



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

**“INFLUENCIA DE LA RELACIÓN CARBONO Y NITRÓGENO
EN LA BIOMASA FINAL, TASA DE SUPERVIVENCIA Y
EFICIENCIA DEL SISTEMA BIOFLOC EN EL CULTIVO DE
Piractus brachypomus (CACHAMA BLANCA)”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

ALBA LISBETH MERA GARCÍA

DOCENTE TUTOR:

BLGA. JODIE J. DARQUEA ARTEAGA, M.SC

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

**“INFLUENCIA DE LA RELACIÓN CARBONO Y NITRÓGENO
EN LA BIOMASA FINAL, TASA DE SUPERVIVENCIA Y
EFICIENCIA DEL SISTEMA BIOFLOC EN EL CULTIVO DE
Piractus brachypomus (CACHAMA BLANCA)”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

ALBA LISBETH MERA GARCÍA

DOCENTE TUTOR:

BLGA. JODIE J. DARQUEA ARTEAGA, M.SC

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, “Influencia de la relación carbono y nitrógeno en la biomasa final, tasa de supervivencia y eficiencia del sistema biofloc en el cultivo de *Piractus brachypomus* (cachama blanca)” , elaborado por Alba Lisbeth Mera Garcia, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga. Jodie Darquea Arteaga M.Sc.

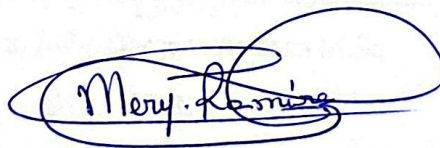
DOCENTE TUTOR

C.I. 0918674359

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular “Influencia de la relación carbono y nitrógeno en la biomasa final, tasa de supervivencia y eficiencia del sistema biofloc en el cultivo de *Piractus brachypomus* (cachama blanca)”, elaborado por Alba Lisbeth Mera Garcia, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



Q. F. Mery Ramírez Muñoz, Ph.D
DOCENTE DE ÁREA
C.I. 0907694186

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Darwin Mera Valencia y María García Briones quienes con mucho esfuerzo, sacrificio y amor me han guiado y apoyado en cada etapa de mi vida, enseñándome la importancia de la perseverancia y por haber estado siempre a mi lado, han sido mi pilar incluso en los momentos más difíciles cuando quería tirar la toalla dándome el valor de seguir. Este logro es también suyo.

A mi hermano Darwin Mera García quien me aconsejo, me enseñó y me apoyo en todo momento. Quien creyó en mí, incluso cuando yo dudaba de mis capacidades, por ofrecerme tu tiempo, apoyo y cariño sin esperar nada a cambio. A ti, hermano, que eres mi ejemplo a seguir, gracias.

A mis amigos a quienes estuvieron conmigo en estos años de la carrera. Gracias por su amistad, por los momentos de risas, por apoyarme y por compartir tantas experiencias inolvidables. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi corazón. Muchas gracias.

Alba Mera García

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino en cada momento de mi vida. Agradezco por brindarme su amabilidad, sabiduría amor y bondad. Por ayudarme a levantarme y ser mejor cada día. Por llevar mi sendero cuando las dificultades parecían insuperables, llenándolo de esperanza y de fe. Por ello y muchas cosas más le estoy agradecida.

A mi familia, por todo lo que dejaron de lado para ayudarme a alcanzar mis sueños, por sus consejos siempre llenos de conocimiento y experiencia y por brindarme su cariño sin condiciones. Por permitirme crecer poco a poco, respetando mis decisiones y sueños.

A las autoridades y personal Académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de formación profesional. Agradezco también a la Facultad Ciencias del Mar y a sus docentes por brindarme de sus conocimientos y experiencias que fueron parte de mi formación académica a lo largo de todos estos años.

Mi más profundo agradecimiento a la Blga. Jodie Darquea Arteaga, asesora de este trabajo, por su apoyo y orientación a lo largo de este proceso. Su conocimiento y

experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de mis ideas, permitiéndome alcanzar mis objetivos. Este proyecto no habría sido posible sin su guía constante.

También agradezco al Laboratorio “Langolit” por brindarme sus instalaciones y recursos lo cual fue clave para llevar a cabo mi investigación y culminar este proyecto. Extiendo mi agradecimiento al Ing. Bermúdez, Don Jacinto, Don Yonny, y al Ing. Álvaro quienes me brindaron su apoyo con gran afecto en cada etapa de este proyecto, ayudando a su culminación.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, les estoy profundamente agradecida.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por Alba Lisbeth Mera García, como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 9/07/2025

Ing. Jimmy Villón Moreno M. Sc.
DIRECTOR DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Q. F. Mery Ramirez Muñoz, Ph.D
PROFESOR DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc
DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Blg. Richard Duque Marín, M.Sc
DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Lc. Pascual Roca Silvestre, M.Sc
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los datos, ideas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, me corresponden exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Mera García Alba Lisbeth

Cd: 2450072471

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN.....	I
2. INTRODUCCIÓN.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. OBJETIVOS.....	26
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5. HIPÓTESIS.....	27
6. MARCO TEÓRICO.....	28
6.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA BIOFLOC.....	28
6.1.1 Definición.....	28
6.1.2 Componentes del sistema biofloc.....	28
6.1.3 Diferencia con otros sistemas acuícolas.....	29
6.2 RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO.....	29
6.2.1 Conversión de compuestos nitrogenados.....	29
6.2.2 Establecimiento de la relación C/N.....	30
6.3 MICROORGANISMOS PRESENTES EN LOS SISTEMAS BIOFLOC.....	33
6.3.1 Fundamento de los sistemas biofloc.....	34
6.3.2 Función de los microorganismos en la conversión de nutrientes.....	34
6.3.3 Control de la calidad del agua.....	34
6.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CACHAMA BLANCA.....	35
6.4.1 Taxonomía de <i>Piractus brachypomus</i>	35
6.4.2 Características.....	35
6.4.3 Distribución geográfica y hábitat.....	36
6.4.4 Alimentación.....	36

6.4.5 Crecimiento en condiciones controladas.....	37
6.4.6 Adaptación a las condiciones de cultivo en sistemas de biofloc	37
7. MARCO METODOLÓGICO	38
7.1 ÁREA DE ESTUDIO	38
7.2 IMPLEMENTACIÓN.....	39
7.2.1 Condiciones ambientales.....	39
7.2.2 Acceso de recursos	39
7.2.4 Inoculación y puesta en marcha del sistema:.....	40
7.3 DISEÑO EXPERIMENTAL	41
7.3.1 Tratamientos.....	42
7.3.1.1 Tratamiento 1 (T1).....	42
7.3.1.2 Tratamiento 2 (T2).....	43
7.3.1.3 Control (C).....	43
7.4 PROTOCOLO DE MANEJO.....	43
7.5 Protocolo de alimentación	44
7.5.1 Biomasa total de los peces	45
7.5.2 Cantidad de alimento diario a suministrar.....	45
7.6 DESARROLLO METODOLÓGICO	48
7.6.1 Estabilización del sistema y formación de biomasa microbiana.....	48
7.6.3 Biometría de <i>Piractus Brachypomus</i>	53
8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
8.1 Estabilización del sistema mediante análisis de parámetros en las diferentes concentraciones de C/N en cada uno de los Tratamientos	55
8.1.1 Parámetros químicos	55
8.1.2 Parámetros físicos.....	63
8.3 Conversión de los compuestos nitrogenados	64

8.3.1 Cuantificación bacteriana.....	65
8.3.2 Recuento de microalgas	67
8.4 Biometría de <i>Piractus Brachypomus</i>	70
8.4.1 Crecimiento en peso.....	70
8.4.2 Crecimiento en talla.....	73
8.4.3 Supervivencia	75
8.4.4 Tasa de conversión alimenticia (TCA).....	76
8.5 Comparación de la biomasa final y supervivencia de <i>Piractus brachypomus</i>	77
9. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
9.1 DISCUSIÓN.....	81
9.2 CONCLUSIONES	84
9.3 RECOMENDACIONES	86
10. BIBLIOGRAFÍA	87
11. ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de carbono aplicadas en sistemas biofloc	31
Tabla 2. Alimentación diaria del cultivo	45
Tabla 3. Alimentación y adición del carbono semanal en cada tratamiento	48
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos para cultivos de peces en sistemas biofloc..	49
Tabla 5. Fórmulas para medir los índices zootécnicos	54
Tabla 6. Biomasa microbiana presente en los tratamientos.....	65
Tabla 7. Crecimiento en peso (media \pm desviación estándar) de <i>Piractus brachyomus</i> durante el periodo de experimentación.....	71
Tabla 8. Crecimiento en talla cm promedio (media \pm desviación estándar) de <i>Piractus brachyomus</i> por tratamiento.....	73
Tabla 9. Biomasa final (media \pm desviación estándar) y supervivencia (%) de <i>Piractus brachyomus</i> en cada tratamiento al final del experimento.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo del nitrógeno en sistemas de biofloc	33
Figura 2. Cachama blanca.....	35
Figura 3. <i>Ubicación del laboratorio Langolit</i>	38
Figura 4. Esquema del sistema de biofloc para la experimentación de los diferentes niveles de carbono y nitrógeno.....	42
Figura 5. Comportamiento del amoníaco durante el proceso de maduración de los sistemas.	55
Figura 6. Comportamiento de A) Nitrito, B) Nitrato y C) Fosfato durante el proceso de maduración de los tratamientos.....	56
Figura 7. Comparación de la salinidad durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1).....	59
Figura 8. Comparación del pH durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1).....	60
Figura 9. Proceso de las variaciones de la alcalinidad durante la maduración del agua en las concentraciones de C/N (10:1 y 15:1).....	61

Figura 10. Comparación del oxígeno disuelto durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1).....	62
Figura 11. Comparación de la temperatura durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1)	63
Figura 12. Comparación de la transparencia durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1)	64
Figura 13. Recuento bacteriano durante la experimentación	66
Figura 14. Recuento de microalgas presentes en el sistema durante la experimentación	68
Figura 15. Curva de crecimiento en peso promedio (media \pm desviación estándar) de <i>Piractus brachypomus</i> por tratamiento.....	72
Figura 16. Curva de crecimiento en talla de <i>Piractus brachypomus</i>	74
Figura 17. Supervivencia de los alevines de cachama blanca durante la experimentación	75
Figura 18. Biomasa final de <i>Piractus brachypomus</i> bajo los diferentes tratamientos de relación C/N.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de registro diario durante el proceso de maduración del sistema	99
Anexo 2. Datos tabulados.....	99
Anexo 3. Toma de parámetros del agua en el espectrofotómetro de la marca Hanna instruments	100
Anexo 4. Muestras de agua de los tratamientos en conos sedimentadores	100
Anexo 5. Aclimatación de los peces	101
Anexo 6. Toma de datos de los peces.....	101
Anexo 7. Dilución y sembrado.....	102
Anexo 8. Conteo de microalgas	102
Anexo 9. Recuento microbiano del sistema durante el proceso de maduración	103
Anexo 10. Recuento diario de microalgas presentes en el sistema durante la maduración del sistema	103

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS

C/N	Relación carbono y nitrógeno
T1	Tratamiento uno
T2	Tratamiento dos
C	Control
TCA	Tasa de conversión alimenticia
mg/L	Miligramo por litro
TC	Tasa de crecimiento
NH₃	Amoníaco
NO₂⁻	Nitrito
NO₃⁻	Nitrato
CaCO₃	Carbono de calcio
NH₄⁺	Amonio
m³	Metros cúbicos
Kg	Kilogramos
g	Gramos
Ppm	Partes por millón
W_f	Peso final del pez
W_i	Peso inicial del pez
t	Tiempo
Ln	Logaritmo en base e
B₁	Biomasa inicial

B_f	Biomasa final
AC	Alimento consumido
UCF/mL	Unidades formadoras de colonia por mililitro
Cel/mL	Células por mililitro
FC	Factor de carbono

1. RESUMEN

Este estudio se enfocó en analizar el desempeño de un sistema de producción acuícola basado en biofloc en el cultivo de *P. brachypomus* analizando específicamente la relación carbono-nitrógeno (C/N). El experimento incluyó un proceso inicial de maduración del agua en tanques de 200 Litros, durante 28 días. Se emplearon dos Tratamientos con diferentes concentraciones de C/N. El Tratamiento 1 (T1) tuvo a una concentración de 10:1 C/N, y mientras que el Tratamiento 2 (T2) de 15:1 C/N. El sistema utilizó melaza como fuente de carbono orgánico adicionada semanalmente para estabilizar el sistema. Se monitorearon parámetros fisicoquímicos del agua con una frecuencia de tres veces al día y los compuestos nitrogenados una vez al día.

Se incorporaron 20 alevines de cachama blanca por tanque, a una densidad de 0.1 peces/litro, con tres replicas por Tratamiento. Se evaluaron los indicadores productivos como ganancia de peso, de longitud, tasa específica de crecimiento (TEC), tasa de conversión alimenticia (TCA) biomasa y supervivencia. Con relación al análisis de ANOVA no se encontró diferencia significativa en cuanto a los Tratamientos y el Control. Sin embargo, el análisis de tendencia indico una mayor tasa de crecimiento en cuanto el peso promedio en el Tratamiento 2 en comparación con los otros grupos dado que todos los valores p fueron menores a 0,05. Obteniendo el Tratamiento 2, una mayor ganancia de peso, con un peso final de $2,754 \pm 0,231$ gramos, y un TCA de 0,95g.

Palabras claves: Biofloc, maduración, Tratamientos, *Piractus brachypomus*

ABSTRACT

The objective of this research work was to analyze the performance of an aquaculture production system based on biofloc in the culture of *P. brachypomus* focused on the carbon-nitrogen relationship. First, the water maturation process was carried out in 200 L tanks for a period of 28 days. Two treatments with different C/N concentrations were used. Treatment 1 (T1) had a concentration of 10:1, while treatment 2 (T2) had a concentration of 15:1, the system was controlled by adding molasses as a source of organic carbon with a frequency of 7 days where the maturation time of both treatments was evaluated by taking physicochemical parameters of the water 3 times a day and nitrogen compounds once a day. After the system had matured, the fry was incorporated with a density of 20 white cachama fry in each tank, where each treatment had 3 replicates. The productive parameters of the species were evaluated, such as weight gain, length gain, specific growth rate, feed conversion rate and survival. The ANOVA analysis showed that there was no significant difference between the treatments and the Control; however, the trend analysis indicated a higher growth rate in terms of average weight compared to the other groups, since all p-values are less than 0.05. Showing that treatment 2 with a ratio of 15:1 is more feasible in terms of the speed of maturation of the system, in weight gain with a final weight of grams, and a TCA of 0.95g.

Key words: biofloc, maturation, treatments, *Piractus brachypomus*.

2. INTRODUCCIÓN

El sistema de biofloc es un conjunto de aglomerados orgánicos compuestos principalmente por bacterias, algas, protozoos, zooplancton y partículas de materia orgánica, que se forman en sistemas de cultivo intensivos de recirculación (Klinger y Burgos, 2019). Este conjunto de compuestos se denominan flóculos de biofloc y alrededor del 60 y 70% está formado por materia orgánica, entre el 30 y 40 % de materia inorgánica (Gaitán et al., 2023), y entre el 2 y 20% por células microbianas (Hernández et al., 2019). Los flóculos son ricos en proteínas y sirven de alimento natural, se forman gracias a la agitación constante del agua (aireación) y la acumulación controlada de nutrientes.

La formación de flóculos depende de la presencia inicial de microorganismos que pueden introducirse mediante diversas estrategias, como son: la inoculación, la adición de compuestos orgánicos o el uso de desechos orgánicos generados por los organismos acuáticos, y de aguas provenientes de sistemas biofloc activos o lodos de estanques naturales (Ayala, 2022). Como inóculos directos se utilizan habitualmente microorganismos comerciales (producidos y vendidos por empresas especializadas) y microorganismos presentes en el agua de otros sistemas de cultivo (como sistemas de recirculación, estanques y biofloc). Específicos para mejorar el

desarrollo de comunidades microbianas (Gálvez et al., 2022). Durante el proceso también se forman biopelículas (biofilm), que son comunidades compuestas por bacterias, algas y material orgánico adheridas a las superficies, las cuales contribuyen a la estabilidad del sistema degradando compuestos orgánicos y limitando el crecimiento de organismos no deseados al competir activamente por nutrientes y espacio en el sistema (Changwei et al., 2023).

El adecuado control de la relación carbono-nitrógeno (C/N) en los sistemas de biofloc juega un papel importante en la reducción de compuestos nitrogenados y el desarrollo de las comunidades microbianas beneficiosas en el ambiente acuático (Hernández et al., 2019). Este equilibrio se logra mediante la adición controlada de fuentes de carbono de liberación lenta, como ciertos carbohidratos, lo que contribuye tanto a mejorar la calidad del agua como al rendimiento productivo de los organismos cultivados (Lujan, 2023). Una de las fuentes de carbono más utilizadas es la melaza, que promueve el crecimiento de bacterias heterótrofas capaces de asimilar compuestos nitrogenados como el amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-), transformándolos en biomasa microbiana que puede utilizarse en el sistema de biofloc. Sin embargo, un uso excesivo de estas fuentes puede provocar la acumulación de materia orgánica y emisiones que afectan negativamente al medio ambiente, lo que indica la necesidad de una dosificación precisa y una gestión técnica adecuada y controlada (Changwei et al., 2023).

La adición controlada de melaza estabiliza los parámetros del agua, reduce la necesidad de cambios y la utilización de productos químicos, mejorando la sostenibilidad y rentabilidad del sistema (Lujan, 2023). Por lo que se utilizan proporciones de melaza en la relación C/N, en base a la cantidad de compuestos nitrogenados presentes en el agua.

Una de las estrategias más comunes para reducir la dependencia alimentaria en los sistemas de biofloc es aumentar la relación carbono-nitrógeno (C/N) a valores superiores a 10:1 y 12:1, utilizando fuentes de carbono económicas y fácilmente disponibles (Lugo et al., 2022). Este ajuste promueve el crecimiento de bacterias heterotróficas que consumen amoníaco, lo que contribuye a una mejor calidad del agua y al aumento de los niveles de oxígeno disuelto (Gaitán et al., 2023). Como resultado, una relación C/N adecuada no sólo optimiza las condiciones ambientales, sino que también ayuda a fortalecer la respuesta inmune y la capacidad antioxidante de los peces, aumentando su resistencia a los patógenos (Krummenauer et al., 2021).

Los sistemas biofloc han demostrado eficientes resultados en cuanto al crecimiento de los organismos cultivados, aumento en la productividad, mejoras en la calidad del agua y reducción en costos de alimentación en varias especies, como *Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, *Prochilodus magdalenae*, *Piractus brachypomus*, *Clarias gariepinus*, *Macrobrachium rosenbergii*, *Farfantepenaeus*

brasiliensis y *Apostichopus japonicus*, entre otros (Hernández et al., 2019). Estudios de policultivos integrados de *Diplodus vulgaris* y *Penaeus monodon*, se han logrado buenos resultados haciendo posible la reducción de la ración del pienso en un 20% sin perjudicar la salud y la producción del cultivo (Pérez et al., 2018).

