

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LOS
PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE ALEVINES DE PACO
(*Piaractus brachypomus*) EN SISTEMA BIOFLOC”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

YENKA FLORES SOLIS

LIMA – PERÚ













2023

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamentación de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	TESIS BORRADOR VF 24.05 .docx (D168598837)
Submitted	2023-05-26 17:24:00
Submitted by	jessie marina vargas cárdenas
Submitter email	jesvargas@lamolina.edu.pe
Similarity	16%
Analysis address	jesvargas.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Proyecto de tesis Daniel 22.docx Document Proyecto de tesis Daniel 22.docx (D128213852)		3
W	URL: https://agrotendencia.tv/agropedia/bio-floc-sistema-o-tecnologia-biofloc-y-bio-floc-en-acuicultura/ Fetched: 2022-03-05 01:27:53		5
SA	Tesis_alevines_vc_biofloc_molina.docx Document Tesis_alevines_vc_biofloc_molina.docx (D43763211)		3
W	URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-29522017000100005 Fetched: 2021-11-01 09:53:56		15
SA	Crecimiento de chame (Dormitator latifrons R.) bajo tres densidades de siembra, con tecnología biofloc.docx Document Crecimiento de chame (Dormitator latifrons R.) bajo tres densidades de siembra, con tecnología biofloc.docx (D43300635)		3
W	URL: https://www.redalyc.org/service/r2020/downloadPdf/896/89640816007/6 Fetched: 2020-01-14 21:20:56		5
SA	PROYECTO DE CACHAMA.docx Document PROYECTO DE CACHAMA.docx (D25581151)		1
SA	Tesis David Ulloa W (Junio 2021) Final 23.06.21.pdf Document Tesis David Ulloa W (Junio 2021) Final 23.06.21.pdf (D150816274)		5
SA	TESIS-1urkund.docx Document TESIS-1urkund.docx (D23345725)		3
W	URL: https://blog.utp.edu.co/balances/files/2015/02/LIBRO-BME2015-1.pdf Fetched: 2020-08-01 08:20:13		1
SA	Tesis Doctorado Eulalia Ibarra Mayorga 25092019-1.doc Document Tesis Doctorado Eulalia Ibarra Mayorga 25092019-1.doc (D142588908)		3
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TRABAJO ENCARGADO - HIPOLITO JULIO.docx Document TRABAJO ENCARGADO - HIPOLITO JULIO.docx (D133784359) Submitted by: 20151396@lamolina.edu.pe Receiver: mcastillo.unalm@analysis.arkund.com		1

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

TÍTULO DE TESIS

**“EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LOS PARÁMETROS
PRODUCTIVOS DE ALEVINES DE PACO (*Piaractus brachypomus*) EN
SISTEMA BIOFLOC”**

Presentado por:

YENKA FLORES SOLIS

Tesis para optar el título de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

M. Sc. Fernando Santiago Galecio Regalado
Presidente

Dr. Wilfredo Lorenzo Vásquez Quispesivana
Miembro

Mg. Sc. Elsa Victoria Vega Galarza
Miembro

Dra. Jessie Marina Vargas Cárdenas
Asesora

Mg. Sc. César Enrique Álvarez Sánchez
Co-Asesor

Lima-Perú 2023

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por mantenerse siempre firmes y solidarios a pesar de la adversidad, brindándome la fuerza y fortaleza para seguir siempre adelante.

AGRADECIMIENTO

A mi asesora la Dra. Jessie Marina Vargas Cárdenas, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la presente tesis.

A mi Co-asesor Mg. Sc. César Enrique Álvarez Sánchez, por compartir su conocimiento y guiarme en todas las etapas del desarrollo de esta investigación.

