrato (ANOVA, $p= 0.58$) no difirieron significativamente entre los

tratamientos. Mientras que, el grupo control presentó los valores más elevados en el amonio (ANOVA, $p= 0.00262$) y nitrito (ANOVA, $p= 0.0467$), esto en comparación con los tratamientos usando la tecnología biofloc (Anexo 1, Figura 1).



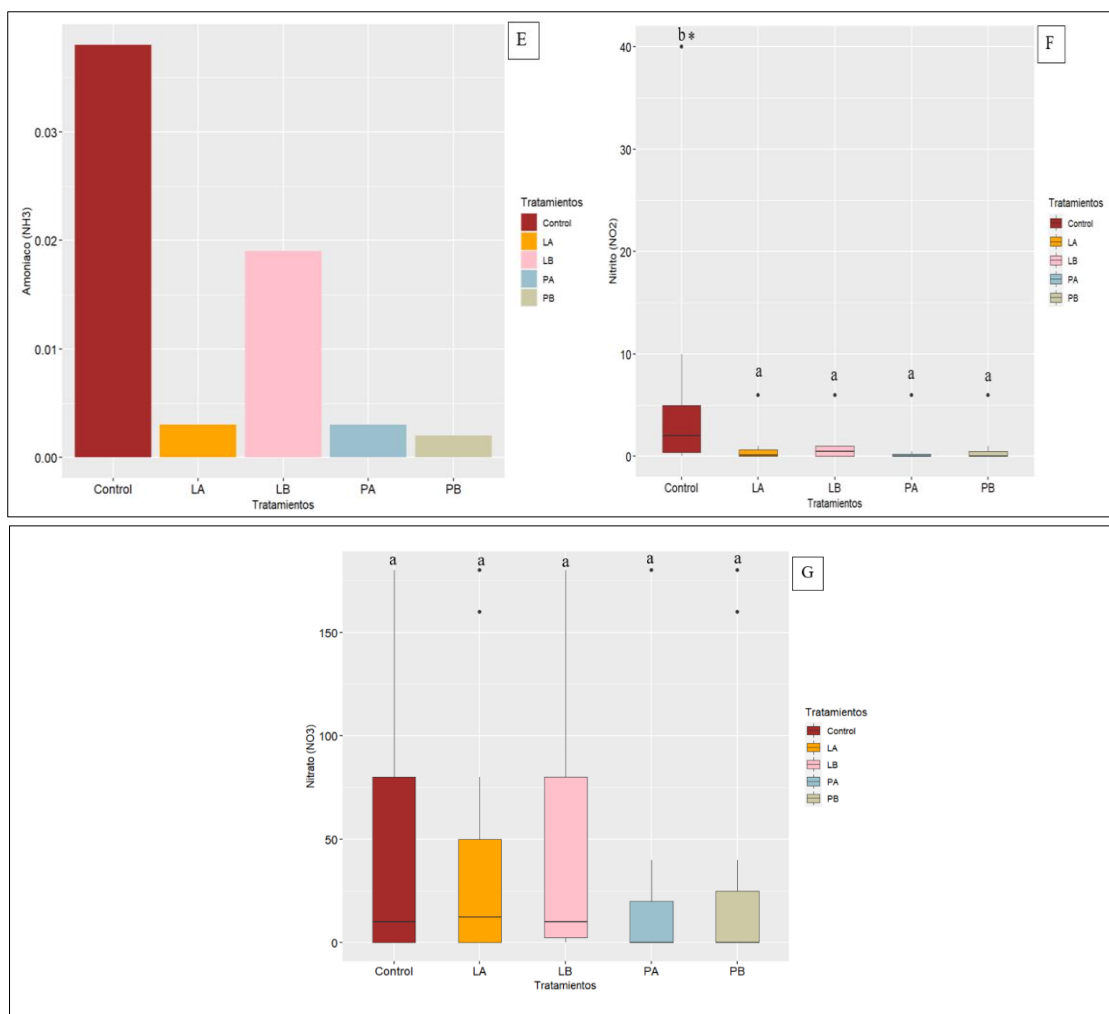


Figura 1. Parámetros de calidad de agua: A. Temperatura. B. pH. C. Oxígeno disuelto. D. Amonio. E. Amoniaco. F. Nitrito. G. Nitrato.

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

3.2 Crecimiento y mortalidad de *Oreochromis* sp.

El aumento en la masa corporal de las tilapias rojas durante los 60 días del experimento mostró diferencias significativas de los tratamientos biofloc con respecto al control (ANOVA, $p=5e-06$). Se encontró que el tratamiento PA tiene mayor incremento en el crecimiento absoluto y relativo, seguido de LB y LA. El tratamiento PA obtuvo el valor más alto (0.19 g/día) de incremento diario de peso (TCA) por día y el grupo control obtuvo el valor más bajo (0.08 g/día). Asimismo, el tratamiento PA obtuvo los valores máximos en las tasas de crecimiento absoluto (0.19 g/día), relativo (12.84 %/día) y específico (3.64 %/día), mientras que, el grupo control tiene los valores más bajos en las tasas de crecimiento (Tabla 2).

Tabla 2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA), relativo (TCR), y específico (TCE) para masa (g) de las tilapias rojas. Los datos corresponden a media $\pm$ desviación estándar.

Variable	Tratamientos					Significancia (p valor)
	Control	LA	LB	PA	PB	
Masa inicial (g)	1.52 $\pm$ 0.80	1.52 $\pm$ 0.8	1.52 $\pm$ 0.80	1.52 $\pm$ 0.80	1.52 $\pm$ 0.80	1.709 e-05
Masa final (g)	6.79 $\pm$ 2.81	12.06 $\pm$ 3.62	12.27 $\pm$ 4.61	13.04 $\pm$ 4.11	11.97 $\pm$ 3.55	5 e-06***
CA (g)	5.27 $\pm$ 2.51	10.54 $\pm$ 2.51	10.75 $\pm$ 2.51	11.52 $\pm$ 2.51	10.45 $\pm$ 2.51	9.92 e-04
CR (g)	8.93 $\pm$ 0.04	17.86 $\pm$ 0.04	18.22 $\pm$ 0.14	19.52 $\pm$ 0.04	17.71 $\pm$ 0.04	9.92 e-04
TCA (g/día)	0.08 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.04	0.19 $\pm$ 0.04	0.17 $\pm$ 0.04	9.92 e-04
TCR (%/día)	5.87 $\pm$ 2.80	5.87 $\pm$ 2.80	11.98 $\pm$ 2.80	12.84 $\pm$ 2.80	11.65 $\pm$ 2.80	9.92 e-04
TCE (%/día)	2.53 $\pm$ 0.45	2.53 $\pm$ 0.45	3.53 $\pm$ 0.45	3.64 $\pm$ 0.45	3.49 $\pm$ 0.45	8.058 e-05

Nota. Grado de significancia. 0 “***”, 0.001 “**”, 0.01 “*”

Realizado por: Caluña Susana, 2023.