La cachama se cultiva en América Latina debido a su importancia económica y capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales, siendo cultivada en zonas cálidas y no tan cálidas (The Nature Conservancy, 2020). Y, el uso de sistemas biofloc ha demostrado ser ventajoso para la producción de cachama blanca, mejorando el rendimiento (Ayala, 2022). Según estudios realizados en la Facultad de Ciencias Naturales en la provincia de Jiangsu China donde evaluaron el sistema de manera intensiva con varias especies demostraron que la cachama si puede coexistir con otras especies, lo que la hace ideal para policultivos (Changwei et al., 2023). Brasil se destaca como uno de los principales productores de cachama, especialmente en la región amazónica, donde los productores aprovechan los recursos hídricos naturales para el cultivo. Así también, la región de los Llanos Orientales en Colombia que es reconocida por sus condiciones climáticas y abundancia de agua, lo que favorece la producción de esta especie (Cala, 2019). Países, como Venezuela y Perú utilizan sistemas de estanques y biofloc para el cultivo, ofreciendo una alternativa importante para la economía local y promoviendo la sostenibilidad del sector acuícola en sus países (Cáliz y Blanco, 2020).

La cachama blanca (*Piractus brachypomus*) es un pez de agua dulce de importancia en la acuicultura en el Ecuador, especialmente en las comunidades rurales (The Nature Conservancy, 2020). Donde se ha incrementado el cultivo para mejorar la seguridad alimentaria y ofrecer alternativas productivas en el país (Krummenauer et al., 2021). En Ecuador, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP) y la Agenda de Transformación Productiva Amazónica (ATPA) han apoyado el cultivo de cachama blanca, beneficiando a pobladores rurales de provincias como Morona Santiago, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Zamora Chinchipe. Además, según el artículo 3 del Acuerdo Ministerial No. 458 emitido el 16 de octubre del 2012 destaca que esta especie ha sido incluida en la lista de especies aptas para el cultivo, consolidando su importancia en la acuicultura regional (MAGAP, 2015). Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar el funcionamiento de un sistema de producción acuícola basado en biofloc en el cultivo de *Piractus brachypomus* enfocado en la relación carbono-nitrógeno en dos niveles diferentes de concentración para el mejoramiento del manejo del sistema y la producción del cultivo.

3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de sistemas biofloc no solo optimiza la calidad del agua, sino que también reduce los costos asociados con la alimentación (Amparo, 2019). Al permitir que los peces se alimenten de los microorganismos presentes en el biofloc, la dependencia de la alimentación externa se reduce considerablemente, influyendo positivamente en el crecimiento, la salud y la resistencia a las enfermedades de los peces de cultivo lo que resulta en una operación de acuicultura más económica y sostenible (Collazos et al., 2023).

Sumado a esto, la eficiencia del sistema en la conversión de compuestos nitrogenados en biomasa microbiana juega un papel importante en el reciclaje de nutrientes (Krummenauer et al., 2021). Al reducir la acumulación de compuestos tóxicos y optimizar el uso de los recursos, el sistema biofloc contribuye a mitigar la contaminación y a conservar los recursos hídricos, haciendo del cultivo de *Piractus brachypomus* una actividad más respetuosa con el medio ambiente. Así también esta especie es omnívora y se alimenta tanto de materia vegetal como animal lo que le permite adaptarse a diferentes tipos de dietas en cautiverio (Martínez et al., 2018).

Por otra parte, la implementación de sistemas biofloc mejora la salud general de los peces al proporcionarles una dieta más variada y manteniendo una buena calidad del agua. Esto fortalece el sistema inmunológico de los peces, reduciendo la

incidencia de enfermedades y optimizando el crecimiento. Es así que con datos sobre el crecimiento y el consumo de alimento en diferentes condiciones, se pueden desarrollar estrategias de gestión más eficientes que no sólo aumenten la productividad, sino que también promuevan una acuicultura sostenible y económica (Gaitán et al., 2023).

Los hallazgos de esta investigación se utilizan como guía para la optimizar las prácticas acuícolas orientadas no únicamente al sector de la pesca, produciendo ventajas tanto para los productores como para el entorno natural. Al enfocarse en una administración más eficaz de nutrientes y disminuir el uso de agua, se fomenta una acuicultura más eficaz con un impacto ambiental reducido, favoreciendo de esta manera el crecimiento sostenible del sector acuícola

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el funcionamiento de un sistema de producción acuícola basado en biofloc en el cultivo de *Piractus brachypomus* enfocado en la relación carbono-nitrógeno en dos concentraciones para el mejoramiento del sistema y la producción del cultivo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la estabilización del sistema mediante análisis de parámetros fisicoquímicos a los diferentes niveles de concentración de carbono y nitrógeno (10:1 y 15:1).
- Cuantificar la eficiencia del sistema biofloc en la conversión de compuestos nitrogenados a biomasa microbiana mediante el recuento de microalgas y bacterias bajo las diferentes proporciones de carbono y nitrógeno en cada Tratamiento.
- Estimar la tasa de crecimiento y la tasa de consumo de alimento de *Piractus brachypomus* en cada Tratamiento.
- Comparar la biomasa final y la tasa de supervivencia de *Piractus brachypomus* entre los diferentes Tratamientos determinando la eficiencia del sistema de cultivo.

5. HIPÓTESIS

H₁: = Existe diferencias significativas en la estabilización de conversión de compuestos nitrogenados, TCA, biomasa y supervivencia de *Piractus brachypomus* entre Tratamientos con diferentes relaciones carbono-nitrógeno (10:1 y 15:1)

6. MARCO TEÓRICO

6.1 GENERALIDADES DEL SISTEMA BIOFLOC

6.1.1 Definición

El sistema biofloc es una aglomeración de comunidades bacterianas conocidas como flóculos, integrados por bacterias, fitoplancton, materia orgánica viva y muerta que se encuentran suspendidas en la columna de agua. Estos flóculos engloban material orgánico particulado en que se desarrollan microalgas, microorganismos como protozoos, rotíferos, hongos, bacterias heterotróficas entre otros (Hernández et al., 2019).

6.1.2 Componentes del sistema biofloc

El sistema consiste en mantener una alta cantidad de flóculos suspendidos compuestos por poblaciones microscópicas que requieren mantenerse en continua recirculación en elevadas cantidades de oxígeno (Flores, 2023). Estos sistemas necesitan de la adición de fuentes de carbono para que se desarrolle en descomposición aeróbica de la materia orgánica y estimule el crecimiento de bacterias heterotróficas, que se encargan de inmovilizar el nitrógeno tóxico de los residuos del tanque y convertirlos en biomasa microbiana, que posteriormente es aprovechada por el fitoplancton y zooplancton para que finalmente sea utilizada como alimento por los peces (Hernández et al., 2019).

6.1.3 Diferencia con otros sistemas acuícolas

En la acuicultura tradicional, el nitrógeno total que se encuentra en los tanques de producción entra al sistema a través del alimento y alrededor del 2% es eliminada en forma de restos de comida no consumida y un 75% es eliminado en las heces y por el amonio que excreta los organismos cultivados (Bioaquafloc, 2019). Los organismos cultivados de manera tradicional solo retendrán aproximadamente un 23% de nitrógeno y el 77% del nitrógeno que entra al sistema se desecha (Klinger y Burgos, 2019). Como consecuencia este nitrógeno resulta en una pérdida para el productor porque el nitrógeno desperdiciado constituye un recurso nutritivo que no se transformó en biomasa del organismo cultivado, lo que se traduce en menor rendimiento de producción y mayores costos de manejo del agua (Ariza y Mujica, 2019). Por otra parte, este nitrógeno desechado se convierte en un problema ambiental, al contaminar el medio ambiente en el cual fue vertido (Gaitán et al., 2023).

6.2 RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO

6.2.1 Conversión de compuestos nitrogenados

El dominio de microorganismos en el sistema biofloc está relacionado con la proporción C/N. Se sugiere que una alta proporción de C/N proporciona condiciones de mayor biodisponibilidad de carbono orgánico, favoreciendo el crecimiento de microorganismos heterótrofos (Collazos et al., 2023). Estos microorganismos utilizan el carbono como fuente de energía transformando

compuestos nitrogenados como el amoníaco, el nitrito y el nitrato en biomasa microbiana, lo que contribuye a una eficiente remoción del nitrógeno. Favoreciendo el crecimiento de comunidades microbiana por la presencia de desechos metabólicos de los organismos cultivados y restos de alimentos no consumidos (Collazos et al., 2023). Siendo clave para la eficiencia de este proceso de biorremediación mantener una adecuada disponibilidad y proporción de nutrientes en el sistema. Manteniendo, en este caso la relación C/N con los niveles adecuados en el medio de cultivo, para ello se debe manejar las fuentes de carbohidratos, la excedencia de carbono y la velocidad o frecuencia de acción de manera que la materia orgánica en suspensión sea desdoblada por levaduras y las bacterias ácido-lácticas transformándose en biomasa microbiana aprovechada por los organismos cultivados (Lecaro, 2022).

6.2.2 Establecimiento de la relación C/N

6.2.2.1 Fuentes de carbonos

Como se señaló anteriormente la fijación de compuestos nitrogenados en proteína microbiana en los tanques de cultivo se da gracias a la relación C/N. El carbono proviene de fuentes ricas en carbohidratos que funcionan como fuente de energía para los microorganismos que se encuentran en el medio (Pernia, 2021). Muchos materiales procesados o naturales se han utilizado como fuentes de carbono incluyendo los granos, pellets, melaza, azúcar de caña, entre otros. Algunas de las fuentes de carbono más utilizadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.*Fuentes de carbono aplicadas en sistemas biofloc*

Fuente de carbono	Especie cultivada
Acetato de Sodio	<i>M. rosenbergii</i>
Harina de Casava	<i>P. monodon</i>
Celulosa	Tilapias
Harina de Maíz	<i>Colossoma macropomum</i>
Dextrosa	<i>L. vannamei</i>
Afrecho-Melaza-Harina de Maíz	<i>Colossoma macropomum</i>
Afrecho-Melaza	<i>F. brasiensis</i> , <i>F. paulensis</i> y <i>F. duorarum</i>
Tapioca	<i>L. vannamei</i> y <i>M. rosenbergii</i>
Glicerol	<i>M. rosenbergii</i>
Glucosa	<i>M. rosenbergii</i>
Melaza	<i>O. niloticus</i> , <i>Colossoma macropomum</i>
Cascara de papa	<i>P. orinoquensis</i>
Harina de Trigo	<i>O. niloticus</i>
Almidón	<i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> , Mozambique

Fuente: (Pernia, 2021)

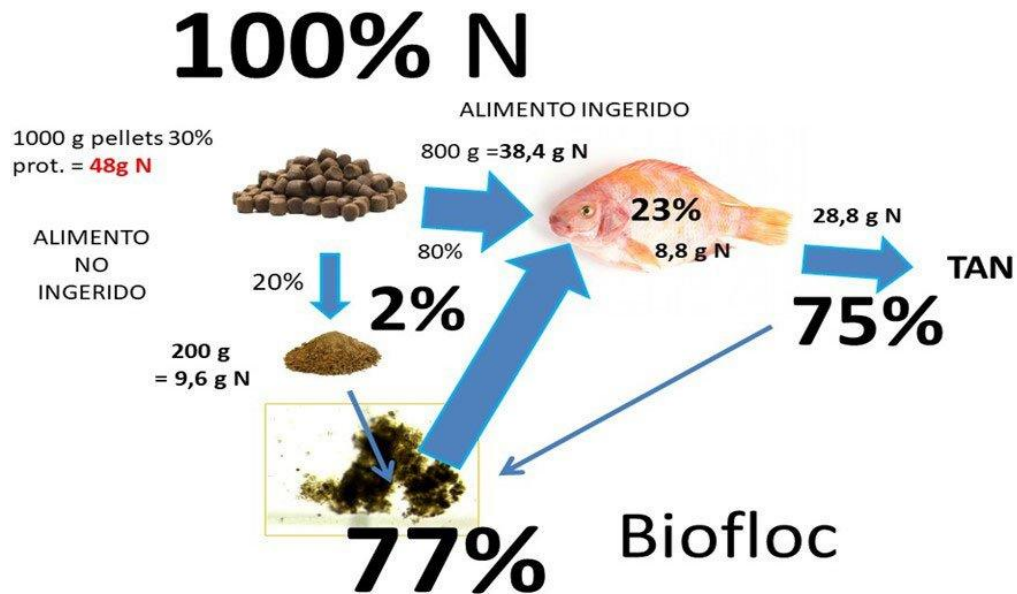
6.2.2.2 Flujo del nitrógeno en los sistemas biofloc

En los sistemas biofloc, el nitrógeno es eliminado del agua a través de las bacterias nitrificantes (Ariza y Mujica, 2019). Este flujo comienza con la excreción de compuestos nitrogenados provenientes de desechos de materiales orgánicos o directamente de los peces, las bacterias nitrificantes convierten el amoníaco en nitrito y luego a nitrato, reduciendo la toxicidad del agua (AUNAP, 2019). Para el desarrollo de estas bacterias y la eficacia en la remoción de nitrógeno, es importante la adición de una fuente de carbono que permita el crecimiento de la biomasa bacteriana adicional (Bioaquafloc, 2019).

Por ello, el carbono es el factor que limita el crecimiento de las bacterias heterótrofas (Pernia, 2021). Estas bacterias utilizan compuestos orgánicos, como fuentes de carbono, para su metabolismo (Castillo, 2023). Cuando la relación C/N se mantiene en un rango de 10:1 a 20:1 el desarrollo es más notable y la fijación de nitrógeno será más eficiente (AUNAP, 2019). Esto no solo mejora la calidad del agua, sino que también favorece el Control de los compuestos nitrogenados tóxicos convirtiéndolo en compuestos no tan tóxicos como el nitrato (Alzate, 2017).

Figura 1.

Flujo del nitrógeno en sistemas de biofloc



Nota. Adaptado de Pernia (2021).

6.3 MICROORGANISMOS PRESENTES EN LOS SISTEMAS BIOFLOC

Los bioflóculos están conformados por protozoos, bacterias, copépodos, rotíferos, nemátodos, ostrácodos entre otros que junto a la materia orgánica viva y muerta que se encuentra suspendida en el agua forman los flóculos (Hernández et al., 2019). Los protozoos, se consideran microorganismos claves del biofloc debido a que son el estabón de sistema y se alimentan de bacterias y otros microorganismos ayudando a regular la población microbiana en el sistema y a su vez reducen los niveles de materia orgánica y amonio en el agua, mejorando la calidad del medio de cultivo (Bioaquafloc, 2022).

6.3.1 Fundamento de los sistemas biofloc

Los sistemas biofloc se basan en el principio básico de la floculación, que consiste en mantener una alta cantidad de flóculos suspendidos en la columna de agua, este proceso se logra con la adición de productos químicos o floculantes como la cal (hidróxido de calcio) o la alúmina (sulfato de aluminio o cloruro de aluminio) que ayudan a fomentar la aglomeración de partículas para que se forme el flóculo (Mettler Toledo, 2023).

6.3.2 Función de los microorganismos en la conversión de nutrientes

Las bacterias y otros microorganismos actúan como sistemas bioquímicos al convertir el amoníaco tóxico, generado por los desechos de los peces y restos de alimento no consumido en proteína microbiana de buena calidad (Hernández et al., 2019). Esta funciona como alimento para los peces ayuda a mantener la calidad del agua; donde los microorganismos y microalgas evitan la acumulación de compuestos tóxicos, al utilizarlos como nutrientes metabolizando los compuestos orgánicos y nitrogenados (Balnova, 2016).

6.3.3 Control de la calidad del agua

El Control de la calidad del agua ocurre de manera natural a través de procesos metabólicos vinculados al uso de oxígeno durante la fotosíntesis que llevan a cabo

ciertas microalgas (Hernández et al., 2019). La absorción de nutrientes por el fitoplancton regula los niveles de amoníaco en los tanques, que también es reducido por los procesos de nitrificación e inmovilización (incorporación de nitrógeno orgánico a la biomasa microbiana) llevados a cabo por las bacterias. Por ello, al biofloc se los conoce también como sistema fotosintético de crecimiento suspendido. La captura de compuestos nitrogenados es más eficiente en las bacterias heterotróficas presentes en el biofloc, debido a su tasa de crecimiento y producción de biomasa es hasta diez veces mayor que la de otros tipos de bacterias (Gómez, 2021).

6.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CACHAMA BLANCA

6.4.1 Taxonomía de *Piractus brachypomus*

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Characiformes

Familia: Serrasalminidae

Subfamilia: Colossominae

Género: *Piractus*

Especie: *brachypomus*



Figura 2. Cachama blanca

6.4.2 Características

Piractus Brachypomus mide entre 60 y 88 cm de longitud total con un peso de 20 kg en su etapa adulta y con una longevidad de 28 años en su entorno natural;

presenta una coloración gris en la mayor parte de su cuerpo (Robles et al., 2016). Las aletas y el pecho presentan una coloración rojiza por ello también es conocido como cachama blanca de pecho rojo, pacú blanco, o pez cato rojizo (Falzon y Chartre, 2024). Prolifera en agua con temperatura entre 23 y 27 °C, es de temperamento tranquilo aunque puede mostrar signos de agresividad frente a otras especies (Thelen, 2021).

6.4.3 Distribución geográfica y hábitat

Es una especie nativa de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, frecuentemente se encuentra a profundidades entre 1m y 15m, sin embargo, no resulta imposible observar a esta especie a otras profundidades debido a su rápida adaptación (Bello y Gonzalez, 2018).

6.4.4. Alimentación

Es una especie de hábitos omnívoros, tendiendo a frugívora debido a que consume preferentemente frutos y semillas; sin embargo en las primeras etapas de vida en el entorno natural, consumen pequeños crustáceos, larvas, zooplancton, algas y materia vegetal que caen al agua (Robles et al., 2016). Esta especie es capaz de triturar material vegetal con sus dientes especializados, lo que les permite aprovechar una amplia gama de alimentos (Bolaño y Rodríguez, 2020).

6.4.5 Crecimiento en condiciones controladas

Así como la tilapia, el bocachico, la carpa y el yamú, la cachama blanca puede crecer en policultivos por ello es considerada una especie potencial productiva y comercial en la piscicultura extensiva, semi intensiva e intensiva de aguas cálidas con una temperatura óptima para su cultivo entre 23 y 27 °C (Cruz et al.,2014). La cachama blanca es una especie rústica y dócil, que produce carne de buena calidad y presenta buenos índices de crecimiento durante el cultivo, siempre que las condiciones del agua se mantengan estables (Loqui et al., 2022).

6.4.6 Adaptación a las condiciones de cultivo en sistemas de biofloc

Piractus brachypomus ha demostrado una capacidad de adaptación a las condiciones variables de los sistemas de biofloc. Esta especie tolera variaciones en parámetros como el pH y la salinidad, lo que facilita su cultivo en diferentes ambientes acuáticos (Abad et al., 2014). Además, se puede aprovechar la biomasa microbiana generada en estos sistemas como fuente de alimento suplementario, lo que favorece su desarrollo y promueve un crecimiento eficiente (Alzate, 2017). La interacción con microorganismos como bacterias y microalgas fortalece el sistema inmunológico y reduce el estrés, convirtiendo a esta especie en una opción atractiva para la acuicultura sostenible, optimizando el uso de recursos y mejorando la calidad del agua (Bolaño y Rodríguez, 2020).