A Mark Trujillo Yabar, por acogerme en sus instalaciones y brindarme su apoyo durante la ejecución de la experimentación.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos generales de <i>Piaractus brachypomus</i>	3
2.1. Descripción taxonómica de la especie en estudio	3
2.1.1. Aspectos biológicos de la especie en estudio	3
2.1.2. Etapas de desarrollo	5
2.1.3. Hábitos alimenticios en la etapa de alevinaje.....	6
2.1.4. Hábitos alimenticios de la especie <i>P. brachypomu</i> en sistema biofloc	7
2.2. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de <i>P. brachypomus</i>	7
2.3. El sistema biofloc (BFT).....	8
a) Calidad nutricional del biofloc	9
b) Calidad de agua en sistemas biofloc	11
2.4. Adición de carbono orgánico al BFT	13
2.5. Densidad de siembra de <i>P. brachypomus</i> bajo diferentes sistemas de cultivo.	15
III. METODOLOGÍA	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
V. CONCLUSIONES	55
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	57
VIII. ANEXOS.....	66

INDICE DE TABLAS

	pg.
Tabla 1: Fases de crecimiento de la especie <i>P. brachypomus</i>	6
Tabla 2: Requerimientos de calidad de agua para el cultivo de <i>P. brachypomus</i>	8
Tabla 3: Composición químico-proximal en base a la materia seca de agregados microbianos (Biofloc). (Azim y Little, 2008)	11
Tabla 4: Fuentes de Carbono aplicadas en los sistemas biofloc (BFT)	13
Tabla 5: Relación de C: N aplicando diferentes fuentes de carbono con diferentes especies de cultivo	14
Tabla 6: Parámetros de calidad de agua del biorreactor.....	19
Tabla 7: Parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua.....	24
Tabla 8: Formulas de los parámetros productivos del cultivo de paco (<i>P. brachypomus</i>)	28
Tabla 9: Parámetros de la calidad de agua en cultivo con paco (<i>P. brachypomus</i>) en el periodo experimental	30
Tabla 10: Periodo de friaje y temperaturas reportados durante la etapa experimental	36
Tabla 11: Valores de los parámetros productivos de alevines de <i>P. brachypomus</i> , durante la fase experimental en el sistema biofloc (BFT)	45

INDICE DE FIGURAS

	pg.
Figura 1. Vista morfológica de Paco (<i>P. brachypomus</i>)	5
Figura 2. Esquema de un sistema biofloc, Avnimelech (2009).....	12
Figura 3: Esquema del diseño experimental	22
Figura 4. Variación del oxígeno disuelto mg. L ⁻¹ y temperatura (°C) durante el periodo experimental bajo dos densidades de cultivo	32
Figura 5. Variación del porcentaje de saturación de oxígeno durante el periodo experimental para ambos tratamientos, promedio de los 03 horarios.....	35
Figura 6. Variación de la temperatura durante el periodo experimental, toma de parámetros tres veces al día.	38
Figura 7. Variación del potencial de hidrógeno (pH) durante el periodo experimental, promedio tomado en 3 horarios.	39
Figura 9. Variaciones de la producción de Floc (ml.L ⁻¹) durante el periodo de experimentación para ambos tratamientos.	44
Figura 10. Gráficos de barras y cajas del incremento de peso durante el periodo experimental	47
Figura 11. Análisis de componentes principales Tratamiento 1 (43 alevines <i>m</i> – 3) ..	53
Figura 12. Análisis de componentes principales Tratamiento 2 (72 alevines <i>m</i> – 3)...	54

INDICE DE ANEXOS

	pg.
Anexo 1: Calculo de la adición de la fuente de carbono	66
Anexo 2: Recubrimiento del Área del módulo de cultivo biofloc	67
Anexo 3: Distribución de las mangueras difusoras o planos	68
Anexo 4: Sistema de tuberías de desagüe central	68
Anexo 5: Información nutricional NUTRAK 40 %	69
Anexo 6: Formato de toma de datos de los parámetros de calidad de agua	69
Anexo 7: Adaptación de alevines de <i>P. brachypomus</i> para la siembra	700
Anexo 8: Volumen de Floc al inicio de la experimentación.....	71
Anexo 9: Vista de zooplancton y fitoplancton en la composición del floc, objetivo 10X.	72
Anexo 10: Análisis estadístico de la investigación	73
Anexo 11: Matriz de correlación entre los parámetros de calidad de agua para el tratamiento 1 y 2	75