El crecimiento en longitud mostró que los tratamientos expuestos a biofloc, no mostraron diferencias significativas entre ellos (ANOVA, $p=5.78e07$). Por otro lado, el grupo control fue el que mostró los valores más bajos de crecimiento (5.67 cm). El tratamiento PA en las tasas de crecimiento: TCA (0.06 cm/ día), TCR (1.75 %/día) y TCE (1.20 %/día); y el tratamiento LA en las tasas de crecimiento: TCA (0.06 cm/ día), TCR (1.74%/día) y TCE (1.20%/día) mostraron tener los valores más altos con relación al grupo control (Tabla 3).

Tabla 3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA), relativo (TCR), específico (TCE) para longitud (cm) de tilapias rojas. Datos corresponden a $\pm$ desviación estándar.

Variable	Tratamientos					Significancia (p valor)
	Control	LA	LB	PA	PB	
Longitud inicial (cm)	13.46 $\pm$ 0.45	3.46 $\pm$ 0.45	3.46 $\pm$ 0.45	3.46 $\pm$ 0.45	3.46 $\pm$ 0.45	3.583e-12
Longitud final (cm)	5.67 $\pm$ 0.80	7.02 $\pm$ 0.73	6.74 $\pm$ 0.93	7.04 $\pm$ 0.76	6.97 $\pm$ 0.75	5.78 e-07***
CA (cm)	2.21 $\pm$ 0.58	3.56 $\pm$ 0.58	3.28 $\pm$ 0.58	3.28 $\pm$ 0.58	3.51 $\pm$ 0.58	2.42 e-04
CR (%)	467 $\pm$ 58	602 $\pm$ 58	574 $\pm$ 58	604 $\pm$ 58	597 $\pm$ 58	2.586 e-05
TCA (cm/día)	0.03 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01	2.42 e-04
TCR (%/día)	1.08 $\pm$ 0.28	1.74 $\pm$ 0.28	1.60 $\pm$ 0.28	1.75 $\pm$ 0.28	1.71 $\pm$ 0.28	2.42 e-04
TCE (%/día)	0.88 $\pm$ 0.15	1.20 $\pm$ 0.15	1.30 $\pm$ 0.15	1.20 $\pm$ 0.15	1.18 $\pm$ 0.15	9.11 e-05

Nota. Grado de significancia. 0 “***”, 0.001 “**”, 0.01 “*”

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

La tasa de conversión alimenticia (TCA) fue significativamente inferior en los tratamientos con biofloc (ANOVA, $p=2.36e-14$). El tratamiento control mostró los valores más altos de TCA (1.53), es decir que tuvo una menor eficiencia en la asimilación del alimento (Anexo 2, Figura 2). Con respecto al índice de condición corporal (K), los tratamientos de biofloc y el grupo control mantienen un promedio de 3.69%, siendo el tratamiento LB (3.93) el que posee el valor más alto de condición corporal. Por otro lado, el índice hepatosomático (IHS), el grupo control (4.19) fue significativamente más alto

en comparación con los tratamientos de biofloc (Anexo 2, Figura 2). Finalmente, las tasas de sobrevivencia fueron relativamente bajas en todos los tratamientos, con un promedio de 63.3% (Anexo 2, Figura 2).

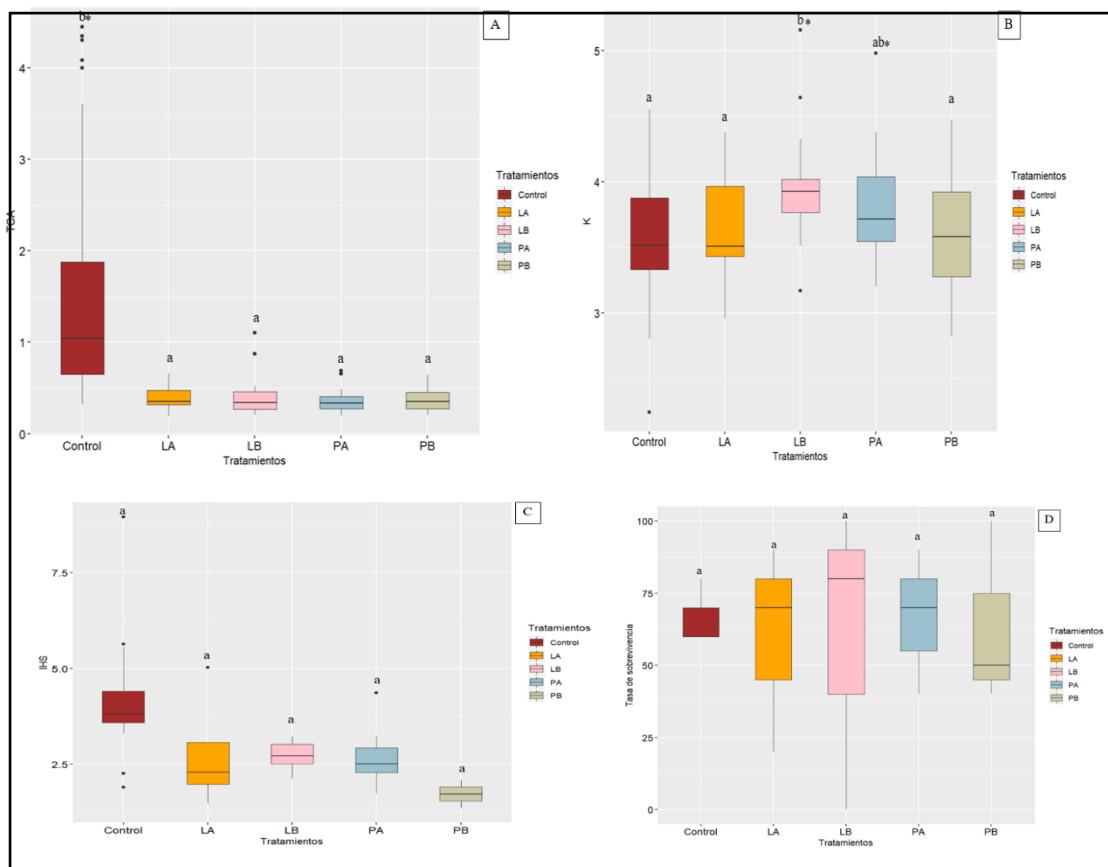


Figura 2. A. Tasa de conversión alimenticia. B. Índice de condición corporal. C. Índice hepatosomático. D. Tasas de sobrevivencia.

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

3.3 Composición proximal de la carne de *Oreochromis* sp.

Los parámetros de composición proximal relativos al porcentaje de cenizas (ANOVA, $p=0.228$) y humedad (ANOVA, $p=0.265$) no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos biofloc y el grupo control. Por otro lado, el porcentaje de proteína (ANOVA, $p=3.06e-05$) y grasas (ANOVA, $p=0.0154$) fue significativamente más alto en el grupo control (proteína 18.96, grasas 1.06) y LA (proteína 19.95, grasas 1.14) (Anexo 3, Figura 3).