7. MARCO METODOLÓGICO

El enfoque metodológico que se utilizó para la investigación es en base a un diseño experimental, este trabajo se llevó a cabo principalmente utilizando un enfoque cuantitativo, debido a que se implica la medición y análisis de datos numéricos para evaluar la relación de carbono y nitrógeno en sistemas biofloc y como estos varían bajo diferentes condiciones.

7.1 ÁREA DE ESTUDIO

La experimentación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio LANGOLIT, ubicado en el barrio Brisas del Mar Bravo, vía Salinas en las coordenadas $2^{\circ}15'56.9''$ S $80^{\circ}55'44''$ W.

Figura 3.

Ubicación del laboratorio Langolit



Nota. Adaptado de Google Maps (2024).

7. 2 IMPLEMENTACIÓN

Para llevar a cabo la experimentación del sistema de biofloc se tuvo en cuenta varios aspectos para la selección adecuada del área y su fácil acceso.

7.2.1 Condiciones ambientales: Las condiciones ambientales del área de experimentación, como temperatura, luz solar y la disponibilidad de agua, se mantuvieron en un ambiente controlado para garantizar la estabilidad del sistema de biofloc.

7.2.2 Acceso de recursos: Se previó de tener acceso a los recursos necesarios para proceder con el sistema, como; agua, suministros y equipos de monitoreo. Además se consideró la disponibilidad de electricidad y otros servicios necesarios para mantener el sistema en perfecto funcionamiento.

7.2.3 Preparación inicial: Se utilizó tanques de 200 L con la misma capacidad y condiciones iniciales para garantizar la coherencia del trabajo previo la desinfección de los tanques con hipoclorito de sodio (30 mg de cloro/litro) y se los enjuago con 15g de vitamina C. Una vez llevado a cabo el protocolo de desinfección se llenaron con agua dulce Tratada. El agua de los tanques se dejó madurar (formación de flóculos) y estabilizar antes de la introducción de la cachama blanca.

7.2.4 Inoculación y puesta en marcha del sistema: Se preparó los tanques del sistema a 200 L de capacidad donde se inoculo el sistema con microalgas como *Chaetoceros spp* a una densidad inicial de 1.0×10^6 cel/mL y Spirulina en polvo, la cual se incorporó 60 g cada tanque y nutrientes beneficiosos para iniciar el crecimiento de los flóculos.

7.2.4.1 Bacterias: En el proceso de inoculación y puesta en marcha del sistema biofloc para el cultivo de cachama blanca se incorporaron bacterias benéficas para el desarrollo y mantenimiento del biofloc en ambos Tratamientos. Estas bacterias ayudaron a iniciar la formación de biopelículas, así como a mantener la calidad del agua y el ciclo adecuado de nutrientes para los peces. Se incorporaron dos bacterias al sistema con una densidad bacteriana igual a un picogramo (1pg) de peso, o 1×10^{-12} gramos: *Nitrosomas* y *Pseudomonas spp* provenientes de un probiótico liofilizado comercial a una concentración inicial de 5.0×10^4 cel/mL, del cual se agregó 30g a un litro de agua para hidratarlos por unos 5 minutos y luego se lo distribuyo en cada tanque. El peso total de bacterias que se incorporó cada semana fue de 0.050mg a una concentración de 0.050 ppm.

7.2.4.2 Densidad de siembra: el establecimiento de la densidad se basó en González (2020), para lograr una densidad de cosecha de $15\text{kg}/\text{m}^3$ (para 18 meses de cultivo), con un peso de cosecha esperado por pez de 3 a 4 kg. Aunque el presente experimento tuvo un periodo de duración reducido a dos meses, esta referencia fue

utilizada como base para estimar la cantidad de peces que el sistema podía soportar durante el período experimental, sin comprometer la calidad del agua ni la salud de los peces. Por lo tanto, en cada tanque de 200 litros se colocó un total de 20 alevines, a una densidad de 0.1 peces/L.

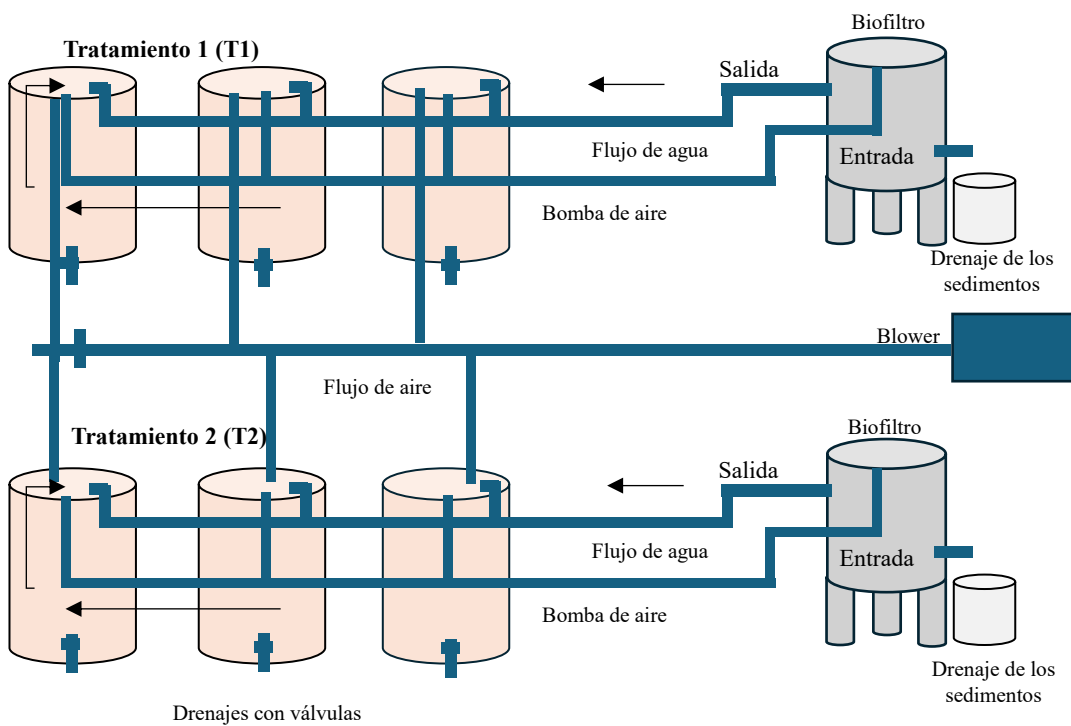
7.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Este estudio se llevó a cabo durante un periodo de 3 meses, de los cuales se dedicaron 28 días para la estabilización del sistema antes de la introducción de la especie. Se utilizaron 2 Tratamientos y un Control con 3 réplicas cada uno en tanques de 200 L (0,20m³), siendo las proporciones de carbono y nitrógeno para el Tratamiento 1 la relación 10:1 de C/N y para el Tratamiento 2 15:1 de C/N. En el Control, no se adicionó fuentes de carbono y nitrógeno. En cada Tratamiento y Control se colocó un total de 20 alevines de cachama blanca a una densidad de 0.1 peces/L, con un peso de 0.38 g y una longitud promedio de 3 cm, manteniéndolos a salinidad de cero y temperatura del 27°C.

En cada tanque se registraron los datos de crecimiento (biomasa inicial y final), junto con observaciones generales del comportamiento de los peces como parte del monitoreo del sistema, con el objetivo de determinar como responde el cultivo bajo las diferentes relaciones evaluadas en comparación con los otros Tratamientos.

Figura 4.

Esquema del sistema de biofloc para la experimentación de los diferentes niveles de carbono y nitrógeno en un cultivo de Cachama blanca



Nota. Cada Tratamiento estuvo previsto de un sistema de recirculación para evitar que el agua se mezcle entre sí.

7.3.1 Tratamientos

7.3.1.1 Tratamiento 1 (T1): Donde se aplicó una relación 10:1C/N se utilizaron tres tanques para replicar el Tratamiento, manteniendo la relación constante

mediante la adición controlada de carbono y nitrógeno (principalmente a través de proteínas en el alimento). Para el mantenimiento de la relación 10:1 C/N, por cada gramo de nitrógeno en el alimento, agregó 10g de carbono.

7.3.1.2 Tratamiento 2 (T2): Con una relación 15:1 C/N, y al igual que en el Tratamiento 1, los parámetros del agua se monitorearon y ajustaron periódicamente. Y por cada gramo de nitrógeno en el alimento, se agregó 15g de carbono, para el mantenimiento de la relación 15:1 C/N.

7.3.1.3 Control (C): En este sistema, no se añadió carbono externo, manteniéndose únicamente el aporte de nitrógeno del alimento balanceado. Esto se utilizó como referencia para comparar el efecto de las diferentes relaciones C/N evaluadas en los Tratamientos.

7.4 PROTOCOLO DE MANEJO

Durante la experimentación, se verificaron y ajustaron los parámetros físicos del agua, la temperatura se mantuvo en un rango de 25 a 27 °C, el pH en un rango de 6.5 a 8 y la transparencia entre 0.5 a 1m. Los niveles de fósforo se mantuvieron entre 0.5 y 1 mg/L y el nivel de oxígeno disuelto en niveles superiores a 5 mg/L (Pérez, 2018).

Las concentraciones químicas y de componentes claves del sistema se monitorearon continuamente para evitar altas concentraciones de amonio, por lo que los niveles de amoníaco (NH_3), nitrito (NO_2^-), y nitrato (NO_3^-), se los mantuvo por debajo de 0.05mg/L en los Tratamientos y el Control. Posteriormente, se realizaron mediciones de estos parámetros semanalmente. Las variables monitoreadas también incluyeron temperatura, salinidad, pH y transparencia. Este seguimiento permitió un control exhaustivo de las condiciones, favoreciendo la estabilidad del sistema y asegurando para el crecimiento y la salud de los organismos cultivados en ambos Tratamientos y el Control (Ariza y Mujica, 2019).

7.5 Protocolo de alimentación

Se alimentó con pienso comercial para peces, al 35% de proteína el cual se suministró tres raciones al día en los horarios de: 6:30 a.m., 13:30 p.m., y 7:00 p.m. En el grupo Control, los peces recibieron la misma dieta balanceada. En este caso, la cantidad de alimento se ajustó en función de la biomasa y la ración se dividió en cuatro o cinco tomas diarias para facilitar una distribución y consumo adecuados del alimento. En cuanto la cantidad de alimento se suministró inicialmente el 3% del peso corporal total de los peces al día, ajustando la cantidad según el tamaño y biomasa de los peces en cada tanque (Loqui et al., 2022). Además, se mantuvo la proporción de carbono y nitrógeno según los parámetros específicos de cada Tratamiento, El T1 10:1 C/N con 58,3 g de melaza y el 15:1 C/N con 87,5 g de melaza, 2 veces por semana proporcionalmente al alimento aportado.

7.5.1 Biomasa total de los peces: Como el peso promedio de siembra de los peces fue de 0,38 gramos, y se sembró un total de 20 alevines por tanque tanto para los Tratamientos como para el Control:

$$Biomasa\ total = Peso\ promedio\ por\ pez \cdot N\acute{u}mero\ total\ de\ peces$$

$$Biomasa\ total = 0.38g/pez \cdot 140\ peces = 53,2g$$

7.5.2 Cantidad de alimento diario a suministrar: Se utilizó el porcentaje de biomasa diario recomendado (Tabla 2).

$$Alimento\ diario = Biomasa\ total \cdot Porcentaje\ de\ biomasa\ diario$$

Tabla 2.

Alimentación diaria del cultivo

Tiempo del cultivo (días)	Porcentaje de biomasa (%)	Cantidad de alimento diario (g)
1-15	3	$53.2 \cdot 0.03 = 1.60\ g$
16-30	2.5	$53.2 \cdot 0.025 = 1.33\ g$
30-45	2	$53.2 \cdot 0.02 = 1.06\ g$
45-60	1.5	$53.2 \cdot 0.015 = 0.79\ g$

Fuente: (Hernández, 2019)

El contenido de nitrógeno en el pienso se calculó partir del porcentaje de proteína cruda del alimento que fue del 40 %. La fórmula que se utilizó fue:

$$Proteína\ cruda\ (g) = \left(\frac{\% \text{ de proteína cruda}}{100} \right) \cdot Cantidad\ de\ alimento\ (g)$$

Para 59.85 gramos de alimento:

$$Proteína\ cruda = \left(\frac{40}{100} \right) \cdot 59.85\ g = 23.94$$

Y se utilizó el factor de conversión de 6.25 en función de la proteína cruda según Gavidia (2020).

$$Nitrógeno\ del\ alimento = \frac{23,94\ g}{6.25} = 3.83\ g$$

Carbono adicional:

Para ajustar la relación C/N especificada en cada Tratamiento, se multiplicó el contenido de nitrógeno del alimento por la relación C/N correspondiente:

Para el Tratamiento 10:1

$$Carbono\ adicional = 3.83\ g \cdot 10 = 38.3\ g$$

Para el Tratamiento 15:1

$$\text{Carbono adicional} = 3.83g \cdot 15 = 57.5g$$

Como cada Tratamiento se mantuvo a una concentración diferente se multiplicó el nitrógeno del alimento anteriormente calculado por la cantidad de carbono que se incorporó a cada tanque. Además, se implementó un control en la adición de nutrientes en los Tratamientos donde se utilizó fuentes de nitrógeno, como nitrato de potasio y sulfato de magnesio, suministrándose dos gramos por tanque una vez por semana, independientemente de la relación C/N, con el objetivo de mantener una disponibilidad mínima de nitrógeno que permitió el desarrollo del sistema. En respuesta a este aporte, se ajustó proporcionalmente el suministro de carbono adicional en cada Tratamiento, según la relación C/N establecida, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.*Alimentación y adición del carbono semanal en cada Tratamiento*

Tratamiento	Relación C/N	Alimento diario	Nitrógeno del alimento	Nitrógeno adicional	Carbono total a suministrar (Melaza)
T1	10:1	59.85 g	3.83 g	2 g	58.3 g
T2	15:1	59.85 g	3.83 g	2 g	87.5 g
C	-	89.77 g	3.83 g	-	-

En la tabla 3, se muestra la cantidad de nitrógeno en la alimentación y el nitrógeno adicional para agregar el carbono total requerido en función de la relación C/N para cada Tratamiento.

7.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

7.6.1 Estabilización del sistema y formación de biomasa microbiana

Se llevaron a cabo monitoreos diarios de los parámetros fisicoquímicos hasta que el sistema alcanzo estabilización de los compuestos nitrogenados. Para esto, se basó en Venegas (2019), que muestra el rango de parámetros fisicoquímicos, a alcanzar para la estabilización de los sistemas (Tabla 4).

Tabla 4.

Parámetros fisicoquímicos para cultivos de peces de agua dulce en sistemas biofloc.

Parámetro	Rango
pH	6.5 – 8.8
Temperatura (°C)	24 – 31
Nitrógeno amoniacal total (ppm)	0 – 2
Amonio no ionizado (ppm)	0 – 0.5
Nitrito (ppm)	0 – 1
Nitrato (ppm)	80 – 300
Alcalinidad (ppm)	80 – 180
Oxígeno disuelto (ppm)	3.5 – 12
Saturación de oxígeno (%)	35 – 200
Salinidad (ppt)	0 – 6
Solidos sedimentables (mg/L)	20 – 50
Fosfatos (ppm)	0.15 – 0.2
Dureza (ppm)	80 - 200

Fuente: (Venegas, 2019)

A pesar de que los rangos mostrados en la tabla 4, sirven como referencia para los parámetros fisicoquímicos adecuados en sistemas biofloc, la estabilización del sistema no depende únicamente de mantenerse dentro de dichos valores. La estabilización se observa cuando las fluctuaciones de estos parámetros disminuyen y se mantienen consistentes en el tiempo, indicando un equilibrio en los compuestos nitrogenados y otros factores claves.

Además, se tuvo especial consideración en parámetros como la temperatura, por la influencia directa en la formación de los flóculos en el medio y en la transformación de compuestos químicos, evitando la acumulación de sustancias tóxicas en el agua. Así también, para parámetros como la alcalinidad y el pH, fundamentales para la estabilización del medio y la conversión eficiente de compuestos nitrogenados.

Y, para la determinación de la maduración del sistema, se consideró cuando los compuestos nitrogenados llegaron a un rango de 0,05 a 1 mg/L (Ariza y Mujica, 2019). Además, se visualizó la formación de flóculos y el cambio en la coloración del agua que pasó de un tono verdoso a marrón (Gaitánet al., 2023).

7.6.1.1 Cuantificación de biomasa microbiana

Para la medición de la biomasa microbiana en el biofloc, se filtraron muestras de agua de un litro, de cada Tratamiento y del Control utilizando un filtro de 100 micras para retener los sólidos. Posteriormente, los sólidos retenidos se secaron en una estufa a 105°C, durante una hora, obteniéndose así el peso seco de la muestra, según la metodología descrita por Rice (2017).

$$\text{Biomasa microbiana (g/L)} = \frac{\text{Peso del filtro con biomasa seca} - \text{Peso inicial del filtro}}{\text{Volumen de muestra filtrada (L)}}$$

7.6.1.2 Recuento bacteriano

Se realizaron recuentos bacterianos semanales durante la fase inicial del experimento, hasta la estabilización del sistema de biofloc. Posteriormente, se hicieron recuentos quincenales, considerando la evolución de las variables fisicoquímicas asociadas a las proporciones de carbono y nitrógeno en cada Tratamiento. Para ello, se prepararon diluciones seriadas en solución salina (1:10, 1:100 y 1:1000) para obtener recuentos legibles y fiables en las placas correspondientes a cada muestra y Tratamiento.

Posteriormente, se sembraron 1000 ul de muestra mediante la técnica de vertido en cajas Petri, a las que se le añadió agar nutritivo, siguiendo la metodología descrita por Hylary (2014). Las muestras se incubaron durante 24 horas a temperaturas de 25-30°C.

Luego las colonias formadas se contaron y se calculó la concentración con la formula según Obón (2021).

$$\text{CFU/mL} = \frac{\text{Número de colonias} \cdot \text{Factor de dilución total}}{\text{volumen de cultivo sembrado (mL)}}$$

76.1.2 Recuento de microalgas

Se realizó recuentos diarios y semanales con la ayuda de una cámara de Neubauer hasta la estabilización del sistema. Para esto, se colocó una muestra de microalgas usando una pipeta y se colocó una gota en cada ranura del hemocitómetro para el conteo.

Dependiendo de la concentración de las microalgas, se utilizaron dos métodos de conteo, para concentraciones bajas se tomaron en cuenta los cuadrantes 1, 2, 3 y 4 que se encuentran en los costados de la placa. Y, para concentraciones altas, se contabilizó las microalgas en el área central de la placa utilizando la fórmula de Barros (2021).