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la mejor densidad de siembra de alevines de la especie *P. brachypomus* cultivados en un sistema biofloc. Como etapa previa a la investigación, se realizó el proceso de maduración de aguas en un bioreactor de volumen de 35 m³, por un periodo de 30 días. El cultivo biofloc establecido fue de naturaleza heterotrófica manteniendo una relación de C: N de 15:1; el sistema fue controlado mediante la adición de bicarbonato de calcio y azúcar rubia, como fuente de alcalinidad y carbono orgánico respectivamente, con una frecuencia de 7 días. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con dos (02) tratamientos; tratamiento 1 (T1) y tratamiento 2 (T2), correspondiente a las densidades de cultivo de 43 y 72 alevines de paco. m⁻³ respectivamente, cada uno con 3 repeticiones. Posterior a ello, se evaluaron los parámetros productivos de la especie como: la tasa específica de crecimiento, factor de condición, ganancia de peso, supervivencia y los parámetros fisicoquímicos del agua, estos parámetros se midieron con una frecuencia de tres (03) veces al día y respecto a los compuestos nitrogenados se midieron dos (02) veces por semana, durante la etapa de investigación. Los pesos finales obtenidos fueron de 87.7 ± 27.4^a y para T1 y 81.19 ± 20.6^b gramos para T1 y T2 respectivamente sin diferencias en la supervivencia. Demostrando que es factible el cultivo de alevinos de *P. brachypomus* a densidades mayores a 72 alevines.m⁻³. El análisis de componentes principales presentó una correlación significativa del oxígeno y la temperatura, los sólidos sedimentables y el porcentaje de saturación para cada tratamiento. Por lo tanto, se concluye que es posible desarrollar el cultivo de alevines de *P. brachypomus* a densidades mayores de 72 alevines.m⁻³, bajo el sistema BFT.

Palabras clave: Biofloc, acuicultura, alevines, *Piaractus brachypomus*.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the best seeding density of *P. brachypomus* fry reared in a biofloc system. As a previous stage to the research, the water maturation process was carried out in a bioreactor with a volume of 35 m³, for a period of 30 days. The biofloc culture established was of a heterotrophic nature maintaining a C: N ratio of 15:1; the system was controlled by the addition of calcium bicarbonate and brown sugar, as a source of alkalinity and organic carbon respectively, with a frequency of 7 days. A completely randomized design (CRD) was used, with two (02) treatments; treatment 1 (T1) and treatment 2 (T2), corresponding to culture densities of 43 and 72 paco.m⁻³ respectively, each with 3 replicates. Subsequently, the zootechnical parameters of the species were evaluated such as: specific growth rate, condition factor, weight gain, survival and physicochemical parameters of the water, these parameters were measured three (03) times a day and nitrogen compounds were measured two (02) times a week during the research stage. The final weights were 87.7 ± 27.4^a and for T1 and y 81.19 ± 20.6^b for T1 and T2, without statistical differences in survival. Demonstrating that it is feasible to culture *P. brachypomus* fry at densities higher than 72 alevines. m⁻³. Principal component analysis showed a significant correlation of oxygen among to temperature, settleable solids and percent saturation for each treatment. In conclusion that it is possible to reared fry *P. brachypomus* at densities higher than 72 alevines. m⁻³, under the BFT system.

Key words: Biofloc, aquaculture, fry, *Piaractus brachypomus*.

I. INTRODUCCIÓN

La amazonia peruana posee una extensión de 782,8800.55 km² y representa un 60, 91% del territorio peruano (Lujan, 2010), con un potencial natural muy elevado para el desarrollo de la acuicultura, principalmente por la abundancia de agua dulce y las extensas áreas disponibles. La región de Madre de Dios tiene como principal recurso hidrobiológico proveído por la actividad acuícola a la especie *P. brachypomus*, reportando en el año 2021 una cosecha de 421.80 toneladas anuales y para el año 2022 tuvo un notable aumento a 569.4 toneladas anuales (PRODUCE, 2022). Sin embargo, la actividad acuícola en la región de Madre de Dios presenta limitantes que obligan al sector a adoptar nuevas tecnologías para la actividad acuícola (PRA, 2018).