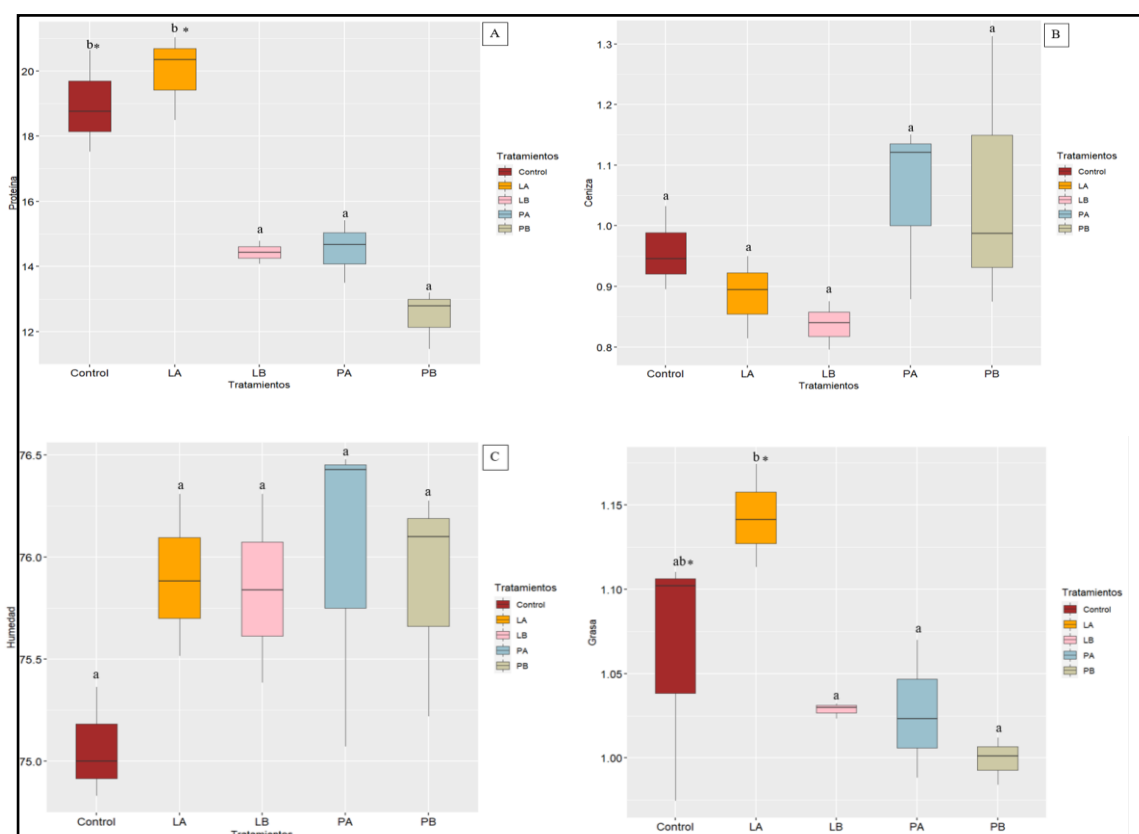


Figura 3. Análisis de composición proximal de la carne de tilapias. A) Proteína. B) Ceniza. C) Humedad. D) Grasa.

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

3.4 Composición proximal de los flóculos microbianos (biofloc)

Se observó que en el tratamiento LA, los bioflóculos poseen el valor más alto de proteína (11.63), los demás tratamientos se mantienen en un promedio de 5.49 %. Por otro lado, los tratamientos con probiótico (PA y PB) presentaron los valores más bajos de proteína (2.08 y 3.38) respectivamente. Con respecto a las grasas, el tratamiento PA (0.78) y PB (0.76) mostró el valor más alto, asimismo, el resto de los tratamientos se mantuvieron en un promedio de 0.69%. El análisis de cenizas se mantuvo en un promedio de 2.27 % siendo el tratamiento PB (2.45) y PA (2.36) los cuales mantuvieron los valores más altos, asimismo, con respecto a la humedad los tratamientos se mantuvieron en un promedio de 93.1 % de humedad (Anexo 4, Figura 4).

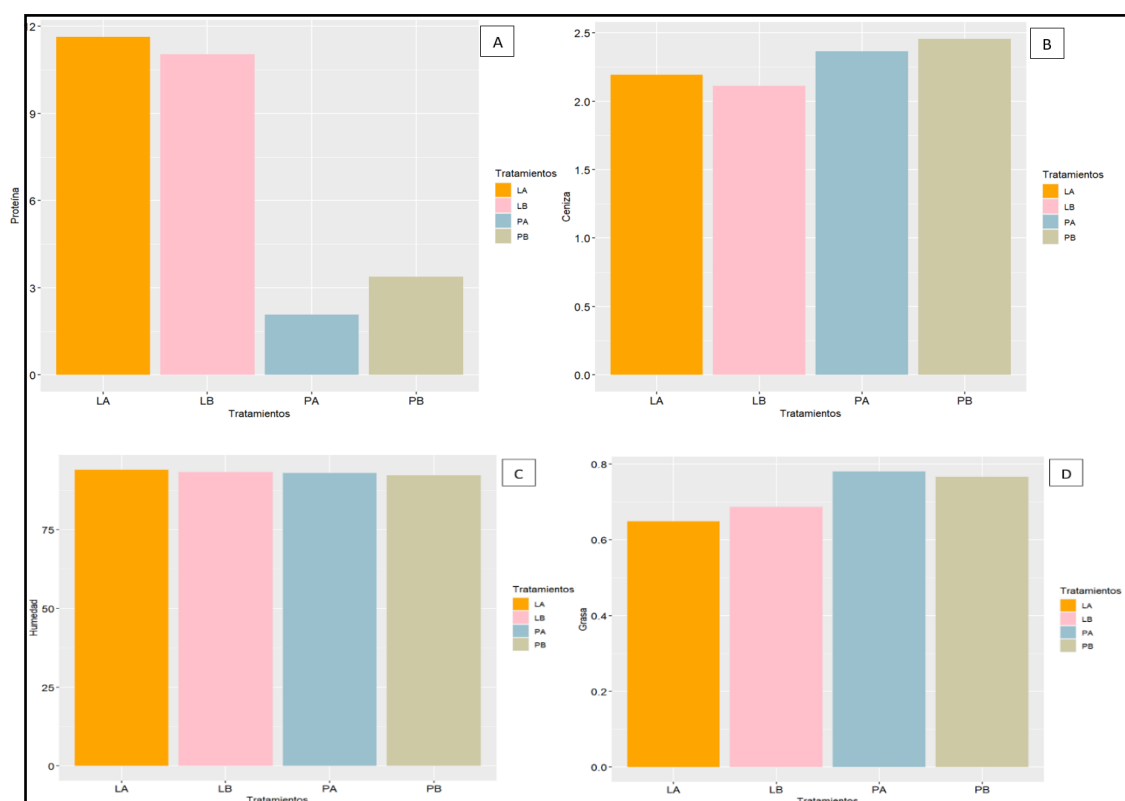


Figura 4. Análisis de composición proximal del biofloc. A) Proteína. B) Ceniza. C) Humedad. D) Grasa.