Concentración celular para los cuatro cuadrantes

$$\text{Concentración celular cell/mL} = \frac{\text{Número total de células}}{4} \cdot 10000$$

Concentración celular para el área central

$$\text{Concentración celular cell/mL} = \frac{\text{Número total de células}}{25} \cdot 10000$$

7.6.3 Biometría de *Piractus Brachypomus*

La biometría de la cachama blanca se realizó semanalmente, registrando los promedios de talla y peso de los peces. Para ello, se utilizó una balanza electrónica y un ictiómetro de 0 a 30 cm para medir la longitud total (Lt) de los peces desde la punta del hocico hasta la punta del lóbulo más largo de la aleta caudal. Los datos obtenidos se anotaron en fichas de registro, lo que permitió un seguimiento del crecimiento de los organismos y facilitó la evaluación del rendimiento de cada Tratamiento. También se hizo pruebas de ANOVA y de tendencia para analizar y comparar los datos.

La prueba de ANOVA se la utilizó para comparar las medias de los tres grupos Tratamientos (T1, T2 y C), y analizar la diferencia significativa en la variable de crecimiento de peso, talla, y supervivencia, en cuanto a la prueba de tendencia de Tukey se la utilizó para corroborar el resultado de ANOVA.

7.6.3.1 Índices zootécnicos

Se utilizaron las siguientes fórmulas para medir los índices zootécnicos y para evaluar la eficiencia de la producción.

Tabla 5.*Fórmulas para medir los índices zootécnicos*

Índices	Fórmula
Ganancia de peso Gp (g)	Gp= Peso final-Peso inicial
Ganancia de longitud GL (cm)	GL= Longitud final-Longitud inicial
Tasa de crecimiento específico TCE (%)	$TCE = \frac{In_f(\text{Peso final}) - In_i(\text{Peso inicial})}{\text{Tiempo de experimentación}} \cdot 100$
Tasa de conversión alimenticia TCA (%)	$TCA = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Biomasa final} - \text{Biomasa inicial}}$
Supervivencia S (%)	$S (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de peces cosechados}}{\text{N}^\circ \text{ de peses sembrados}} \cdot 100$

Fuente: (Coral, 2022)

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

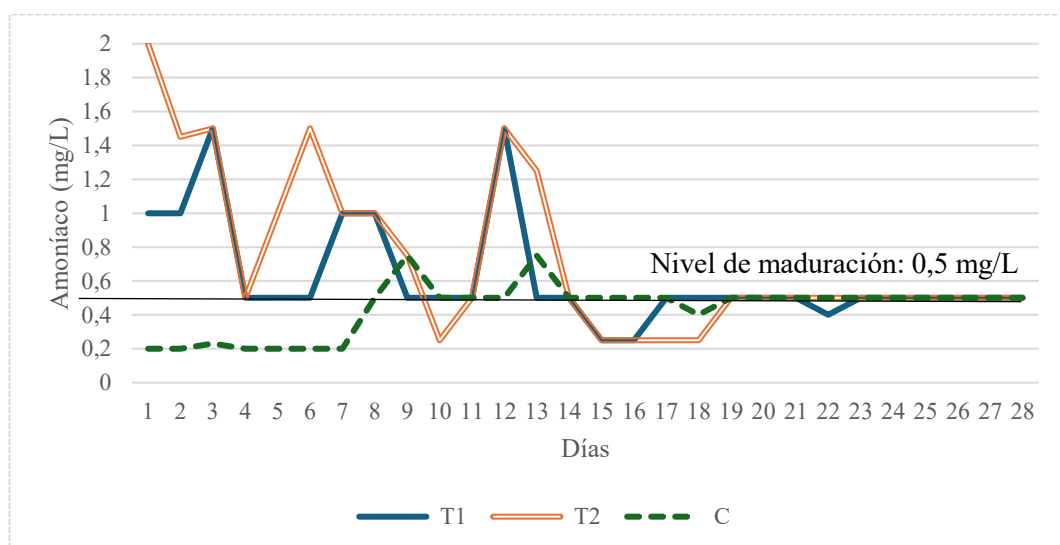
8.1 Estabilización del sistema mediante análisis de parámetros en las diferentes concentraciones de C/N en cada uno de los Tratamientos

8.1.1 Parámetros químicos

La figura 5, muestra el proceso de estabilización del amoníaco en los Tratamientos (T1 y T2) y el Control (C), los picos de amoníaco al inicio especialmente entre los días 1 y 12 reflejaron las fluctuaciones iniciales lo cual es normal en estos sistemas debido a que las bacterias aún no han alcanzado un punto de equilibrio. Todos los Tratamientos se mantuvieron por 28 días para alcanzar una estabilización completa en los sistemas y posteriormente ingresar los organismos.

Figura 5.

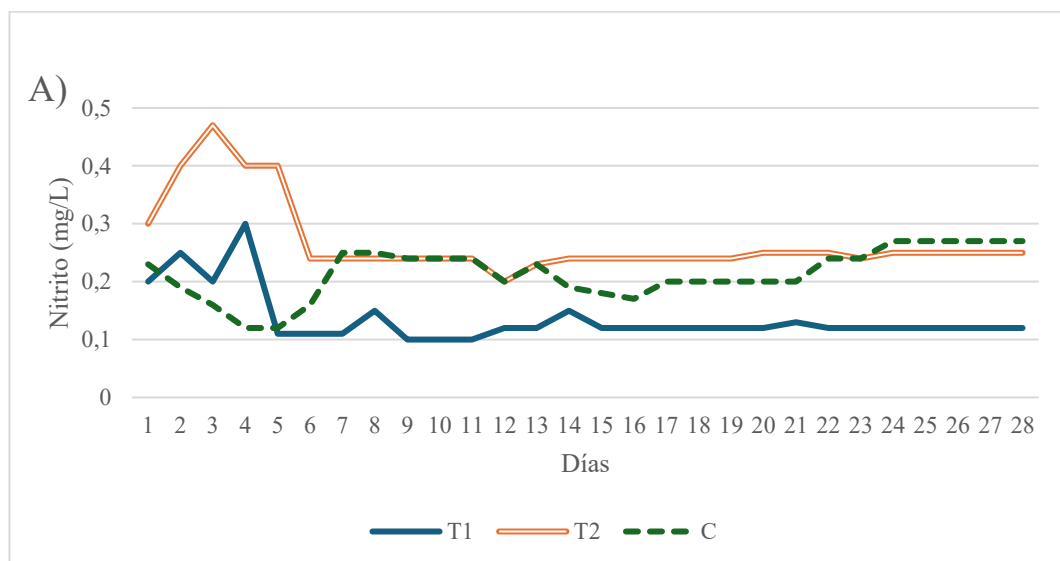
Comportamiento del amoníaco durante el proceso de maduración de los sistemas.

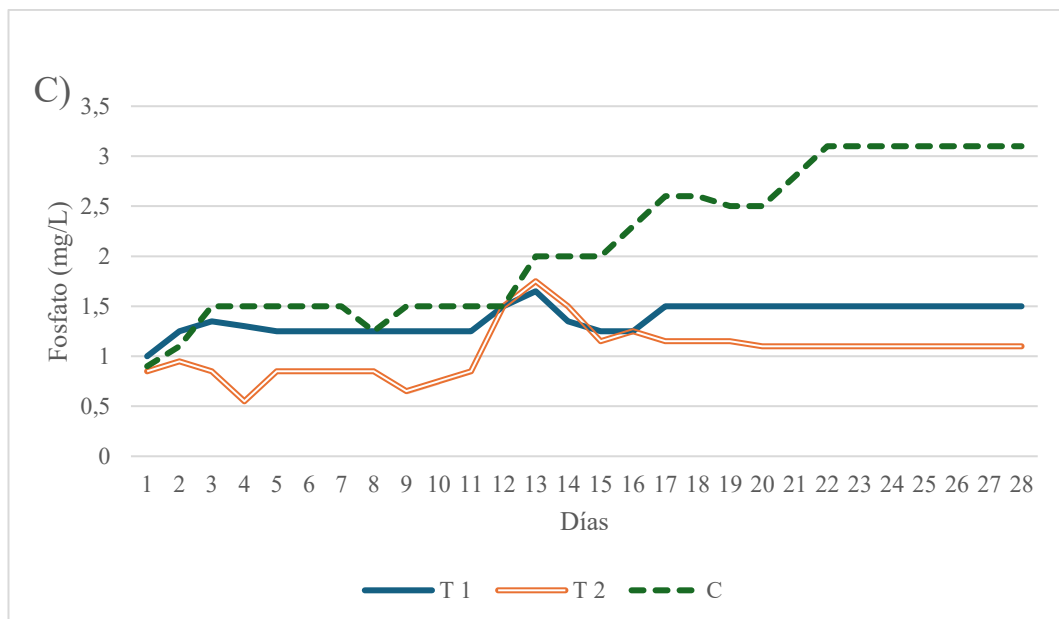
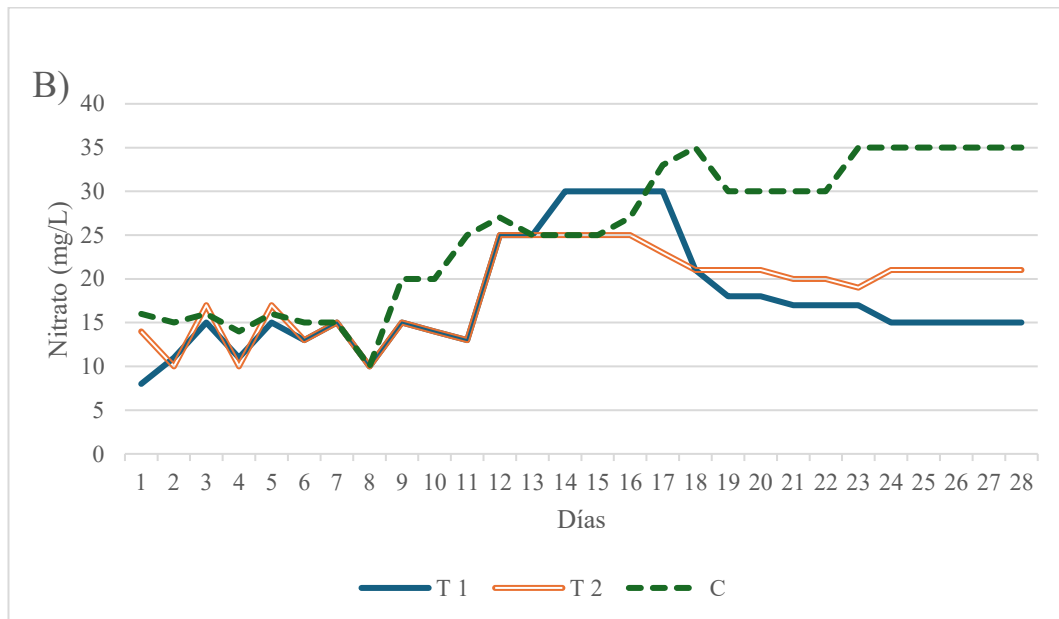


En la figura 5, se observa que el T2 alcanzó una estabilización más rápida en comparación con el T1 madurando en el día 19, mientras que el T1 maduro en el día 23. Sin embargo, la concentración de amoníaco en el T2 presento variaciones iniciales más pronunciadas posiblemente debido a la caída de las microalgas. Estos patrones mostraron que, con una relación C/N más baja como la del T1, las variaciones fueron menores y se generó una estabilización más gradual y controlada, mientras que el grupo Control sólo tuvo ciertas variaciones al principio de la experimentación debido a que no tuvo intervenciones, madurando entre el día 17 a 19.

Figura 6.

Comportamiento de A) Nitrito, B) Nitrato y C) Fosfato durante el proceso de maduración de los Tratamientos.





En el T1, el nitrato tuvo menos fluctuación y una concentración más baja a comparación con los otros grupos, estabilizándose en el día 15 a 0,12 mg/L. En el T2 el nitrato se estabilizó en el día 14 con una concentración de 0,24 a 0,25 mg/L y

el Control, se estabilizó en el día 24 y a una concentración de 0,27 mg/L, dejando de tener fluctuaciones en sus concentraciones.

En el caso del nitrato en todos los grupos presento fluctuaciones en el inicio, luego en la semana dos aumentaron las concentraciones, esto pudo deberse a la incorporación de fuentes de nitrógeno como Nitrato de potasio. Para el T1, el nitrato, presento una concentración alta a partir del día 12, para después comenzar a estabilizarse con un descenso en el día 18 con 21mg/L. En el T2 el nitrato, comenzó a estabilizarse a partir del día 18 con 21 mg/L. Y para el caso, del Control, este presentó fluctuaciones y concentraciones más elevadas llegando hasta 35 mg/L en el día 18 para después estabilizarse en el día 22.

La concentración de fosfato en el día 12 alcanzó 1,5 mg/L en todos los grupos experimentales. En el T1, este valor se mantuvo constante desde el día 17. El T2, por otro lado, se estabilizó el día 20, con una concentración ligeramente inferior de 1,1 mg/L. En cambio, el grupo control mostró variaciones entre los días 13 y 21, alcanzando una estabilización posterior el día 22, con un valor de 3,1 mg/L.

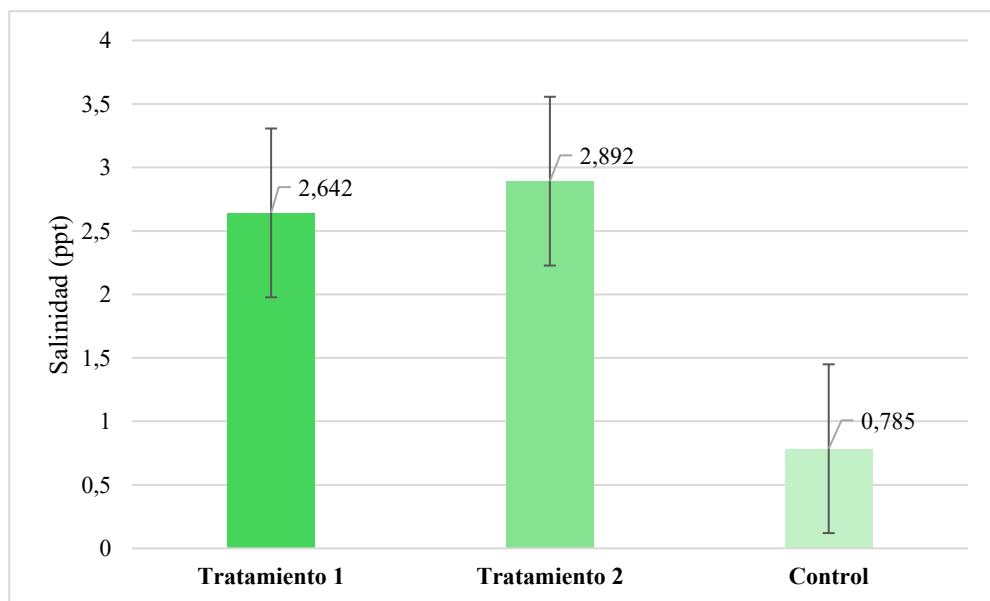
8. 1.1.1 Salinidad

Como se muestra en la figura 8, la salinidad en los Tratamientos y el Control presentó ligeras variaciones debido a la incorporación de sulfato de magnesio y nitrato de potasio al agua, que fueron utilizados para proporcionar nutrientes

necesarios al sistema. Estos cambios, fueron debido a que ambos compuestos contienen iones de Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , y Mg^{+2} que, al disolverse en el agua contribuyen a la concentración de sales totales disueltas.

Figura 7.

Comparación de la salinidad durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.



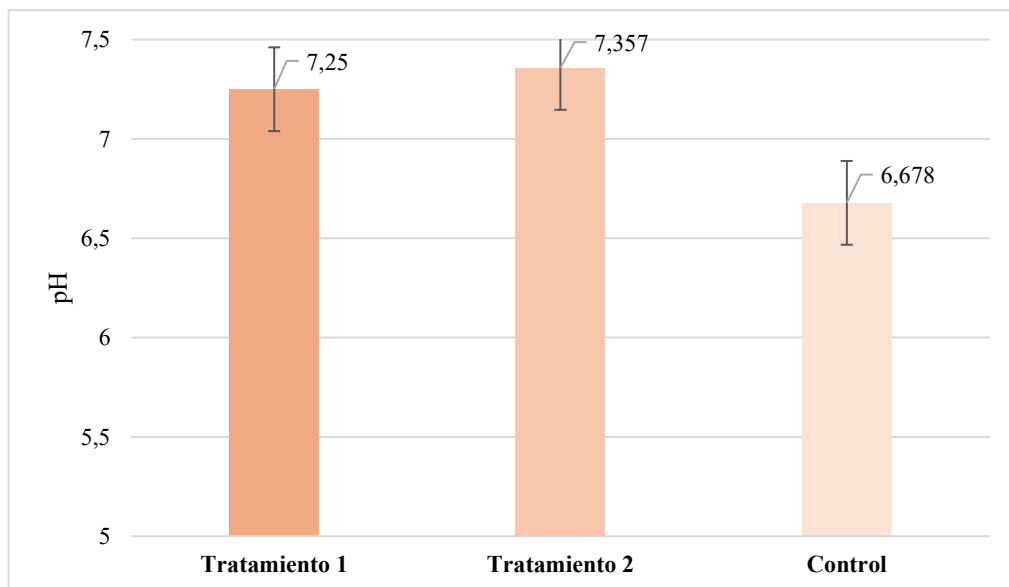
8. 1.1.2 pH

La diferencia en los valores de pH entre los Tratamientos (T1=10:1 C/N), (T2=15:1 C/N) y el Control pueden deberse a varios factores relacionados con la composición química del agua y la actividad microbiana. En los Tratamientos los valores más

altos de pH (T1= 7,25 y T2= 7,36) indicaron un sistema estable, con una actividad microbiana eficiente, y una mejor gestión del CO₂ y de los nutrientes. En cambio, en el Control la acumulación de CO₂ y compuestos nitrogenados podrían haber contribuido a un pH más bajo (C= 6,68) por lo tanto un entorno más ácido.

Figura 8.

Comparación del pH durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.