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación muestran de manera experimental las ventajas de la tecnología biofloc en términos de sostenibilidad en el manejo del agua y la producción acuícola. Los tratamientos utilizando la tecnología biofloc presentaron los valores óptimos en los parámetros más críticos de calidad de agua: amonio y nitrito. Ambos, tienen gran importancia para mantener el bienestar de los peces (Emerenciano et al., 2017). Si estos parámetros se ven alterados, se pueden convertir en un limitante para el desarrollo y salud de los peces.

La temperatura es un factor importante para el crecimiento de las tilapias rojas y para el adecuado establecimiento de los flóculos microbianos en la tecnología biofloc (Emerenciano et al., 2017). La temperatura en la que se desarrolló el experimento en este estudio se mantuvo dentro del rango óptimo para la formación del biofloc y el crecimiento de las tilapias rojas (21-30 °C) (Emerenciano et al., 2017; Hostins et al., 2015). Además, parámetros como el oxígeno disuelto y el pH, son factores de gran importancia tanto para los peces como para los microorganismos que se encuentran en el sistema. Makori et al. (2017) sugiere que la reducción de niveles de OD en el sistema, se debe a la presencia de comunidades microbianas, ya que, realizan la descomposición de materia orgánica y reciclan nutrientes lo que genera un consumo de oxígeno en el agua y reducen el pH en el sistema. En el presente estudio, el OD y el pH también se mantuvieron dentro del rango adecuado para el crecimiento de los peces, con un mínimo y máximo de OD (3.84 mg/l - 4.13 mg/l) y un mínimo y máximo de pH (6.96 – 7.36). Estudios de otros autores, sugieren que el sistema biofloc disminuye las cantidades de OD y pH y se recomienda niveles superiores a 3 mg/l de OD para influir positivamente en el crecimiento, la sobrevivencia, el comportamiento y la fisiología de los peces (Da Silva et al., 2015; Mallya, 2007; Mohammad et al., 2020).

En el sistema de cultivo biofloc, el alto volumen de bacterias nitrificantes permite que el amonio se oxida a nitrito y luego a nitrato, puesto que, las bacterias eliminan la materia orgánica del sistema, además sirven de alimento para las tilapias (El-Sayed, 2006). En el presente experimento, los tratamientos con biofloc se mantuvieron dentro de niveles óptimos de nitrito, mientras que los niveles de nitrato fueron elevados. Sin embargo, estos últimos se mantuvieron dentro del rango que fueron reportados por Khanjani et al. (2021). El grupo control fue el único que no presentó parámetros óptimos, mostrando

valores más altos de nitrito. El nitrito en niveles elevados, se lo considera tóxico para las tilapias alterando la tasa de crecimiento y sus funciones fisiológicas (El-Sayed, 2006; Khanjani et al., 2021). El recambio constante de agua en la acuicultura convencional permite disminuir las concentraciones elevadas de elementos tóxicos en el sistema y facilita la sobrevivencia de los peces. Sin embargo, esta práctica presenta un costo ambiental elevado, pues, por lo general, estos son descargados sin tratamiento en los cursos de agua, provocando eutrofización de los cuerpos hídricos.

Los niveles de amonio y amoníaco son muy importantes para evitar que se conviertan en un limitante en el crecimiento y producción de los peces. Valores muy elevados de amoníaco en el sistema se considera tóxico para el cultivo de peces. El aumento de amoníaco en el agua se debe, principalmente, a que la acumulación de desechos del metabolismo de los peces en forma de amonio (NH_4) que, a temperatura y pH elevados, se transforman en amoníaco (NH_3), además el exceso de materia orgánica puede contribuir a un aumento de amoníaco, afectando el sistema (Da Silva et al., 2015). Las concentraciones de amoníaco que se pueden encontrar en un sistema deben ser inferiores a 1,0 mg/l, puesto que, llegan a ser un limitante para la supervivencia y el correcto desarrollo de los organismos presentes en el sistema (D. De Long et al., 2009). Nuestros resultados, son consistentes con estudios previos, en donde se obtuvo una reducción de amoníaco en el sistema gracias a la presencia de bacterias nitrificantes (Mohammady et al., 2023). La tecnología biofloc contiene comunidades de bacterias y algas que contribuyen en la fijación de nitrógeno y ayudan a controlar los niveles de amoníaco en el sistema. Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que los tratamientos biofloc se mantienen en el rango óptimo de niveles de amoníaco, así como lo encontrado por Long et al., (2009).

La disponibilidad de alimento como los microorganismos que se encuentran presentes en el biofloc, influyen en el desempeño de las tilapias. Por esta razón, los peces en los tratamientos en los que se utilizó la tecnología biofloc, mostraron tasas de crecimiento en masa y longitud significativamente mayores, en relación con el tratamiento convencional, lo que sugiere que los peces se alimentaron y aprovecharon los microorganismos del biofloc (Solanki et al., 2023). El uso de probióticos en la acuicultura para un mejor rendimiento de los peces como la tilapia roja, presenta un enfoque práctico que genera grandes beneficios. En el caso del uso de probióticos en el tratamiento biofloc con una alta relación C:N (20:1; PA), presentó el mejor desempeño con relación a la tasa de crecimiento de las tilapias tanto en la masa (0.19 g/día) como

en la longitud (0.06 cm/día). Los resultados obtenidos concuerdan con estudios realizados sobre la mejora del crecimiento de los peces por el uso de probióticos (Mohammadi et al., 2021; Zaineldin et al., 2021). Esto se debe a que el probiótico provee de una fuente de nutrientes, vitaminas y enzimas digestivas para un óptimo rendimiento. Asimismo, el combinado de biofloc y probióticos genera una mayor tasa de microorganismos en el tracto gastrointestinal, lo que, ayuda a que los peces tengan un mejor consumo de alimento y absorción de nutrientes, mejorando su tasa de crecimiento (Dawood et al., 2019; Mohammadi et al., 2021). La melaza como fuente de carbono en el sistema biofloc, provee de diversidad de microorganismos; además, ayuda a que se generen los flóculos y se conviertan en una fuente útil que se encuentra *in situ* en el sistema como un buen alimento (Rono et al., 2018). Estudios previos demuestran que el uso de probióticos en peces genera un aumento del tamaño de la vellosidad del intestino, lo cual contribuye a una mejor absorción de nutrientes y esto, a su vez, mejora las tasas de crecimiento de los peces (Pirarat et al., 2011).