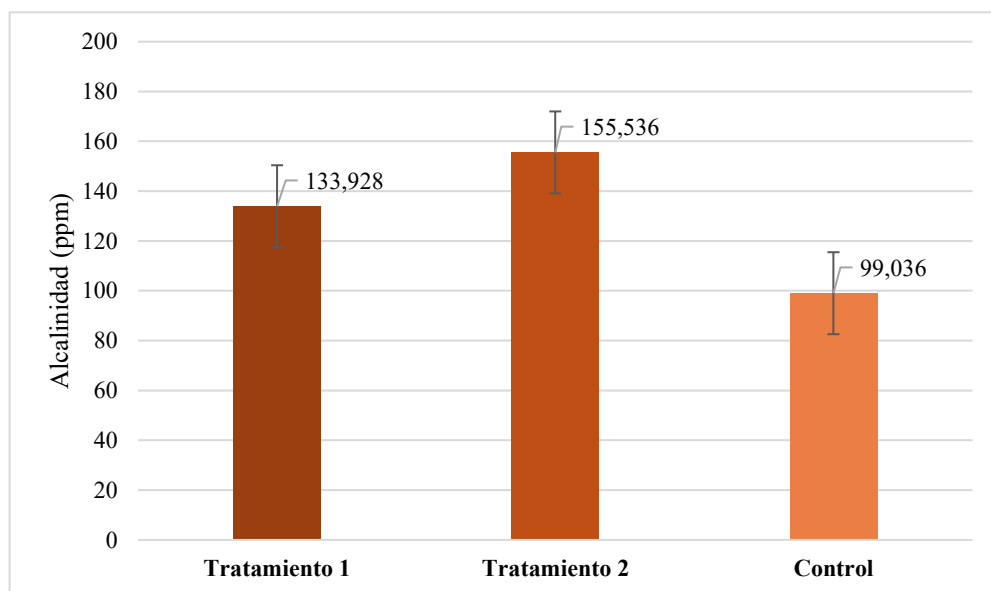
8. 1.1.3 Alcalinidad

Los niveles de alcalinidad en los Tratamientos fueron mayores (T1= 133,93 ppm y T2= 155,54 ppm) en comparación con el Control (C= 99,04 ppm) lo cual fue

beneficioso para amortiguar las fluctuaciones de pH y mantener la estabilidad del sistema. En los Tratamientos, la mayor alcalinidad proporcionó un entorno favorable para los organismos cultivados como los peces y las bacterias en el sistema. Sin embargo, en el Control los niveles podrían sugerir que el sistema es más susceptible a fluctuaciones de pH, y susceptible a generar estrés en los organismos cultivados.

Figura 9.

Proceso de las variaciones de la alcalinidad durante la maduración del agua en las concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.



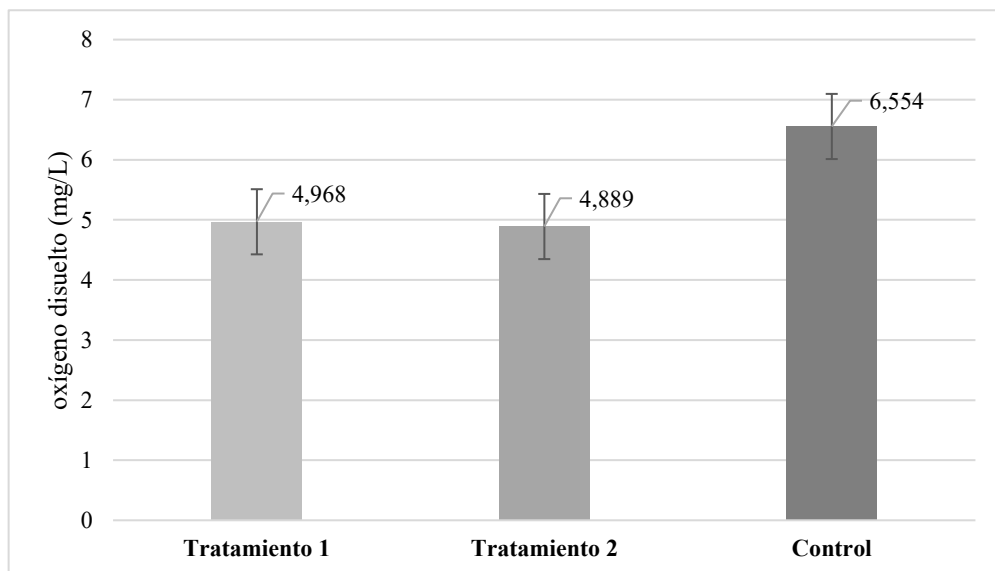
8. 1.1.4 Oxígeno disuelto en el agua

El oxígeno disuelto de los Tratamientos fue ligeramente menor que en el Control, que estuvo dentro de los rangos adecuados. La menor concentración de oxígeno en

los Tratamientos (T1= 4,97 mg/L y T2= 4,89 mg/L) podría deberse a la demanda de oxígeno de las bacterias que consumen nutrientes en el sistema. Infiriéndose, que el mayor nivel de oxígeno en el Control (C= 6,55 mg/L) es normal, debido a que no existió una alta demanda por microorganismos, caso contrario de los Tratamientos que fueron inoculados con bacterias y microalgas.

Figura 10.

Comparación del oxígeno disuelto durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.



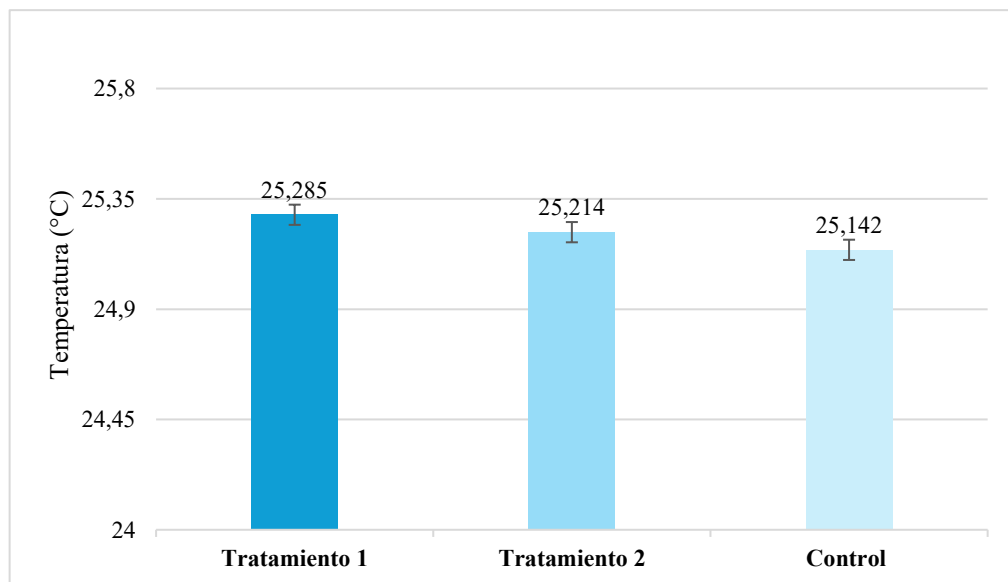
8.1.2 Parámetros físicos

8.1.2.1 Temperatura

La temperatura registrada en las diferentes horas del día no mostró variaciones significativas en los Tratamientos como en el Control, sin embargo, cabe destacar que cuando inicio el sistema la temperatura no supero los 21°C por ello se colocaron lámparas para generar calor, llegando temperaturas de hasta 27°C.

Figura 11.

Comparación de la temperatura durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.

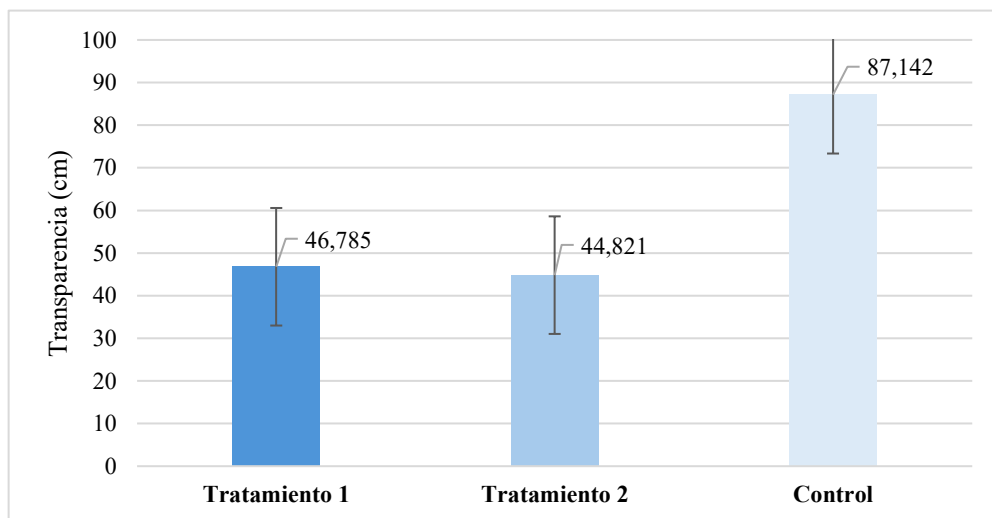


8.1.2.2 Transparencia

Los Tratamientos mostraron una transparencia de 46,79 cm para el T1 y 44,82 cm para el T2 en comparación con el Control (87,14 cm), esto debido a la presencia de los sólidos suspendidos del biofloc (flóculos conformados por los microorganismos). Valores que podrían indicar que en el Control se tiene una menor eficiencia en la eliminación de compuestos tóxicos y en el reciclaje de nutrientes.

Figura 12.

Comparación de la transparencia durante el proceso de maduración del agua de las diferentes concentraciones de C/N (10:1 y 15:1) y el Control.



8.3 Conversión de los compuestos nitrogenados

En cuanto al análisis de la biomasa microbiana presente en cada uno de los Tratamientos se muestran a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. *Biomasa microbiana presente en los Tratamientos*

Tratamiento 1	Tratamiento 2
10:1	15:1
$Bm = \frac{236002.1g - 236000g}{1 (L)} = 2,1g/L$	$Bm = \frac{236004.3g - 236000g}{1 (L)} = 4,3g/L$

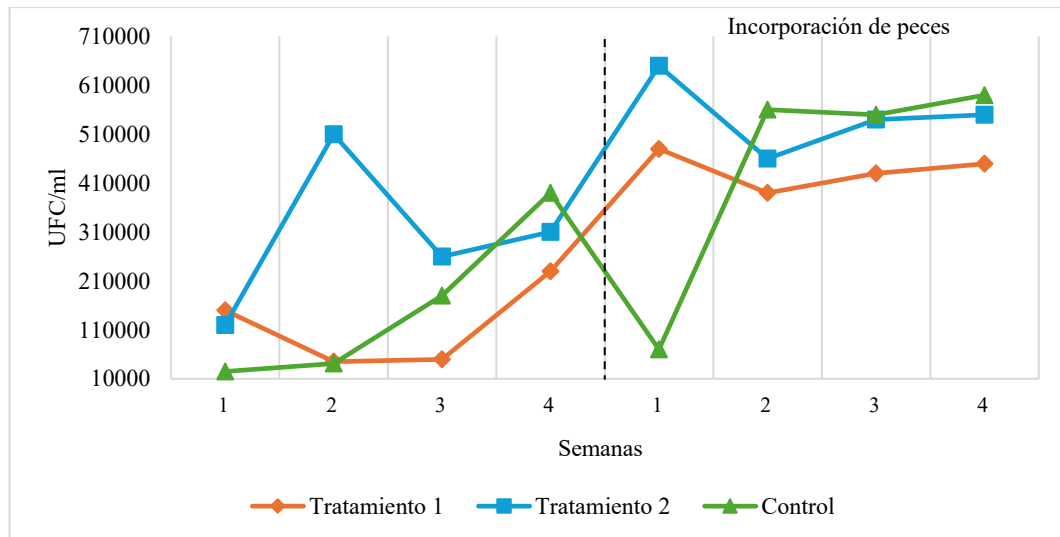
Evidenciándose que el T2 (4,3g/L) fomento el crecimiento de la biomasa microbiana contribuyendo en la estabilización del sistema y al crecimiento de los peces aportando más alimento al medio. Valores de T2, que duplicaron lo obtenido en el T1 (2,1g/L) Para el Control no se realizó recuento microbiano debido a la ausencia de flóculos.

8.3.1 Cuantificación bacteriana

Se realizaron recuentos semanales donde se observó variaciones en la concentración de UFC/mL como se muestran en la figura 13.

Figura 13.

Recuento bacteriano durante la experimentación



En el T1 y T2 fueron inoculados con una concentración de 0.050 ppm, semanalmente como se muestra en la figura 13, proliferando en el T2 hasta concentraciones de 1.2 a 5.1×10^5 UFC/mL y manteniéndose hasta 3.1×10^5 UFC previo a la introducción de los alevines de cachama. Y posterior el T2 continuó incrementando hasta 6.5×10^5 UFC, y manteniéndose en niveles entre 4.6 y 5.5×10^5 UFC en las dos últimas semanas de la experimentación.

Para el T1 en cambio, se registró una disminución de los microorganismos en concentraciones de 4.5×10^3 UFC/mL que se mantuvo hasta la tercera semana, para después aumentar la concentración a 2.3×10^5 UFC/mL, hasta la primera semana de la incorporación de los alevines al sistema donde las concentraciones estuvieron

entre 4.8×10^5 a 4.3×10^5 UFC/mL, para luego aumentar su concentración a 4.5×10^5 UFC/mL en la última semana.

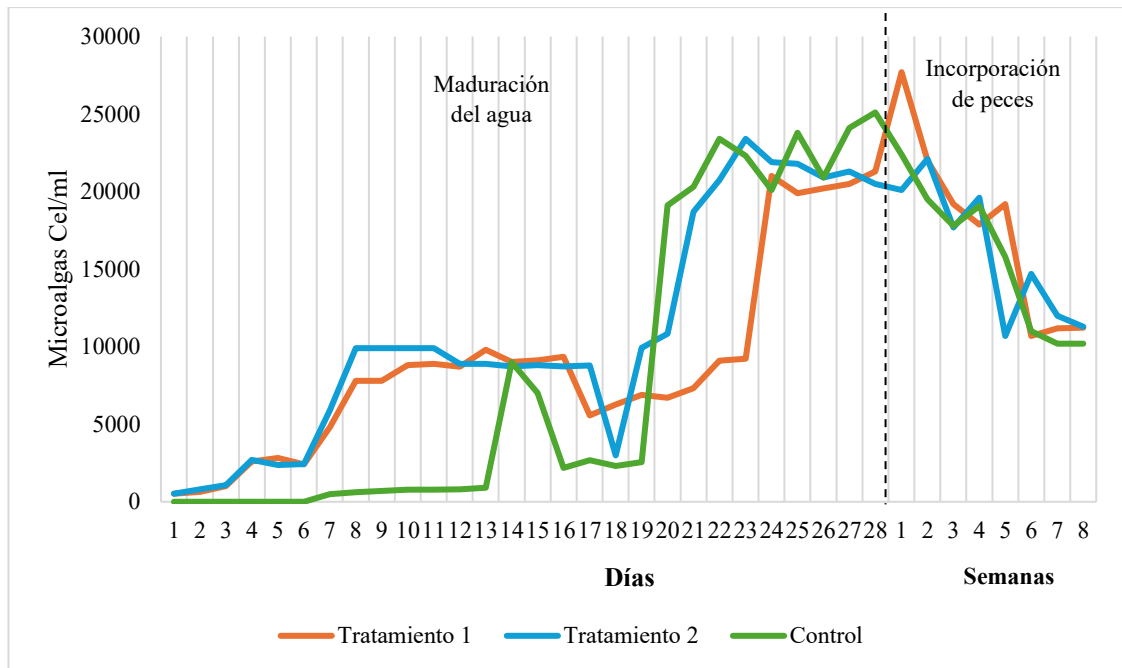
La concentración bacteriana en el Control fue diferente en relación con los Tratamientos y esto debido a que no fue inoculado con microalgas. Por lo que el crecimiento bacteriano hasta la cuarta semana fue paulatino, alcanzando una concentración de 3.9×10^5 UFC/mL, sin embargo, después de la introducción de los alevines, en el Control se observó una disminución en la concentración de 7.0×10^4 UFC/mL, para después aumentar su concentración a partir de la segunda semana alcanzando valores de 5.9×10^5 UFC/mL.

8.3.2 Recuento de microalgas

A diferencia de los recuentos bacterianos, los recuentos de microalgas se realizaron diariamente durante el proceso de maduración del sistema para monitorear el crecimiento y controlar la aparición de protozoarios no beneficiosos en el sistema.

Figura 14.

Recuento de microalgas presentes en el sistema durante la experimentación



La figura 14 muestran la evolución de las poblaciones de microalgas en los Tratamientos y el Control. En el T1, las concentraciones iniciales de microalgas comenzaron en 5.2×10^2 cel/mL y mostraron un crecimiento constante durante los primeros 12 días, alcanzando un máximo de 9.8×10^3 cel/mL. Esto indica que las condiciones iniciales favorecieron el establecimiento de las microalgas en este sistema. Sin embargo, a partir del día 13 se observará una disminución significativa en las concentraciones, llegando a 5.57×10^3 cel/mL en el día 17. Este descenso puede estar relacionado con la competencia de bacterias heterotróficas, que comenzaron a dominar el sistema al consumir nutrientes esenciales. Después de la

adición de melaza al día 19 las microalgas mostraron una recuperación, alcanzando valores de 6.89×10^3 cel/mL y aumentando gradualmente hasta un máximo de 2.13×10^4 cel/mL en el día 28. Sin embargo, en las semanas posteriores, la concentración disminuyó progresivamente debido a la evolución del sistema hacia un entorno más bacteriano, alcanzando valores de 1.06×10^4 cel/mL en la cuarta semana.

En el Tratamiento 2, las concentraciones iniciales de microalgas fueron de $5,2 \times 10^2$ células/mL, al igual que en Tratamiento 1, pero mostraron un crecimiento más acelerado, alcanzando un pico temprano de $1,07 \times 10^4$ células/ml al tercer día. A partir del día 13, se observó una disminución significativa de la concentración, posiblemente relacionada con un aumento de la población microbiana. El valor más bajo registrado fue de $2,99 \times 10^3$ células/mL al día 18. Tras la adición de melaza, T2 mostró una recuperación más rápida en comparación con T1, alcanzando $9,92 \times 10^3$ células/mL al día 19 y superando las $2,18 \times 10^4$ células/mL al día 25. Sin embargo, durante la semana 4 se detectó una reducción adicional de la población de microalgas, con concentraciones de $1,4 \times 10^4$ células/mL, lo que sugiere un cambio a un entorno dominado por bacterias heterótrofas.

En el grupo control, la concentración de inicio fue de 0 células/mL debido a la ausencia de inoculación previa. Sin embargo, se registró un crecimiento de microalgas natural y progresiva durante los primeros días, alcanzando $5,0 \times 10^2$ células/mL el día 7. A diferencia de los Tratamientos, el grupo Control mostró un

aumento más lento pero constante, alcanzando un máximo de $2,34 \times 10^4$ células/mL el día 23. A pesar de este crecimiento, las concentraciones se mantuvieron por debajo de las observadas en los Tratamientos. Para la cuarta semana, la población de microalgas había disminuido a $1,01 \times 10^3$ células/mL, lo que demuestra que, en ausencia de fuentes externas de carbono como la melaza, el sistema había evolucionado hacia una comunidad bacteriana dominante.

8.4 Biometría de *Piractus Brachypomus*

8.4.1 Crecimiento en peso

Los Tratamientos y el Control no presentaron mayores diferencias en peso en la primera semana, obteniéndose un promedio en el T1 de 0,61g, en el T2 de 0,73g, y el Control de 0,64g. Sin embargo, a partir de la tercera semana, se presentaron diferencias en el T2, que registró un peso promedio de 1,7g a diferencia del T1 y el Control que tuvieron un peso promedio de 1,3g cada uno (Tabla 7, Figura 15). Aunque al realizarse la prueba de ANOVA (nivel de significancia del 95%), no se encontraron diferencias significativas entre los Tratamientos ($p = 0,367$).