Nuestros resultados también mostraron que el tratamiento probiótico alto presentó los menores valores de la tasa de conversión alimenticia (TCA). Esto sugiere mayor eficiencia para transformar el alimento en carne de los peces. Estudios realizados con la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) indican que el uso de probiótico disminuye la tasa de conversión alimenticia como indicador de una mejor utilización del alimento (Mohammadi et al., 2021). En nuestro experimento, los peces del tratamiento con probiótico y alta relación de C:N (20:1; PA) mostraron un mejor aprovechamiento del alimento, debido probablemente a la acción de los microorganismos beneficiosos que se encuentran en el sistema y en el tracto gastrointestinal, siendo esto ventajoso para el desarrollo de las tilapias (Dash et al., 2018; Mohammadi et al., 2021). Un estudio similar demostró que el tratamiento con biofloc genera una TCA más baja en relación con el grupo control, lo que indica que las tilapias se alimentan de los microorganismos del sistema, lo que contribuye a una TCA baja (Dash et al., 2018). El uso de una fuente de carbono externa como la melaza, ayuda al establecimiento de los microorganismos beneficiosos en el sistema, lo que facilita al aprovechamiento de las proteínas por parte de los peces, que es convertida en masa corporal (Emerenciano et al., 2012; Rono et al., 2018).

Este trabajo presentó valores más altos de índice de condición corporal (K), que estudios realizados anteriormente (Zablon et al., 2022b). En esta investigación, el tratamiento de lixiviado de lombriz con baja proporción C:N (15:1 ; LB) presentó el valor más alto de K.

En general, el cultivo de biofloc proporciona mejores condiciones para un mejor rendimiento de tilapias rojas (Zablon et al., 2022b). Por otro lado, el uso de lixiviado de lombriz puede ayudar a obtener una mejor producción de peces. Se sabe, que el lixiviado de lombriz contiene vitaminas y micronutrientes que ayudan al crecimiento sin comprometer el rendimiento de los peces (Musyoka & Nairuti, 2021). El lixiviado de lombriz se emplea en la acuicultura debido a que posee contenido en ácido húmico y propiedades antibióticas, las cuales contribuyen a una mejor salud intestinal y el sistema inmunológico en los peces (Musyoka & Nairuti, 2021). Sin embargo, no existe mucha información acerca del uso del lixiviado de lombriz en la tecnología biofloc.

El índice hepatosomático (IHS), proporciona información sobre la condición física, estado nutricional y el estado de la salud de los peces. Dentro de este estudio, el grupo control presentó los valores más altos de IHS, lo que puede indicar que existe acumulación de grasa y lesiones en el hígado (Huang et al., 2015). Generalmente el aumento de IHS se debe a que existe una mayor tasa de alimentación generando una acumulación de lípidos en el hígado (Hossam et al., 2021; E. Y. Mohammady et al., 2023). La proteína disponible en el alimento para peces influye en el IHS, puesto que, niveles más bajos de proteína generan que los individuos aumenten el tamaño del hígado, para lograr una mejor adaptación en metabolizar la proteína disponible en el sistema (Durigon et al., 2020).

El presente trabajo presenta tasas de sobrevivencia bajas en los tratamientos biofloc y en el grupo control. La baja sobrevivencia en el grupo control, se puede atribuir al recambio continuo de agua, que genera estrés en los peces produciendo una reducción en su densidad (Zapata et al., 2017). La reducida tasa de sobrevivencia en los tratamientos biofloc, pudo verse afectada por la maduración del biofloc en los tanques provocando estrés en los organismos, asimismo, el amonio y el nitrito pudieron afectar a los peces debido a las variaciones repentinas en diferentes horas del día de altas concentraciones, provocando las mortalidades de los organismos (Alves et al., 2017; Manduca et al., 2020).

La composición proximal de las tilapias es utilizada para indicar la calidad de la carne del pescado. La fuente de carbono externa permite la proliferación de microorganismos, que, a su vez, sirven de una adecuada nutrición para los peces (De Schryver et al., 2008). Asimismo, las diferentes fuentes de carbono y lixiviado de lombriz, que se le agreguen al sistema, puede afectar en la calidad de la carne de las tilapias, como, el

aumento del porcentaje de proteínas, humedad, cenizas y grasas se debe a los flóculos microbianos que se encuentran disponibles (Khanjani et al., 2021; Mirzakhani et al., 2019). El contenido de proteína de los peces puede variar por los diferentes factores en el sistema de cultivo, como el tipo de alimentación, los microorganismos que estén en el sistema. En el presente trabajo, el tratamiento con lixiviado de lombriz y una relación C:N (20:1; LA) presentó un alto porcentaje de proteína y grasa. Estos resultados se corroboran con los hallazgos de Zapata et al., (2017), donde encontraron que los tratamientos expuestos a biofloc con una relación de 10:1 a 15:1, muestran un mayor contenido de proteína en los peces. En esta investigación, el grupo control presentó resultados similares, ya que tiene un alto contenido de proteína y grasas. El alimento que se le proporcionó a los organismos fue constante, lo que evitó que los peces degraden el almacenamiento de proteínas presente en su organismo, para obtener niveles de energía para sus procesos fisiológicos (Hernández et al., 2022).

Los niveles de grasas en las tilapias mostraron que el tratamiento lixiviado de lombriz con C:N alto (20:1; LA) fue significativamente mayor que la del grupo control y el resto de tratamientos. Long et al., (2015) también encontraron valores altos de grasas en los tratamientos con biofloc. Estos resultados, pueden atribuirse a que, la tecnología biofloc proporciona diferentes elementos nutricionales como aminoácidos y ácidos grasos que son esenciales para el cultivo de tilapias rojas, al igual que el lixiviado de lombriz que permite el flujo de nutrientes (Izquierdo et al., 2006).

El análisis de composición proximal del biofloc (análisis de calidad del biofloc), permitió determinar cuál de los tratamientos tiene los nutrientes que mejoran la producción de tilapias rojas. El uso de lixiviado de lombriz y probiótico afectaron significativamente los porcentajes de proteína encontrada en el biofloc. El contenido de proteínas en este trabajo indicó que el tratamiento LA posee el porcentaje más alto. Este contenido fue similar a los valores que informaron Becerra-Dórame et al., (2012). Esto puede estar asociado a la combinación de biofloc y lixiviado que genera mayor composición de microorganismos que se asocian a los flóculos. El lixiviado de lombriz tiene alta calidad nutricional mejorando el crecimiento del plancton, y ayuda a proteger a los peces de los patógenos y enfermedades, convirtiéndose en una fuente importante de proteínas para la alimentación de los peces (Musyoka & Nairuti, 2021).

El porcentaje de grasas y cenizas fue bajo. El porcentaje de grasas reportadas en este trabajo, se mantiene en los valores obtenidos por Khanjani et al.,(2021), esto indica que los bioflóculos son una gran fuente de alimentación, por ser un medio de vitaminas y minerales que proveen para los peces. La combinación de los flóculos microbianos con el lixiviado de lombriz que se considera una gran fuente de proteína provee de una excelente fuente de alimentación para los peces, ya que, posee óptimos parámetros para la producción de peces (Hargreaves, 2013).

5. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que el cultivo de tilapias rojas (*Oreochromis* sp.) en el sistema biofloc con relaciones C:N (de 15:1 y 20:1) expuestos a probiótico comercial y lixiviado de lombriz, mostraron tener una mejor calidad de agua según los límites establecidos. Asimismo, las tilapias del tratamiento probiótico alto (PA) mostraron altas tasas de crecimiento, mejor tasa de conversión alimenticia, alta tasa de sobrevivencia e índice hepatosomático. Sin embargo, el tratamiento lixiviado alto (LA) demostró tener la mejor calidad de carne, así como la mejor calidad de biofloc. Con base a estos resultados, concluimos que el uso del sistema biofloc es una fuente nutritiva para una mejor producción de tilapias cultivadas, así como, el uso de lixiviado de lombriz en el sistema genera grandes resultados para la producción de tilapias rojas obteniendo una alta calidad de carne y de flóculos microbianos.

6. RECOMENDACIONES

Siguiendo los resultados y conclusiones obtenidos en este estudio, las recomendaciones descritas a continuación ayudarán a enriquecer la investigación de la tecnología biofloc y la mejora en la producción acuícola. Estudios sobre, cómo la tecnología biofloc y suplementos probióticos afectan a otros peces de importancia acuícola, especialmente aquellas especies autóctonas de la región amazónica, con el fin de incentivar la producción sostenible en la zona. Asimismo, la exploración de un rango más amplio en las relaciones carbono:nitrógeno (C:N), con el fin de determinar diferentes relaciones que optimicen tanto la calidad del agua como el crecimiento de los organismo. También, es importante la investigación sobre los efectos en la calidad de agua y producción de peces a partir de la interacción de probióticos (comercial y lixiviado de lombriz). Se recomienda un análisis detallado sobre la comunidad microbiana presente en el biofloc, para determinar cómo ayudan en la salud y bienestar de los peces. La investigación profunda en estas áreas podría contribuir al avance de la tecnología biofloc como una acuicultura sostenible.

7. REFERENCIAS

- Ahmad, I., Babitha Rani, A. M., Verma, A. K., & Maqsood, M. (2017). Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture International* , 25(3), 1215–1226. <https://doi.org/10.1007/S10499-016-0108-8>
- Alves, Gabriel., Araújo, Francisco., Ramos, Érika., Maldonado, Eduardo., Benvindo, Alexandre., & Alencar, Edgar. (2017). Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479, 564–570. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.029>
- AOAC. (2009). Evaluation of Analytical Methods for the Determination of Moisture, Crude Protein, Crude Fat, and Crude Fiber in Distillers Dried Grains with Solubles. *Association of Analytical Communities* , 92(1), 61–73. <https://doi.org/10.1093/JAOAC/92.1.61>
- Azim, M. E., & Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1–4), 29–35. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2008.06.036>
- Bag, M. P., Mahapatra, S. C., Rao, P. S., Chakrabarty, D., & Pal, H. (2012). Nutritive potential of earthworm (*Eisenia foetida*) meal in the diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences*, 2(5), 117–123.
- Becerra-Dórame, M. J., Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., Rivas-Vega, M. E., Lopez-Elias, J. A., & Porchas-Cornejo, M. A. (2012). Production Response and Digestive Enzymatic Activity of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) Intensively Pregrown in Microbial Heterotrophic and Autotrophic-Based Systems. *The Scientific World Journal*, 2012, 1–6. <https://doi.org/10.1100/2012/723654>
- Busacker, G., Adelman, I., & Goolish, E. (1990). Methods for fish biology. In C. Schreck & P. Moyel (Eds.), *American fisheries society* (Vol. 684, pp. 363–387).
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2012.04.046>
- Da Silva, G., Marcondes, L., Dalmass, M., & Tiepo, M. (2015). *TILÁPIA-DO-NILO Criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná*.
- Dash, P., Tandel, R. S., Bhat, R. A. H., Mallik, S., Pandey, N. N., Singh, A. K., & Sarma, D. (2018). The addition of probiotic bacteria to microbial floc: Water quality, growth, non-specific immune response and disease resistance of *Cyprinus carpio* in mid-Himalayan altitude. *Aquaculture*, 495, 961–969. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.06.056>

- Dawood, M. A. O., Koshio, S., Abdel-Daim, M. M., & Van Doan, H. (2019). Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 907–924. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12272>
- Dawood, M. A. O., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., El Basuini, M. F., Hossain, M. S., Nhu, T. H., Moss, A. S., Dossou, S., & Wei, H. (2017). Dietary supplementation of β -glucan improves growth performance, the innate immune response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture Nutrition*, 23(1), 148–159. <https://doi.org/10.1111/ANU.12376>
- De Long, D., Losordo, T., & Rakocy, J. (2009). Tank Culture of Tilapia. *Southern Regional Aquaculture Center*, 282, 8.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., & Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3–4), 125–137. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2008.02.019>
- Durigon, E. G., Lazzari, R., Uczay, J., Lopes, D. L. de A., Jerônimo, G. T., Sgnaulin, T., & Emerenciano, M. G. C. (2020). Biofloc technology (BFT): Adjusting the levels of digestible protein and digestible energy in diets of Nile tilapia juveniles raised in brackish water. *Aquaculture and Fisheries*, 5(1), 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.07.001>
- El-Sayed, A. F. M. (2006). Tilapia culture. In *Tilapia Culture*. CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851990149.0000>
- Emerenciano, M., Ballester, E. L. C., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*, 43(3), 447–457. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02848.x>
- Emerenciano, M. G. C., Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In *Water Quality*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66416>
- FAO. (1993). *MANUAL DE TECNICAS PARA LABORATORIO DE NUTRICION DE PECES Y CRUSTACEOS*. <https://www.fao.org/3/ab489s/AB489S00.htm#TOC>
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO. <http://www.fao.org/publications/es>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. In *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture . *Southern Regional Aquaculture Center*.
- Hernández, A., Martínez, E., & Carranza, F. (2022). Determination of the proximal bromatological analysis and minerals in tilapias (*Oreochromis* sp.). *Revista de Agrociencia*, 6(2522–6509). <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>