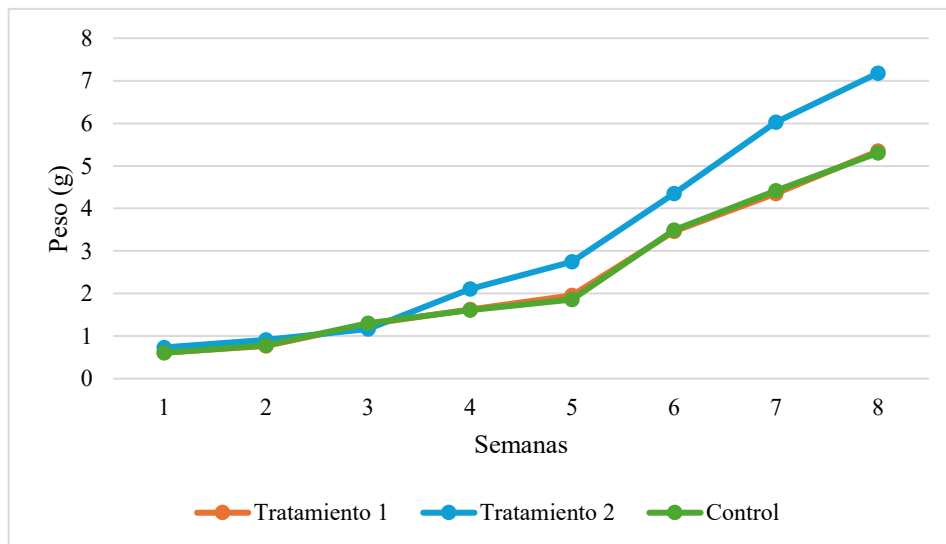
Tabla 7.

*Crecimiento en peso semanal (media \pm desviación estándar) de *Piractus brachypomus* durante el periodo de experimentación*

Muestreo	Tratamiento 1 (10:1 C/N) g	Tratamiento (15:1 C/N) g	Control g -
1	0,612 \pm 0,026	0.734 \pm 0,032	0,638 \pm 0,023
2	0,770 \pm 0,029	0,914 \pm 0,018	0,786 \pm 0,063
3	1,278 \pm 0,135	1,662 \pm 0,125	1,300 \pm 0,190
4	1,628 \pm 0.099	2,108 \pm 0,108	1,610 \pm 0,085
5	1,957 \pm 0.059	2,747 \pm 0,230	1,857 \pm 0,115
6	3,460 \pm 0.200	4,350 \pm 0,334	3,493 \pm 0,211
7	4,350 \pm 0.334	6,030 \pm 0,055	4,417 \pm 0,333
8	5,350 \pm 0.255	7,180 \pm 0.172	5,307 \pm 0.168

Figura 15.

*Curva de crecimiento en peso promedio (media \pm desviación estándar) de *Piractus brachypomus* por Tratamiento.*



Como la prueba de ANOVA reflejó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los Tratamientos, se realizó un análisis de tendencia. Como se muestra en la figura 16, la curva representó el cambio en el peso a lo largo del tiempo, donde el T2 muestra mayor rendimiento, lo que indica una mayor tasa de crecimiento promedio en comparación con los otros grupos. Dado que todos los valores p (0,487), son menores a 0,05 lo que indica que las tendencias de crecimiento son estadísticamente significativas para el T2. Además, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, realizada con datos del peso al final del experimento, mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($H = 9,54$; $p = 0,0085$). Esto confirma que el Tratamiento 2 promovió un crecimiento superior en

Piractus brachypomus en comparación con el Tratamiento 1 y el control, lo que respalda las observaciones de la curva de crecimiento y las tendencias reportadas.

8.4.2 Crecimiento en talla

Todos los peces tuvieron una talla promedio de 3 cm al inicio de la experimentación. Obtenido los datos se realizó análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre los Tratamientos y el grupo Control.

Tabla 8.

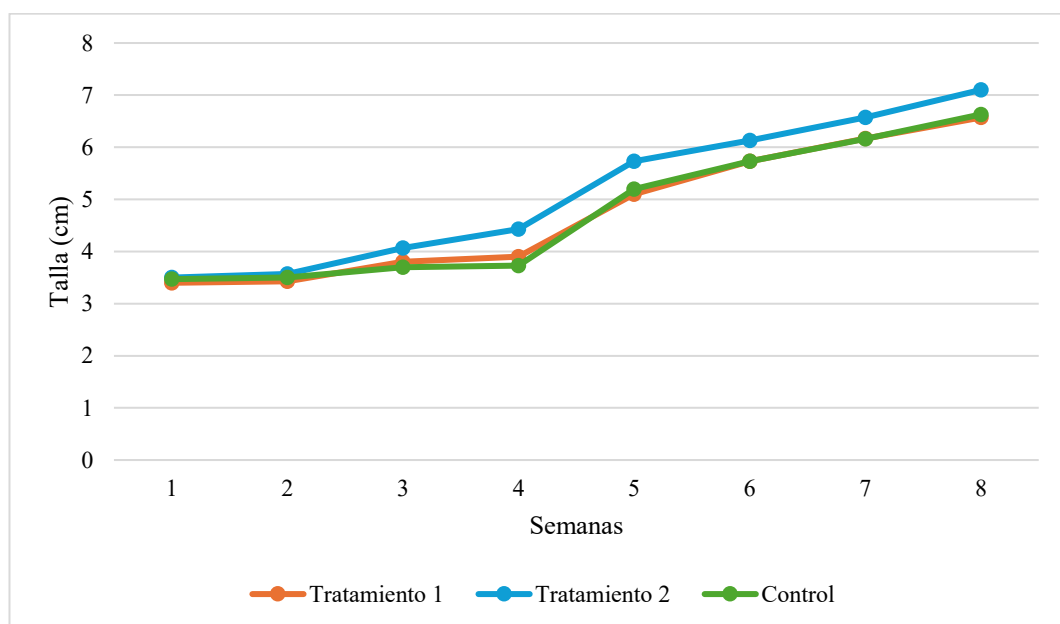
*Crecimiento en talla en centímetros promedio por semana (media \pm desviación estándar) de *Piractus brachypomus* por Tratamiento.*

Muestreo	Tratamiento 1 (10:1 C/N) cm	Tratamiento (15:1 C/N) cm	Control cm -
1	3,400 \pm 0,082	3,500 \pm 0,082	3,467 \pm 0,058
2	3,430 \pm 0,115	3,567 \pm 0,173	3,500 \pm 0,000
3	3,800 \pm 0,082	4,067 \pm 0,058	3,700 \pm 0,100
4	3,900 \pm 0,082	4,433 \pm 0,058	3,833 \pm 0,153
5	5,100 \pm 0,153	5,733 \pm 0,208	5,200 \pm 0,153
6	5,730 \pm 0,208	6,133 \pm 0,208	5,733 \pm 0,208
7	6,170 \pm 0,306	6,567 \pm 0,115	6,167 \pm 0,288
8	6.567 \pm 0.115	7.100 \pm 0.100	6.633 \pm 0.115

Durante las semanas 3 y 4, los valores p obtenidos (0,044 y 0,049, respectivamente) fueron menores de 0,05, indicando la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos analizados.

Figura 16.

Curva de crecimiento en talla de Piractus brachypomus



También se realizó un análisis de tendencia de la talla en el cual el crecimiento en los 3 grupos a partir de la tercera semana comenzó a diferenciarse, como se observa en la figura 16. El valor p para cada grupo indico que la tendencia de crecimiento fue significativa en el T2 y en el Control (valores de $p < 0,05$). En el T1, la tendencia fue significativa ($p \approx 0,051$). Estos resultados indicaron que el T2 mostro una mayor tasa de crecimiento con 7,1 cm seguido del T1 con 6,5 cm y luego el Control con 6,6 cm. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para longitud al final del

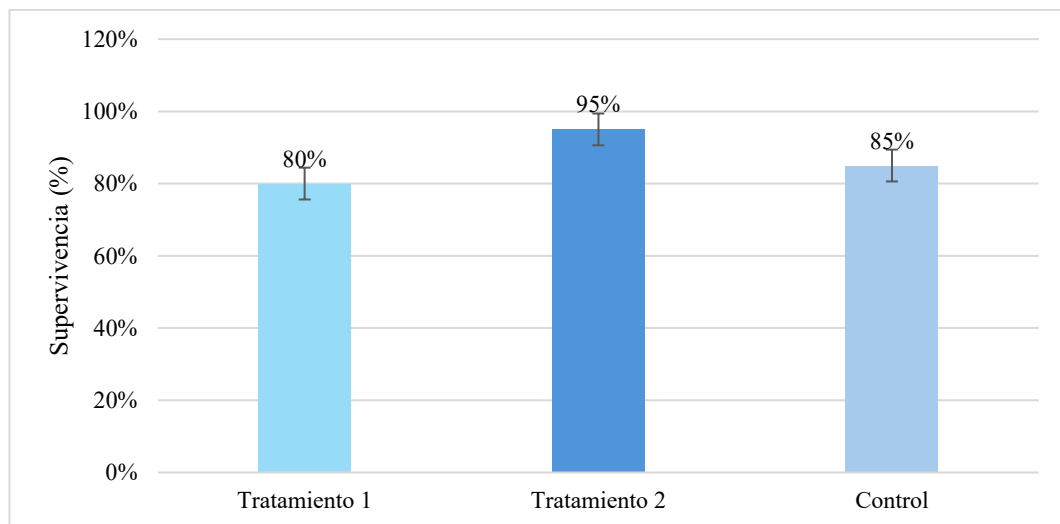
experimento mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($H = 9,61$; $p = 0,0082$), confirmando que el Tratamiento 2 promovió un mayor crecimiento en longitud de *Piractus brachypomus* en comparación con los otros grupos.

8.4.3 Supervivencia

La figura 17, muestra la supervivencia durante el periodo de investigación de todos los grupos (T1, T2 y C).

Figura 17.

Supervivencia de los alevines de cachama blanca durante la experimentación



Nota: Tasa de supervivencia de *Piractus brachypomus* bajo diferentes Tratamientos durante el experimento. Se observó una mayor supervivencia en el Tratamiento 2 (95%) en comparación con el Tratamiento 1 (80%) y el grupo Control (85%).

Cómo se observa en la figura 17, el T2, tuvo una supervivencia mayor a comparación de otros grupos con una mortalidad del 5%, representando la pérdida de un solo organismo. En el T1 la supervivencia fue menor, teniendo una pérdida de más de organismos a comparación del Control. Este porcentaje demuestra que los organismos de cachama blanca se adaptaron al T2 con mayor facilidad a comparación de los otros grupos.

8.4.4 Tasa de conversión alimenticia (TCA)

La tasa de conversión alimenticia mostró que el Tratamiento 2 (15:1 C/N) con una proporción de 0,95:1, seguido del Tratamiento 1 (10:1 C/N) con 1,2:1, es decir, que se requirió 0,95 g de alimento para aumentar 1g de peso. Y, para el Control se obtuvo una TCA de 1,50. Comparando, los resultados de TCA con los Tratamientos y el Control se observó que este último es menos eficiente en la transformación en peso.

Tratamiento 1 (T1 = 10:1 C/N)

$$TCA = \frac{134,3g}{117,6g - 22,8g} = 1.42$$

Tratamiento 2 (T2 =15:1 C/N)

$$TCA = \frac{135g}{165g - 22,8g} = 0.95$$

Para el Control (C)

$$TCA = \frac{133,76g}{111,6g - 22,8g} = 1.50$$

8.5 Comparación de la biomasa final y supervivencia de *Piractus brachypomus*

La biomasa obtenida al final de la investigación se vio directamente influenciada por el crecimiento en peso y la tasa de supervivencia alcanzada en cada Tratamiento. Se observaron diferencias en cuanto a la acumulación de biomasa entre los grupos experimentales, lo que sugiere una estrecha relación entre la relación carbono-nitrógeno aplicada y el rendimiento productivo del sistema.

Para la determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en la biomasa final entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), donde los resultados mostraron diferencias significativas entre los grupos ($F(2,6) = 36,22$; $p < 0,001$), lo que indicaba que al menos uno de los tratamientos presentó una biomasa significativamente diferente.

Se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey, con el nivel de confianza del 95%, que reveló que el Tratamiento 2 (15:1 C/N) difirió significativamente tanto del Tratamiento 1 (10:1 C/N) como del grupo control ($p < 0,05$), logrando una mayor biomasa final. Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas entre el Tratamiento 1 y el control.

Estos resultados sugieren que el C/N de 15:1 favorece una mayor producción de biomasa en *Piractus brachypomus*, posiblemente debido a una mayor disponibilidad de carbono como fuente de energía para el desarrollo del biofloc, así como a una conversión alimenticia más eficiente, como se mencionó previamente.

Tabla 9.

Biomasa final (media ± desviación estándar) y supervivencia (%) de Piractus brachypomus en cada Tratamiento al final del experimento.

Tratamientos	Biomasa final	Supervivencia
Tratamiento 1 (10:1 C/N)	111,6 ± 2,8	80%
Tratamiento 2 (15:1 C/N)	142,2 ± 3,1	95%
Control	105,8 ± 4,2	85%

Como se muestra en la Tabla 9, el Tratamiento 2 (relación C/N de 15:1) obtuvo la mayor biomasa final, con un promedio de 142,2 ± 3,1 g, así como la mayor tasa de supervivencia (95%). Estos resultados reflejan una mayor eficiencia del sistema de biofloc con esta relación carbono-nitrógeno, lo que sugiere un entorno más favorable para el crecimiento y la estabilidad fisiológica de *Piractus brachypomus*.

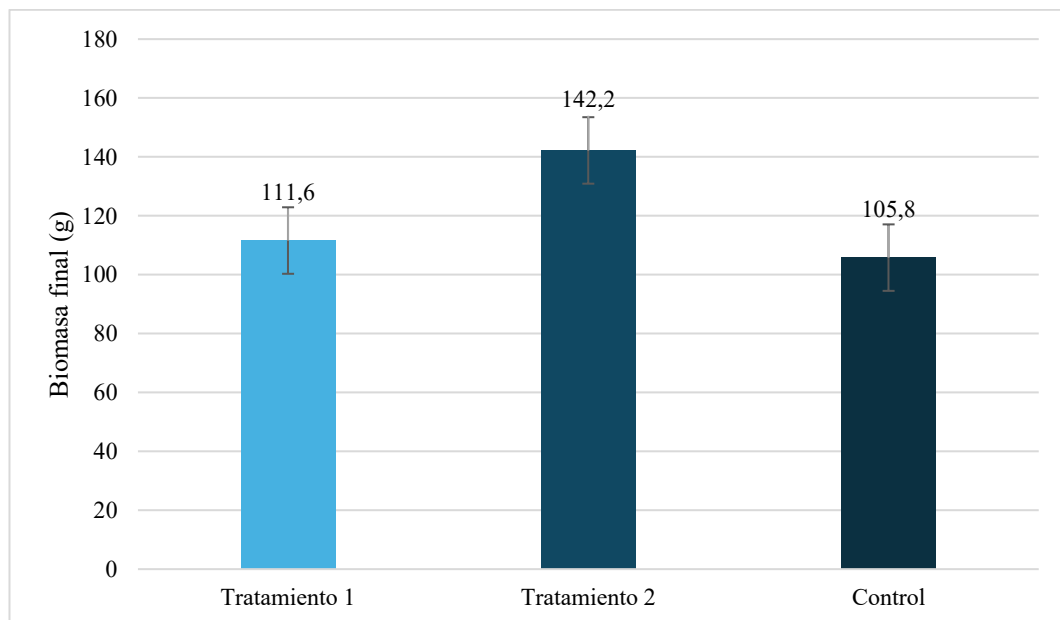
El Tratamiento 1 (C/N 10:1) registró una biomasa intermedia de 111,6 ± 2,8 g y una tasa de supervivencia del 80%, lo que indica un menor rendimiento en comparación

con el Tratamiento 2. Esta diferencia podría atribuirse a una menor disponibilidad de microorganismos benéficos o a una menor eficiencia de conversión de nutrientes.

En contraste, el grupo control (sin ajustar por la relación carbono-nitrógeno) presentó la biomasa final más baja, con $105,8 \pm 4,2$ g, y una tasa de supervivencia del 85%. Aunque esta tasa de supervivencia es mayor que la de T1, la menor biomasa sugiere una eficiencia de producción limitada en ausencia de biofloc activo.

Figura 18.

Biomasa final de Piractus brachypomus bajo los diferentes Tratamientos de relación C/N



En general, estos resultados respaldan la eficacia del sistema biofloc con una relación C/N de 15:1 para maximizar la productividad y la supervivencia de los peces.

9. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 DISCUSIÓN

El Tratamiento 2, mostro una estabilidad mayor en los parámetros fisicoquímicos del agua, mostrando niveles óptimos de amoníaco, nitrito y oxígeno disuelto. Estos resultados concuerdan con los de Reshmi et al. (2024), quienes argumentan que las elevadas concentraciones de carbono promueven el crecimiento de bacterias heterotróficas capaces de absorber compuestos nitrogenados venenosos, convirtiéndolos en biomasa microbiana. Asimismo, Cala-Delgado et al. (2023) mostraron que la sobrecarga de carbono puede causar la acumulación de sólidos y disminuir el oxígeno disuelto, sin embargo, en este estudio, estos impactos se minimizaron a través de una aireación eficaz y un seguimiento continuo.

La transformación de compuestos nitrogenados en biomasa microbiana fue más notoria en el Tratamiento 2, demostrando un incremento en el desarrollo de flóculos y cantidades bacterianas. Tasleem et al. (2024), señalan que una elevada relación entre C y N genera una producción de biofloc más rápida, que no solo actúa como alimento adicional, sino que también facilita el reciclaje del nitrógeno existente en el sistema.

El crecimiento y la tasa de conversión alimenticia (FCR) de los peces del Tratamiento 2 mostraron mejor FCR (0,95) en comparación con el otro Tratamiento y Control, indicando que este valor es una buena eficiencia alimentaria,

considerando que los peces no se encontraban en una etapa juvenil, sino que eran alevines, donde la demanda energética para el crecimiento es alta y el sistema de biofloc puede proporcionar nutrientes complementarios esenciales. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Tasleem et al. (2024), quienes han reportado que relaciones C/N de 15:1 favorecen el crecimiento de la tilapia y otros peces en sistemas de biofloc, debido a la disponibilidad constante de flóculos como suplemento alimenticio natural. Este material particulado, rico en proteínas microbianas, actúa como una fuente complementaria de nutrientes que mejora el rendimiento de los peces tanto en talla como en peso. En este sentido, Bolaño et al. (2020) señalan que el sistema de biofloc no solo optimiza el uso de alimento comercial, sino que también reduce los costos operativos del cultivo al complementar la dieta con microorganismos altamente digestibles. Sin embargo eso también conlleva a un mayor control del sistema.