- Hossam, H., Amr, Z., Mohammad, A. H., & Khaled, E.-D. (2021). Impact of Biofloc technology on growth performance and biochemical parameters of *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(1), 761–774. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2021.149930>
- Hostins, B., Braga, A., Lopes, D. L. A., Wasielesky, W., & Poersch, L. H. (2015). Effect of temperature on nursery and compensatory growth of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* reared in a super-intensive biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 66, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.03.002>
- Huang, Q., Huang, K., Ma, Y., Qin, X., Wen, Y., Sun, L., & Tang, L. (2015). Feeding Frequency and Rate Effects on Growth and Physiology of Juvenile Genetically Improved Farmed Nile Tilapia. *North American Journal of Aquaculture*, 77(4), 503–512. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1066472>
- Izquierdo, M., Forster, I., Divakaran, S., Conquest, L., Decamp, O., & Tacon, A. (2006). Effect of green and clear water and lipid source on survival, growth and biochemical composition of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 12(3), 192–202. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00385.x>
- Khanjani, M. H., Alizadeh, M., Mohammadi, M., & Sarsangi Aliabad, H. (2021). Biofloc system applied to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming using different carbon sources: Growth performance, carcass analysis, digestive and hepatic enzyme activity. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2), 490–513. <https://doi.org/10.22092/IJFS.2021.123873>
- Khanjani, M. H., Alizadeh, M., & Sharifinia, M. (2020). Rearing of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system: The effects of different food sources and salinity levels. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), 328–337. <https://doi.org/10.1111/ANU.12994>
- Khanjani, M. H., & Sharifinia, M. (2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1836–1850. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12412>
- Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., & Wu, F. (2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.017>
- Makori, A. J., Abuom, P. O., Kapiyo, R., Douglas, A., & Dida, G. O. (2017). Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7>
- Mallya, Y. (2007). *THE EFFECTS OF DISSOLVED OXYGEN ON FISH GROWTH IN AQUACULTURE*.
- Manduca, Ludson., Da Silva, Marcos., Alvarenga, Érika., Alves, Gabriel., Araújo, Francisco., Assumpção, Anna., Cardoso, Carolina., Sales, Suellen., Teixeira, Edgar., Silva, Martinho., & Turra, Eduardo. (2020). Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of Nile tilapia at different stocking densities. *Aquaculture*, 521. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735064>

- Mirzakhani, N., Ebrahimi, E., Jalali, S. A. H., & Ekasari, J. (2019). Growth performance, intestinal morphology and nonspecific immunity response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured in biofloc systems with different carbon sources and input C:N ratios. *Aquaculture*, 512, 734235. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734235>
- Mohammad, R., Hossain, M. A., Azad, I. S., & Saburova, M. (2020). Effects of three carbohydrate sources on water quality, water consumption, bacterial count, growth and muscle quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 51(10), 4225–4237. <https://doi.org/10.1111/are.14764>
- Mohammadi, G., Rafiee, G., Tavabe, K. R., Abdel-Latif, H. M. R., & Dawood, M. A. O. (2021). The enrichment of diet with beneficial bacteria (single- or multi- strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 539, 736640. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.736640>
- Mohammady, E., Soaudy, M., Alib, M., Mohamed, E., Mohamed, E.-K., Jarmołowicz, S., & Mohamed, H. (2023). Response of Nile tilapia under biofloc system to floating or sinking feed and feeding rates: Water quality, plankton community, growth, intestinal enzymes, serum biochemical and antioxidant status. *Aquaculture Reports*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101489>
- Mohammady, E. Y., Soaudy, M. R., Ali, M. M., El-ashry, M. A., El-Karim, M. S. A., Jarmołowicz, S., & Hassaan, M. S. (2023). Response of Nile tilapia under biofloc system to floating or sinking feed and feeding rates: Water quality, plankton community, growth, intestinal enzymes, serum biochemical and antioxidant status. *Aquaculture Reports*, 29, 101489. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101489>
- Mohapatra, S., Chakraborty, T., Kumar, V., Deboeck, G., & Mohanta, K. N. (2013). Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3), 405–430. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0396.2012.01301.X>
- Musyoka, S. N., Liti, D., Ogello, E. O., Meulenbroek, P., & Waidbacher, H. (2020). Earthworm, *Eisenia fetida*, bedding meal as potential cheap fishmeal replacement ingredient for semi-intensive farming of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research*, 51(6), 2359–2368. <https://doi.org/10.1111/ARE.14579>
- Musyoka, S., & Nairuti, R. (2021). Application of Vermicompost Fertilizer in Aquaculture Nutrition: Review. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.100326>
- Nash, R., Valencia, A., & Geffen, A. (2006). The origin of Fulton's condition factor - Setting the record straight. *Pesca*, 31, 236–238.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790), 1017–1024. <https://doi.org/10.1038/35016500>

Ortega, C., Mancera, G., Enríquez, R., Vargas, A., Martínez, S., Fajardo, R., Avendaño-Herrera, R., Navarrete, M. J., & Romero, A. (2016). First identification of *Francisella noatunensis* subsp. *orientalis* causing mortality in mexican tilapia *Oreochromis* spp. *Diseases of Aquatic Organisms*, 120(3), 205–215. <https://doi.org/10.3354/dao02999>

Oyinloye, T. M., & Yoon, W. B. (2020). Effect of Freeze-Drying on Quality and Grinding Process of Food Produce: A Review. *Processes*, 8(3), 354. <https://doi.org/10.3390/pr8030354>

Pirarat, N., Pinpimai, K., Endo, M., Katagiri, T., Ponpornpisit, A., Chansue, N., & Maita, M. (2011). Modulation of intestinal morphology and immunity in nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Research in Veterinary Science*, 91(3), e92–e97. <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2011.02.014>

R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rono, K. ., Tarus, A., Manyala, J., Obado, E., Ngugi, C., Egna, H., & Fitzsimmons, K. (2018). EFFECTS OF BIOFLOC TECHNOLOGY ON GROWTH PERFORMANCE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) FINGERLINGS AND MICROBIAL COLONIZATION IN THE SYSTEM. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, 3(5).

Solanki, S., Chadha, N. K., Sawant, P. B., Vungurala, H., & Sudhagar, A. (2023). Effect of Pulsed Feeding of GIFT Strain of Tilapia in Biofloc System Using Inland Saline Water. *Aquaculture Research*, 2023, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/6079177>

Torres Quevedo, E., & Espejo González, C. (2001). *Cultivo de las tilapias roja (Oreochromis spp.) y plateada (oreochromis nilotus)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19713>

Zablon, W. O., Ogello, E. O., Getabu, A., & Omondi, R. (2022a). Biofloc system improves protein utilization efficiency and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry: Experimental evidence. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(2), 94–103. <https://doi.org/10.1002/AFF2.32>

Zablon, W. O., Ogello, E. O., Getabu, A., & Omondi, R. (2022b). Biofloc system improves protein utilization efficiency and growth performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry: Experimental evidence. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(2), 94–103. <https://doi.org/10.1002/AFF2.32>

Zaineldin, A. I., Hegazi, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Dawood, M. A. O., Dossou, S., Yukun, Z., & Mzengereza, K. (2021). Singular effects of *Bacillus subtilis* C-3102 or *Saccharomyces cerevisiae* type 1 on the growth, gut morphology, immunity, and stress resistance of red sea bream (*Pagrus major*). *Annals of Animal Science*, 21(2), 589–608. <https://doi.org/10.2478/AOAS-2020-0075>

Zapata, K. P. L., Brito, L. O., de Lima, P. C. M., Vinatea, L. A. A., Galvez, A. O., & Cárdenas, J. M. V. (2017). Cultivo de alevinos de tilapia em sistema de bioflocos sob diferentes relações carbono/nitrogênio. *Boletim Do Instituto de Pesca*, 43(3), 399–407. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017V43N3P399>

8. ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de calidad de agua durante un periodo de 60 días de experimentación. Los datos corresponden a la media $\pm$ desviación estándar.