Aunque el análisis estadístico (ANOVA) no mostró diferencias significativas entre tratamientos, la tendencia observada en los datos, junto con un valor $p < 0,05$, sugiere que el tratamiento 15:1 fue más eficiente para promover el crecimiento en esta etapa del cultivo. En comparación con estudios similares, el FCR obtenido es competitivo: valores entre 0,9 y 1,2 se han reportado como óptimos en sistemas de biofloc bien manejados (Klinger y Burgos, 2019). Esto indica que, incluso en una etapa temprana del desarrollo, el sistema de biofloc bajo esta relación C/N puede ofrecer un entorno nutricional y microbiológico favorable para el crecimiento eficiente de *Piractus brachypomus*.

La biomasa final y la tasa de supervivencia fueron mayores en el tratamiento 15:1 C/N, aunque no fue estadísticamente significativo. Sin embargo, esta tendencia refleja una mayor eficiencia en el uso de nutrientes y menores tasas de estrés, lo cual concuerda con los hallazgos de Ríos-Castro et al. (2020), quienes evidenciaron que, al administrarse con una relación C/N apropiada y eficaz, los sistemas de biofloc potencian la supervivencia de los peces y disminuye la aparición de enfermedades al fomentar un ambiente microbiológico más balanceado. Tasleem et al. (2024) resaltan, que una comunidad de microorganismos estable disminuye la competencia por alimentos y ayuda a optimizar las condiciones del entorno, lo que conduce a un ambiente de crecimiento más sano. Sin embargo, es necesario considerar las observaciones de Tovar-Ramírez et al. (2021), quienes dicen que la acumulación excesiva de sólidos en los sistemas de biofloc puede comprometer la calidad del agua si no es controlada adecuadamente. Por lo tanto, la gestión de sólidos debe incluirse como práctica estándar en el mantenimiento del sistema, especialmente en estudios a largo plazo.

En resumen, una relación C/N de 15:1 resultó ser la más efectiva para el cultivo de *Piractus brachypomus* en sistemas de biofloc, proporcionando mejores condiciones fisicoquímicas, mayor biomasa microbiana y un rendimiento productivo superior. Si bien algunas variables no mostraron diferencias significativas, la tendencia general de los datos y la evidencia reciente sugieren que este tipo de manejo podría replicarse a mayor escala. Futuros trabajos podrían incluir análisis bromatológicos

del biofloc, la incorporación de probióticos y el estudio del perfil inmunológico de los peces para evaluar el impacto general del sistema de biofloc.

9.2 CONCLUSIONES

Los Tratamientos C/N 10:1 y 15:1 lograron estabilizar el sistema de biofloc, como lo demostraron las condiciones fisicoquímicas, como una mayor estabilidad del pH y la alcalinidad, así como menores concentraciones de compuestos tóxicos como amoníaco y nitrito, en comparación con el Control. Esto demostró que las relaciones

evaluadas son eficaces para mantener un ambiente óptimo para el cultivo de *Piractus brachypomus*, cumpliendo así el objetivo de determinar la estabilización del sistema mediante los parámetros fisicoquímicos evaluados.

A pesar de que las microalgas florecieron en las fases iniciales, su presencia se redujo gradualmente debido a la rivalidad con las bacterias heterótrofas particularmente en el T2, lo que facilitó una valoración precisa de la habilidad del sistema para convertir compuestos nitrogenados en biomasa microbiana viable.

En cuanto al crecimiento y rendimiento de conversión alimenticia el T2 (15:1 C/N) mostró, con un índice de conversión alimenticia (ICA) inferior a 1 (0,95 g de alimento por gramo de biomasa), lo que refleja una alta eficiencia de utilización del alimento. Además, mostró una mayor tasa de adaptación y supervivencia, lo que confirma que una mayor relación C/N proporciona condiciones más favorables para el desarrollo de *Piractus brachypomus*. Este resultado coincide con el objetivo de evaluar el crecimiento y el consumo de alimento en esta especie bajo diferentes condiciones del sistema de biofloc.

En el T2 se obtuvo una biomasa final más alta y la tasa de supervivencia mayor entre los Tratamientos y el Control. Estos resultados muestran que una correcta gestión de la relación entre carbono y nitrógeno puede incrementar

significativamente la eficacia del sistema biofloc, ayudando a una producción más sustentable.

Finalmente, se podría decir que la relación C/N de 15:1 generó un sistema de biofloc más eficiente, estable y productivo. Facilitando la transformación de compuestos nitrogenados, manteniendo condiciones fisicoquímicas adecuadas creando un ambiente favorable para el crecimiento y el bienestar de la cachama blanca. Por lo tanto, al ajustar adecuadamente esta relación se presenta como una estrategia viable y sostenible para mejorar la acuicultura de esta especie y de otras más.

9.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda la medición frecuente y precisa de parámetros como el oxígeno disuelto, el pH, el amoníaco, nitrato, fosfato y el nitrito que son esenciales, especialmente durante las etapas iniciales del cultivo, ya que estos cambios pueden ayudar a identificar el progreso de maduración del agua.

Se aconseja ampliar este tipo de investigación a otras especies acuícolas con capacidad productiva, como el camarón o la mojarra, para valorar su capacidad de adaptación al sistema de biofloc. Las futuras investigaciones deberían tener en cuenta factores como la conducta, la eficacia alimentaria y la viabilidad financiera a largo plazo

A consecuencia de la alta demanda de oxígeno en los sistemas de biofloc, es recomendable tener sistemas de respaldo como generadores o paneles solares, ya que las interrupciones en la aireación pueden deteriorar rápidamente la calidad del agua y provocar mortalidades masivas dentro de los tanques de cultivo.

La incorporación de tecnologías como biofiltros o sistemas de recirculación híbrida (RAS) podría potenciar aún más la estabilidad del sistema, particularmente en cultivos, al optimizar la expulsión de sustancias tóxicas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, D., Rincón , D., & Poleo, G. (2014). Índices de rendimiento corporal en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas Biofloc. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692014000200003.
- Alfiansah, Y., Harder , J., James Slater, M., & Gärdes, A. (2022). La adición de melaza mejora la calidad del agua y del biofloc en el agua de estanques de

camarones.

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9128646/?utm_source=chatgpt.com.

Alzate, H. (2017). Efecto de la fuente proteica del alimento sobre la calidad de la carne de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en un sistema de tecnología biofloc.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59710/1035414970.2017.pdf?sequence=1>.

Amparo Venegas, A. O. (2019). Aplicación de la tecnología de biofloc (BFT) al cultivo de Totoaba macdonaldi.

https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2762/3/Tesis_Amparo_Venegas_Andre%CC%81s_30_ene_2019.pdf.

Ariza, F., & Mujica Rodríguez, E. (2019). *ecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: revisión*.

<https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382464002/html/>.

AUNAP. (Dirección regional Barranquilla Estación Acuicola bajo Magdalena).

Acuicultura y perspectivas de crecimiento. 2019: <https://acopi.org.co/wp-content/uploads/2019/12/9.-Cultivo-de-peces-con-tecnolog%C3%ADa-biofloc.pdf>.

Ayala, V. L. (2022). Nuevas tecnologías y uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola con énfasis en sistemas biofloc y sistemas de producción IPRS.

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/724dfca0-6b8e-425d-87bf-04c4536834fe/content>.

Balnova. (2016). Rol de los microorganismos en la Tecnología Biofloc (BFT). *Balanceados Nova S.A.*, <https://www.balnova.com/rol-de-los-microorganismos-en-la-tecnologia-biofloc-bft/#:~:text=Los%20microorganismos%20del%20biofloc%20tienen%20d os%20funciones%3A&text=La%20materia%20org%C3%A1nica%20particulada%20y,las%2024%20horas%20del%20d%C3%ADa>.

Barros, J. (2021). Práctica de identificación y conteo de microalgas. <https://bloque10.unimagdalena.edu.co/identificacion-y-conteo-de-microalgas/>.

Bello Sanchez, N., & Gonzalez Arias, G. (2018). Importancia del estudio de cerebro de cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, para la familia characidae. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/5b4341bb-20a1-4712-83b1-5e3b515baf43/content>.

Bioaquafloc. (2019). Ventajas y desventajas de la tecnología biofloc. <https://www.bioaquafloc.com/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnologia-biofloc/>.

Bioaquafloc. (2022). ¿Cómo se generan los bioflóculos del biofloc? <https://www.bioaquafloc.com/como-se-generan-los-biofluculos-del-biofloc/#:~:text=El%20eslab%C3%B3n%20clave%20en%20los,casi%20t odos%20los%20ambientes%20posibles>.

- Bolaño Argel, M. C., & Rodríguez Ensuncho, D. A. (2020). Formulación y evaluación de una dieta para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con base en materias primas vegetales y sus efectos zootécnicos y económicos. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/1bf703b7-6246-472b-aaa3-f16a84e9c620/content>.
- Cala, P. (2019). *Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia*. <https://repositorio.accefyn.org.co/bitstream/001/2384/1/Medio%20ambiente%20y%20diversidad%20de%20los%20peces%20de%20agua%20dulce%20-web-.pdf>.
- Cala-Delgado, D., Álvarez-Rubio, N., & Cueva-Quiroz, V. (2023). Effect of the aeration system on water quality parameters and productive performance of red tilapia (*Oreochromis* sp.) grown in a biofloc system. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/j3r8dRJTVL4vLSMfYNrBqNd/>.
- Cáliz, Á., & Blanco, M. (2020). Los desafíos de la transformación productiva en América Latina. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/16322.pdf>.
- Castillo, L. (2023). Fuentes de carbono en la tecnología biofloc: Uso de la cascara de papa para la producción de cachama blanca (*Piaractus orinoquensis*). <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/9a7a1ace-7182-445e-9086-beb52d736738/content>.

- Changwei, L., Zhang, X. Y., Chen, Y., Zhang, S., Dai, L., Zhu, W., & Chen, Y. (2023). Optimized Utilization of Organic Carbon in Aquaculture Biofloc Systems: A Review. <https://www.mdpi.com/2410-3888/8/9/465>.
- Collazos Lasso, L. F., Ueno Fukura, M., Jiménez Moreno, Y., Suárez Contenido, L., & Aya Baquero, E. (2023). Establecimiento de biofloc a tres relaciones carbono/nitrógeno, tendiente a la producción de zooplancton. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-29522022000300281.
- Coral, B. (2022). *Cultivo de postlarvas de paco Piractus brachypomus, Cuvier 1818. (Serrasalmidae), bajo tres densidades de siembra en un sistema de recirculación acuícola, banda de Shilcayo, San Martín*. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7888/Braian_Tesis_Titulo_2022.pdf?sequence=1.
- Cruz Velásquez, Y., Kijora, C., Vergara Hernández, W., & Schulz, C. (2014). On-farm evaluation of Cachama blanca and Nile tilapia fed fermented aquatic plants in a polyculture. <https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/386/992>.
- Falzon, A., & Chartre, B. (2024). *Piaractus brachypomus*. <https://www.fishipedia.es/pez/piaractus-brachypomus>.

- FAO. (2019). Nutrición y alimentación de los peces .
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s10.htm.
- Flores, Y. (2023). Efecto de la densidad de siembra sobre los parámetros productivos de alevines de paco (*Piaractus brachypomus*) en sistema biofloc.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/6492/flores-solis-yenka.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Gaitán Sánchez, J., Corpas Iguarán, E. J., & Restrepo Franco, G. M. (2023). Tecnología Biofloc: Perspectivas de Aplicación en Procesos de Producción Piscícola Sostenible. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492022000100165&script=sci_arttext.
- Gálvez Cantero, L., Julián Ricardo, M. C., & Ramos Sánchez, L. B. (2022). El biofloc en la acuicultura. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612022000200136&script=sci_arttext.
- Gavidia Valencia, J. G., Venegas Casanova, E. A., Ríos, M., & Uribe Villarreal, J. C. (2020). *Determinación del factor de conversión de nitrógeno a proteína en huevos de Coturnix coturnix L. (codorniz japonesa)*.
<https://www.redalyc.org/journal/559/55965387006/55965387006.pdf>.
- Gómez Canto, A. F. (2021). Uso de microorganismos eficientes con tecnología biofloc en la producción de tilapias.
<https://portal.amelica.org/ameli/journal/328/3283041002/html/>.

González , F. (2020). ¿Cuántos peces sembrar en mis estanques?
<https://www.pisciculturaglobal.com/cuantos-peces-sembrar-en-mis-estanques/>.

González, F. (2019). Principios de la Alimentación en la Acuicultura “Estrategias y Tablas de Alimentación”. <https://www.pisciculturaglobal.com/principios-de-la-alimentacion-en-la-acuicultura-estrategias-y-tablas-de-alimentacion/>.

Hernández Mancipe, L. E., Londoño Velez, J. I., Hernández García, K. A., & Torres Hernández, L. C. (2019). Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072019000100070#:~:text=E1%20Biofloc%20se%20define%20como,el%20agua%20del%20estanque%2026.

Hernández, L., Londoño, J., Hernández, K., & Torres, L. (2019). Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-96072019000100070&script=sci_arttext.

Hylary, Q. G. (2014). *Dilución Bacteriana*.
<https://microbiologia3bequipo5.blogspot.com/2014/10/dilucion-bacteriana.html>.

Klinger, J., & Burgos, A. (2019). El biofloc como alternativa sustentable en la piscicultura: una revisión. *REVIP: Revista Investigación Pecuaria*, <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/4537/5965>.

- Krummenauer, D., Gomes dos Reis, W., Cesar Abreu, P., Bezerra, A., Wasielesky, W., & advenimiento, b. (2021). Efecto de la aireación en el desarrollo de la comunidad microbiana en sistemas de tecnología biofloc de camarón. <https://www.globalseafood.org/advocate/effect-of-aeration-on-the-development-of-the-microbial-community-in-shrimp-biofloc-technology-systems/>.
- Lecaro Plaza, K. (2022). Relacion Carbono- Nitrogeno y su importancia en la produccion acuicola. <https://es.linkedin.com/pulse/relacion-carbono-nitrogeno-y-su-importancia-en-la-acuicola-lecaro>.
- Loqui Sánchez, A. J., Tumbaco Tigrero, C. K., Zambrano Alarcón, M. E., & Casignia Coox, D. A. (2022). Evaluación del crecimiento de “Piaractus brachypomus” en dos sistemas de producción complementando la alimentación con harina de soya, maíz hidropónica y su análisis sensorial. <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/768/1151>.
- Lugo De Ossa, C., Gómez Vanegas, N., & Peñuela Vásquez, M. (2022). *Evaluación de la relación Carbono Nitrógeno y Carbono Fósforo para mejorar la producción de biomasa y ácidos grasos en Chlorella sorokiniana*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v32n1/0188-8897-hbio-32-01-25.pdf>.
- Lujan, M. (2023). Uso Optimizando del carbon orgánico en los sistemas biofloc. https://aquahoy.com/uso-optimizado-carbono-organico-los-sistemas-biofloc/#Optimizacion_de_la_estrategia_de_adicion_de_carbono.

MAGAP. (2015). Lista de especies aptas para maricultura. [file:///C:/Users/xavim/Downloads/Lista-de-especies-aptas-para-maricultura%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/xavim/Downloads/Lista-de-especies-aptas-para-maricultura%20(1).pdf).

Martínez Castillo, S. L., Quintero Pinto, L. G., & Peña Osorio, L. J. (2018). Evaluación del desempeño zootécnico de alevinos de *Piaractus brachypomus* alimentados con dietas que aporten diferentes niveles de energía. <https://www.redalyc.org/journal/896/89660465007/html/>.

Mettler Toledo. (2023). Flocculación. https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/flocculation.html#overviewaf.

Obón, d. C. (2021). Análisis microbiológico del agua. https://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf.

Pérez Fuentes, J. A., Pérez Rostro , C. I., Hernández Vergara, M. P., & Monroy Dosta, M. d. (2018). Variación de la composición bacteriana del biofloc y del intestino de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*, cultivada mediante tecnología biofloc, suministrada a diferentes raciones de alimento. <file:///C:/Users/xavim/Downloads/Perez-Fuentesetal2018.pdf>.

Pérez Fuentes, J. A., Pérez Rostro, C. I., Hernández Vergara, M. P., & Monroy Dosta, M. (2018). Variación de la composición bacteriana del biofloc y laintestino de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* , cultivada utilizandoTecnología biofloc, suministra diferentes raciones de alimento. https://www.researchgate.net/publication/327656197_Variation_of_the_ba

cterial_composition_of_biofloc_and_the_intestine_of_Nile_tilapia_Oreochromis_niloticus_cultivated_using_biofloc_technology_supplied_different_feed_rations.

Pernia, W. (2021). Biofloc: qué es, para qué sirve y cómo se produce. *Agrotendencia tv*, <https://agrotendencia.tv/agropedia/acuicultura/bio-floc-sistema-o-tecnologia-biofloc-y-bio-floc-en-acuicultura/>.

Porras Vargas, J. L., Muñoz Ramírez, A. P., Rodríguez Molano, C. E., Pulido Suárez, N. J., Niño Monroy, K. T., Arias, D. A., . . . Monroy Ramírez, T. A. (2022). Fortalecimiento de la cadena acuícola en la provincia de Lengupá departamento de Boyacá“, mediante el desarrollo de sistemas alimentarios sostenibles para cachama y tilapia, basados en recursos agrícolas y pecuarios de la Provincia de Lengupá, Boyacá. 22-31.

Reshmi , D., Khogen Singh, S., Gon Choudhury ,, T., Ngasotter, S., Pradyut , B., Bhargavi , P., . . . Bhai Patel , A. (2024). Caracterización de *Enterobacter cloacae* CAUCoF_BF_01: una cepa nitrificante heterotrófica autóctona de estanques de cultivo para aplicaciones de biofloc. https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-024-06277-3?utm_source=chatgpt.com.

Rice, E., Eaton, A., & Baird, R. (2017). Métodos Estándar para El Análisis de Agua y Aguas Residuales. <https://es.scribd.com/document/333277383/Metodos-Estandar-Para-El-Analisis-de-Agua-y-Aguas-Residuales>.

RoadtoBiofloc. (2020). ¿Qué es la relación carbono-nitrógeno, es decir, la relación CN en BIOFloc? <https://roadtobiofloc.com/what-is-cn-ratio-in-biofloc-technology/>.

Robles, M., Almeida, A., & Ortega, N. (2016). El cultivo de peces nativos para fortalecer los medios de vida de las comunidades indígenas amazónicas. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/photos/t/n/TNC_PISCI_CULTURA_MAQUETA.pdf.

Tasleem, S., Alotaibi, B., Masud, S., Sikandar Habib, S., Acar, Ü., Cecchini Gualandi, S., . . . Khayyam, K. (2024). El sistema Biofloc con diferentes fuentes de carbono mejoró el crecimiento, la hematología, la inmunidad no específica y la resistividad contra *Aeromonas hydrophila* en la carpa común, *Cyprinus carpio*. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2024/7652354?utm_source=chatgpt.com.

The Nature Conservancy. (2020). Cultivo de peces como alternativa de producción sostenible en los ríos de la Amazonia ecuatoriana. <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/ecuador/historias-en-ecuador/paiche-cachama-comunidades-indigenas-amazonia-ecuatoriana/>.

Thelen, N. (2021). *Piaractus brachypomus*. <https://www.fishipedia.es/pez/piaractus-brachypomus>.

11.ANEXOS

Anexo 1. Tabla de registro diario durante el proceso de maduración del sistema

29 NitritoT2

Visible: 30 de 30 variables

	tempT1	tempT2	tempC	SaliniT1	SaliniT2	SaliniC	pHT1	pHT2	pHC	TranspT1	TranspT2	TranspC	AmoniT1	AmoniT2	AmoniC	NitritoT1	NitritoT2	NitritoC	NitratoT1	NitratoT2	NitratoC	FosfoT1	FosfoT2	FosfoC
1	22,00	22,00	22,00	,00	,00	,00	6,00	6,00	6,00	100,00	100,00	100,00	1,00	1,00	,00	,00	,00	,00	10,00	10,00	10,00	,00	,00	,00
2	22,00	22,00	22,00	,00	,00	,00	6,00	6,00	6,00	100,00	100,00	100,00	1,00	1,00	,00	,00	,00	,00	10,00	10,00	10,00	,00	,00	,00
3	23,00	23,00	22,00	,00	,00	,00	6,00	6,00	6,50	100,00	90,00	100,00	1,50	1,00	,00	,00	,00	,00	12,00	12,00	12,00	,00	,00	,00
4	21,00	21,00	21,00	1,00	2,00	,00	7,00	7,00	7,00	90,00	90,00	90,00	,50	1,00	,00	,10	,24	,24	12,00	12,00	12,00	,00	,00	1,00
5	23,00	23,00	22,00	1,00	2,00	,00	7,00	7,00	6,50	90,00	90,00	90,00	,50	1,00	,00	,10	,24	,24	11,00	11,00	30,00	,00	,00	1,00
6	22,00	22,00	22,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	7,00	65,00	60,00	90,00	,50	1,00	,00	,11	,24	,24	15,00	15,00	30,00	,30	,20	1,00
7	24,00	24,00	24,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	7,00	60,00	60,00	90,00	1,00	1,00	,00	,11	,24	,24	15,00	15,00	30,00	,50	,20	2,00
8	24,00	24,00	24,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	7,00	60,00	60,00	90,00	1,00	1,00	,00	,10	,24	,24	10,00	10,00	30,00	,50	,20	1,50
9	23,00	23,00	23,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	7,00	50,00	45,00	90,00	,50	,50	,00	,10	,24	,00	15,00	15,00	30,00	,50	,20	1,50
10	25,00	25,00	25,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	7,00	50,00	45,00	90,00	,50	,50	,00	,10	,24	,00	14,00	14,00	30,00	,50	,20	1,50
11	26,00	26,00	26,00	3,00	3,00	,00	7,00	8,00	7,00	50,00	45,00	90,00	,50	,50	,00	,12	,15	,00	13,00	13,00	30,00	,50	,20	1,50
12	27,00	27,00	27,00	3,00	4,00	1,00	7,00	8,00	6,50	50,00	45,00	90,00	,50	,50	,00	,12	,20	,00	25,00	25,00	25,00	,50	,20	1,50
13	26,00	26,00	26,00	3,00	4,00	1,00	7,00	8,00	6,50	40,00	40,00	90,00	,50	,50	,00	,12	,20	,00	25,00	25,00	25,00	,50	,50	1,50
14	26,00	26,00	26,00	3,00	4,00	2,00	8,00	8,00	6,50	35,00	35,00	90,00	,50	,50	,00	,12	,20	,00	30,00	25,00	35,00	,50	,50	1,50
15	27,00	27,00	27,00	3,00	4,00	2,00	7,00	7,00	6,50	35,00	35,00	85,00	,50	,50	,00	,12	,20	,00	30,00	25,00	35,00	,50	,50	1,50
16	27,00	27,00	26,00	3,00	3,00	,00	7,00	7,00	6,50	35,00	35,00	85,00	,50	1,00	,50	,12	,20	,00	30,00	25,00	35,00	1,50	,50	1,50
17	27,00	26,00	26,00	3,00	3,00	,00	7,00	7,00	6,50	35,00	30,00	85,00	,50	1,00	,50	,12	,20	,00	30,00	25,00	35,00	1,50	1,00	2,00
18	27,00	26,00	27,00	3,00	3,00	,00	7,00	7,00	6,50	35,00	30,00	85,00	,50	1,00	,50	,12	,20	,00	21,00	15,00	35,00	1,50	1,00	2,00
19	26,00	26,00	26,00	3,00	3,00	1,00	7,00	7,00	6,50	35,00	30,00	85,00	,50	,50	,00	,12	,25	,00	18,00	15,00	35,00	1,50	1,00	2,50
20	26,00	26,00	26,00	3,00	3,00	1,00	8,00	8,00	6,50	35,00	30,00	85,00	,50	,50	,00	,12	,25	,00	18,00	15,00	35,00	1,50	1,30	2,50
21	27,00	27,00	27,00	3,00	3,00	1,00	8,00	8,00	6,50	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,00	15,00	15,00	40,00	1,50	1,30	2,50
22	26,00	26,00	26,00	3,00	3,00	1,00	8,00	8,00	6,50	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,00	15,00	12,00	35,00	1,50	1,30	2,50
23	27,00	27,00	27,00	3,00	4,00	1,00	8,00	8,00	6,50	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,00	15,00	12,00	35,00	1,50	1,30	3,00
24	27,00	27,00	27,00	3,00	3,00	1,00	8,00	8,00	7,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,50	15,00	12,00	35,00	2,00	1,30	3,00
25	26,00	26,00	26,00	4,00	4,00	1,00	8,00	8,00	7,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,50	15,00	12,00	35,00	1,50	1,10	3,10
26	27,00	27,00	27,00	4,00	4,00	2,00	8,00	8,00	7,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,50	15,00	12,00	35,00	1,50	1,10	3,10
27	27,00	27,00	27,00	4,00	4,00	1,00	8,00	8,00	7,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,50	15,00	12,00	35,00	1,50	1,10	3,10
28	27,00	27,00	27,00	3,00	3,00	1,00	8,00	8,00	7,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,10	,25	,50	15,00	12,00	35,00	1,50	1,10	3,10

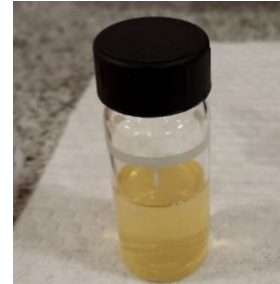
Vista de datos

Nota. Los datos fueron guardados en el programa IBM SPSS Statistics, para poderlos tabular.

Anexo 2. Datos tabulados

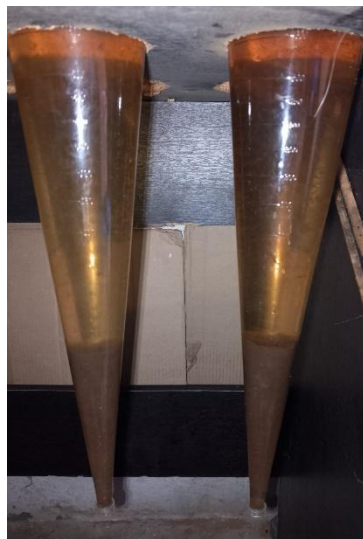
		Estadísticos																					
		tempT1	tempT2	tempC	SaliniT1	SaliniT2	SaliniC	pHT1	pHT2	pHC	TranspT1	TranspT2	TranspC	AmoniT1	AmoniT2	AmoniC	NitritoT1	NitritoT2					
N	Válido	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	25,2857	25,2143	25,1429	2,6429	2,8929	,7857	7,2500	7,3571	6,6786	46,7857	44,8214	87,1429	,6071	,6964	,2321	,0971	,2044					
	Mediana	26,0000	26,0000	26,0000	3,0000	3,0000	1,0000	7,0000	7,0000	6,5000	35,0000	35,0000	87,5000	,5000	,5000	,0000	,1000	,2390					
	Desv. estándar	1,97872	1,93136	2,03150	1,12922	1,16553	,62994	,64550	,67847	,31074	27,01900	26,54424	6,15067	,24934	,24867	,25394	,03547	,07640					
	Rango	6,00	6,00	6,00	4,00	4,00	2,00	2,00	2,00	1,00	80,00	80,00	20,00	1,00	,50	,50	,12	,25					
	Mínimo	21,00	21,00	21,00	,00	,00	,00	6,00	6,00	6,00	20,00	20,00	80,00	,50	,50	,00	,00	,00					
	Máximo	27,00	27,00	27,00	4,00	4,00	2,00	8,00	8,00	7,00	100,00	100,00	100,00	1,50	1,00	,50	,12	,25					

Anexo 3. Toma de parámetros del agua en el espectrofotómetro de la marca Hanna instruments



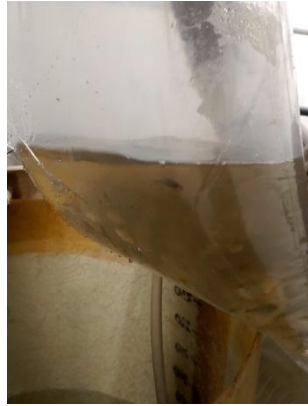
Nota. Los datos de nitrito fueron tomados en ug/L y luego transformados a mg/L

Anexo 4. Muestras de agua de los Tratamientos en conos sedimentadores

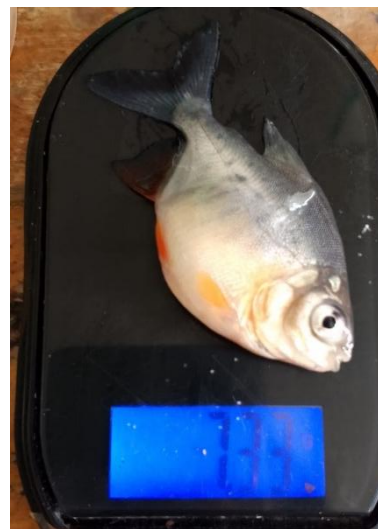


Nota. Se recolectaron muestras de agua en conos sedimentadores de los 2 Tratamientos

Anexo 5. Aclimatación de los peces



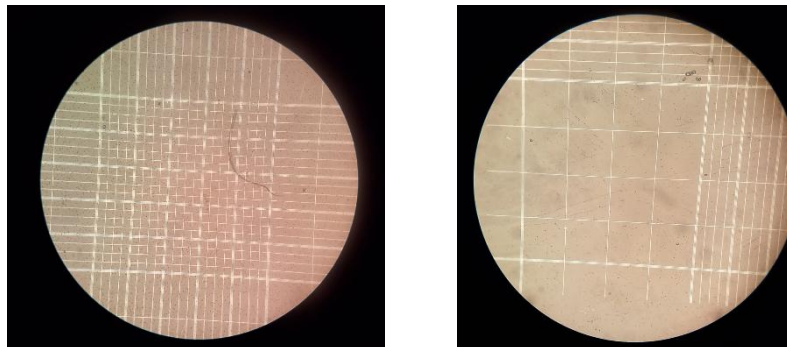
Anexo 6. Toma de datos de los peces



Anexo 7. Dilución y sembrado



Anexo 8. Conteo de microalgas



Anexo 9. *Recuento microbiano del sistema durante el proceso de maduración*

Fecha	(UFC/mL)	(UFC/mL)	(UFC/mL)
	T1	T2	C
25/8/24	3.5×10^5	1.2×10^6	2.5×10^4
1/9/24	4.5×10^4	2.6×10^5	4.1×10^5
8/9/24	5.03×10^4	7.1×10^4	5.2×10^3
15/9/24	5.1×10^4	6.9×10^4	6.1×10^3

Anexo 10. *Recuento diario de microalgas presentes en el sistema durante la maduración del sistema*

Día	Células/mL	Células/mL	Células/mL
	T1	T2	C
1	2.61×10^5	2.70×10^6	2.11×10^6
2	2.79×10^5	2.69×10^6	2.39×10^6
3	2.79×10^6	2.70×10^6	2.23×10^6
4	2.59×10^6	2.70×10^6	2.33×10^6
5	2.83×10^6	2.38×10^6	2.45×10^6
6	2.42×10^4	2.43×10^6	2.74×10^6
7	2.48×10^6	2.40×10^6	2.33×10^6
8	2.47×10^6	2.57×10^6	2.67×10^6
9	2.11×10^6	2.50×10^6	1.98×10^6
10	1.07×10^6	1.77×10^5	2.01×10^6
11	1.27×10^6	2.57×10^5	2.09×10^6
12	2.17×10^5	2.23×10^4	2.45×10^6
13	2.32×10^4	2.21×10^4	1.87×10^5

14	2.01×10^4	2.73×10^4	1.99×10^5
15	2.11×10^4	2.81×10^4	2.01×10^5
16	2.34×10^4	2.73×10^4	2.18×10^5
17	2.57×10^4	1.78×10^5	2.68×10^5
18	2.28×10^4	2.05×10^5	2.31×10^5
19	2.89×10^5	2.92×10^5	2.56×10^5
20	2.70×10^5	2.84×10^5	1.91×10^6
21	2.33×10^5	1.87×10^6	2.03×10^6
22	2.09×10^5	2.74×10^5	2.34×10^5
23	2.23×10^5	2.34×10^6	2.23×10^6
24	2.10×10^5	2.19×10^6	2.01×10^6
25	1.99×10^6	2.98×10^5	2.38×10^6
26	2.02×10^5	2.99×10^5	2.09×10^6
27	2.65×10^6	2.13×10^5	2.41×10^6
28	2.73×10^6	2.07×10^6	2.51×10^6

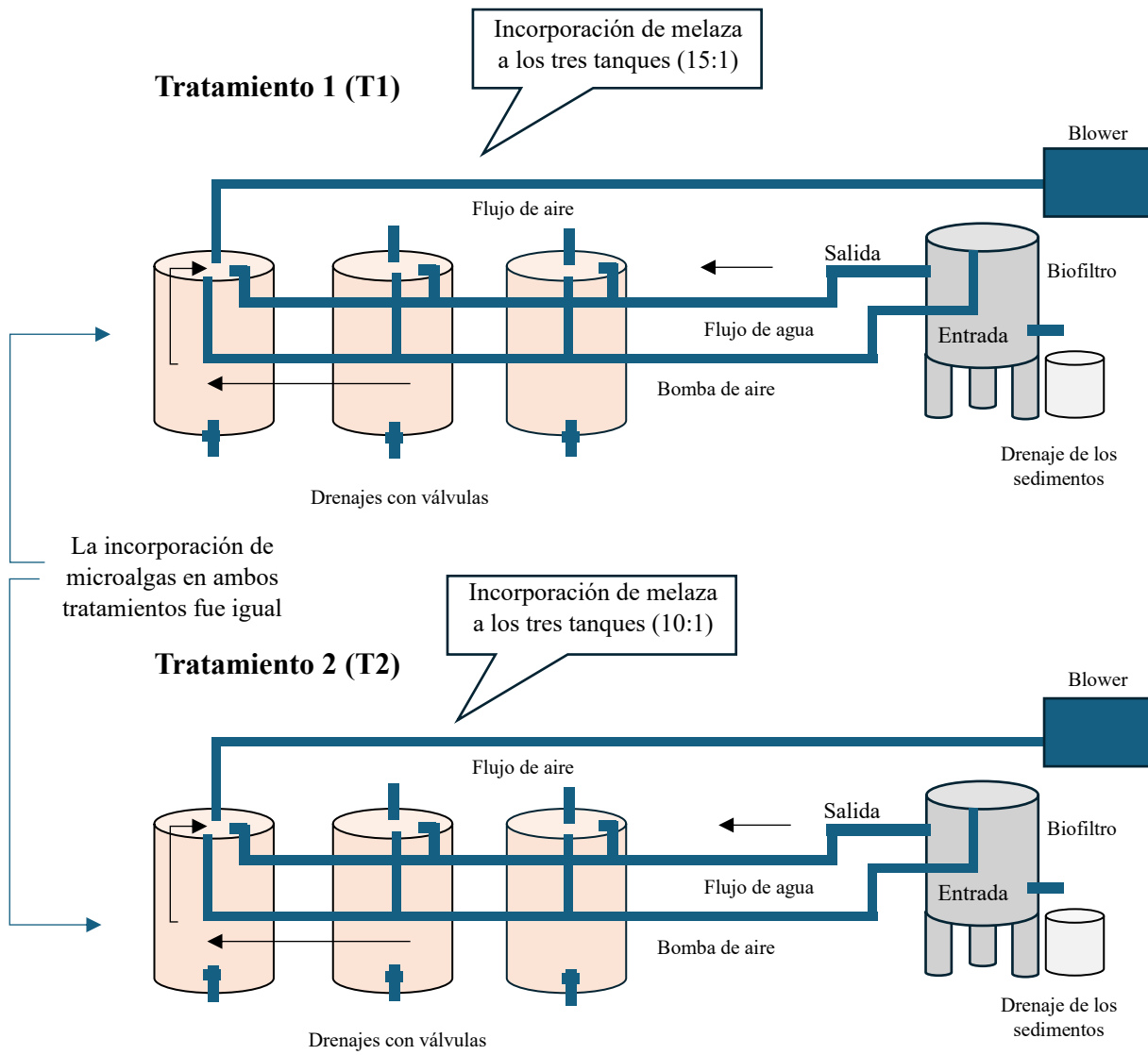
Anexo 11. *Índice de los parámetros fisicoquímicos (media \pm desviación estándar) de los tanques con las diferentes relaciones durante el proceso de maduración del agua*

Parámetro	Tratamiento 1 (10:1)	Tratamiento 2 (15:1)	Control -
Temperatura (°C)	$25,285 \pm 1,978$	$25,214 \pm 1,931$	$25,142 \pm 2,031$
Salinidad (ppt)	$2,642 \pm 1,129$	$2,892 \pm 1,165$	$0,785 \pm 0,629$
pH	$7,250 \pm 0,645$	$7,357 \pm 0,678$	$6,678 \pm 0,310$
Transparencia (cm)	$46,785 \pm 27,019$	$44,821 \pm 26,544$	$87,142 \pm 6,150$
Amoníaco (mg/L)	$0,607 \pm 0,249$	$0,696 \pm 0,248$	$0,232 \pm 0,532$

Nitrito (mg/L)	$0,097 \pm 0,035$	$0,204 \pm 0,764$	$0,132 \pm 0,197$
Nitrato (mg/L)	$17,285 \pm 6,445$	$15,392 \pm 5,346$	$29,785 \pm 8,491$
Fosfato (mg/L)	$0,886 \pm 0,649$	$0,618 \pm 0,504$	$1,818 \pm 0,946$
Alcalinidad (ppm)	$133,928 \pm 41,474$	$155,536 \pm 37,409$	$99,036 \pm 28,322$
Oxígeno disuelto (mg/L)	$4,968 \pm 0,525$	$4,889 \pm 0,561$	$6,554 \pm 0,656$

Anexo 12. *Infraestructura y metodología del sistema*





Nota. Cada Tratamiento estuvo previsto de un sistema de recirculación para evitar que el agua se mezcle entre sí.