Tratamientos							Significancia (p valor)
Variable		Control	LA	LB	PA	PB	
Temperatura	C°	22.47 $\pm$ 2.98 ^a	21.56 $\pm$ 2.43 ^a	21.47 $\pm$ 3.02 ^a	21.62 $\pm$ 3.02 ^a	21.49 $\pm$ 2.86 ^a	0.908
Potencial Hidrógeno	pH	7.36 $\pm$ 0.53 ^a	6.97 $\pm$ 0.63 ^a	7.25 $\pm$ 0.43 ^a	6.96 $\pm$ 0.58 ^a	7.17 $\pm$ 0.48 ^a	0.227
Oxígeno disuelto	[O ₂]mg/L	4.13 $\pm$ 0.41 ^a	4.09 $\pm$ 1.38 ^a	3.85 $\pm$ 0.87 ^a	3.86 $\pm$ 0.99 ^a	3.84 $\pm$ 0.65 ^a	0.965
Amonio	[NH ₄]mg/L	2.18 $\pm$ 2.07 ^b	0.41 $\pm$ 0.01 ^a	0.96 $\pm$ 2.08 ^{ab}	0.42 $\pm$ 0.39 ^a	0.37 $\pm$ 0.53 ^a	0.00262 **
Amoniac	[NH ₃]mg/L	0.038 $\pm$ 0.01	0.038 $\pm$ 0.01	0.019 $\pm$ 0.01	0.003 $\pm$ 0.01	0.002 $\pm$ 0.01	2.455x10 ⁻⁴
Nitrito	[NO ₂]mg/L	4.48 $\pm$ 8.99 ^b	0.67 $\pm$ 1.47 ^b	0.50 $\pm$ 1.53 ^a	0.78 $\pm$ 1.50 ^a	0.60 $\pm$ 1.53 ^b	0.0467*
Nitrato	[NO ₃]mg/L	41.92 $\pm$ 55.34 ^a	40.62 $\pm$ 57.52 ^a	20 $\pm$ 46.09 ^a	52.33 $\pm$ 66.70 ^a	29.33 $\pm$ 58.58 ^a	0.58

Nota. Grado de significancia. 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

Los superíndices corresponden a agrupamientos estadísticos obtenidos mediante un análisis post hoc. Las abreviaturas corresponden a los tratamientos biofloc LA (Lixiviado alto), LB (Lixiviado bajo), PA (Probiótico alto), PB (Probiótico bajo) y el control (manejo convencional).

Anexo 2. Crecimiento y mortalidad de *Oreochromis* sp. en un sistema biofloc. Los datos corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar.

Tratamientos						Significancia (p valor)
Variable	Control	LA	LB	PA	PB	
TCA	1.53 $\pm$ 1.29 ^b	0.39 $\pm$ 0.12 ^a	0.39 $\pm$ 0.19 ^a	0.35 $\pm$ 0.12 ^a	0.37 $\pm$ 0.12 ^a	2.36 e-14
K	3.55 $\pm$ 0.47 ^a	3.62 $\pm$ 0.38 ^a	3.93 $\pm$ 0.36 ^a	3.78 $\pm$ 0.39 ^{ab}	3.59 $\pm$ 0.40 ^a	0.00147 **
IHS	4.19 $\pm$ 1.64 ^a	2.77 $\pm$ 0.36 ^a	2.73 $\pm$ 0.40 ^a	2.72 $\pm$ 0.85 ^a	1.72 $\pm$ 0.51 ^a	0.0226 *
Sobrevivencia	66.66 $\pm$ 11.54 ^b	60.00 $\pm$ 36.05 ^a	60.00 $\pm$ 52.91 ^a	66.66 $\pm$ 25.16 ^a	63.33 $\pm$ 32.14 ^a	0.998

Nota. Grado de significancia. 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

Los superíndices corresponden a agrupamientos estadísticos obtenidos mediante un análisis post hoc. Las abreviaturas corresponden a los tratamientos biofloc LA (Lixiviado alto), LB (Lixiviado bajo), PA (Probiótico alto), PB (Probiótico bajo) y el control (manejo convencional).

Anexo 3. Composición proximal de *Oreochromis* sp. en un sistema biofloc. Los datos corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar.

Variable	Tratamientos					Significancia (p valor)
	Control	LA	LB	PA	PB	
Proteína	18.96 $\pm$ 1.56 ^b	19.95 $\pm$ 1.30 ^b	14.43 $\pm$ 0.50 ^a	14.52 $\pm$ 0.96 ^a	12.48 $\pm$ 0.90 ^a	3.06 e-5***
Cenizas	0.96 $\pm$ 0.06 ^a	0.89 $\pm$ 0.06 ^a	0.84 $\pm$ 0.04 ^a	1.05 $\pm$ 0.14 ^a	1.06 $\pm$ 0.22 ^a	0.228
Humedad	75.06 $\pm$ 0.27 ^a	75.90 $\pm$ 0.39 ^a	75.84 $\pm$ 0.45 ^a	75.99 $\pm$ 0.79 ^a	75.86 $\pm$ 0.56 ^a	0.265
Grasa	1.06 $\pm$ 0.07 ^{ab}	1.14 $\pm$ 0.03 ^b	1.03 $\pm$ 0.01 ^a	1.03 $\pm$ 0.04 ^a	1.00 $\pm$ 0.01 ^a	0.0145 *

Nota. Grado de significancia. 0 “***”, 0.001 “**”, 0.01 “*”

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.

Los superíndices corresponden a agrupamientos estadísticos utilizando un análisis post hoc. Las abreviaturas LA (Lixiviado alto), LB (Lixiviado bajo), PB (Probiótico alto), PA (Probiótico bajo).

Anexo 4. Composición proximal del biofloc. Los datos corresponden a media $\pm$ desviación estándar.

Variable	LA	LB	PA	PB	Significancia (p valor)
Proteína	11.63 $\pm$ 4.99	2.08 $\pm$ 4.99	3.38 $\pm$ 4.99	12.48 $\pm$ 4.99	6.7e-2
Cenizas	2.19 $\pm$ 0.15	2.11 $\pm$ 0.15	2.36 $\pm$ 0.15	2.45 $\pm$ 0.15	8.756 e-5
Humedad	93.93 $\pm$ 0.67	93.92 $\pm$ 0.67	92.98 $\pm$ 0.67	92.30 $\pm$ 0.67	1.041 e-7
Grasa	0.65 $\pm$ 0.06	0.68 $\pm$ 0.06	0.78 $\pm$ 0.06	0.74 $\pm$ 0.06	1.82 e-4

Nota. Grado de significancia. 0 “***”, 0.001 “**”, 0.01 “*”

Realizado por: Caluña, Susana, 2023.