Dentro de los puntos críticos de la actividad acuícola en la región de Madre de Dios se encuentra la obtención de semilla de la especie. Actualmente la región tiene una elevada tasa de mortalidad en la etapa de pre-cría o alevinaje que va en un rango del 50 al 60 % originando un desabastecimiento de alevines en toda la región (PRA, 2018), sumado a ello la escasez de agua de buena calidad para estas fases es un factor indirecto para el óptimo desarrollo del cultivo. Ante la situación planteada, es necesario experimentar nuevas tecnologías en la etapa de alevinaje que permitan intensificar el cultivo de *P. brachypomus* bajo sistemas como el biofloc (BFT), el cual presenta aportes beneficiosos en términos de calidad nutricional y calidad de agua (Ogello, 2021). Esto debido al principio del BFT como es la reutilización de los residuos en su conversión a alimento natural dentro del sistema de cultivo (Haridas, 2017). Es decir, el uso del exceso de nitrógeno, como el amonio y nitrito, para la formación de un sistema microbiano que serviría como fuente de nutrientes esenciales.

Por otro lado, el sistema biofloc permite incrementar las densidades de cultivo e incrementar la biomasa en menor volumen de agua haciendo uso de mínimos recambios de agua y del aprovechamiento de espacio, reduciendo la producción de patógenos (Crab et al., 2012; Hargreaves, 2013).

El aumento de densidades de cultivo bajo la adopción de nuevas tecnologías como el BFT, ha tenido alcance en países como Colombia, Venezuela, Brasil (Abad, 2014; Chaverra, 2016 y Emereciano, 2012) los cuales muestran resultados exitosos en cultivos de *P. brachypomus* y *C. macropomum*; países que comparten condiciones climáticas muy similares a la selva peruana (Zarate, 2008).

La adopción de esta tecnología biofloc podría ser la alternativa del cultivo de alevines de la especie *P. brachypomus* en altas densidades, por ejemplo: Poleo et al., (2011), aumentó sus densidades de cultivo de *P. brachypomus* de 28.83 alevines.m³ (Benavides y López, 2012) a 300.3 alevines.m⁻³ en sistema BFT

Por lo anterior mencionado, el objetivo general de esta investigación fue evaluar dos densidades de cultivo durante el periodo de alevinaje del *P. brachypomus*, mediante los parámetros productivos en unos sistemas biofloc (BFT) y como objetivos específicos fue determinar la mejor densidad de siembra entre 43 y 72 alevines de paco.m⁻³ en sistema biofloc, evaluar el comportamiento productivo de los alevines de *P. brachypomus* en sistema biofloc bajo dos densidades de siembra y correlacionar la calidad de agua con las densidades de siembra de alevines de *P. brachypomus* en sistema biofloc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales de *Piaractus brachypomus*

2.1. Descripción taxonómica de la especie en estudio

Landines y Mojica (2005), indican que el *P. brachypomus* presenta cuerpo romboidal comprimido lateralmente y su profundidad varía entre el 47 y 67 %. En la etapa de adultez poseen una mancha oscura en la mitad del opérculo y en juveniles tienen tonalidades de rojo intenso en la parte anterior del abdomen y aleta anal y caudal. En estadios pequeños de larvas y a medida que van creciendo desarrollan un ocelo en el eje medio del cuerpo el cual desaparece en la etapa adulta. La ubicación taxonómica de *P. brachypomus* está definida de la siguiente manera (Díaz López, 1993).

Phylum	: Chordata
Sub- Phylum	: Vertebrata
Clase	: Peces
Subclase	: Gnathostomata
Orden	: Characiformes
Familia	: Characidae
Sub-familia	: Serrasalminae
Género	: <i>Piaractus</i>
Especie	: <i>Piaractus brachypomus</i> (Cuvier,1818).

2.1.1. Aspectos biológicos de la especie en estudio

P. brachypomus, es llamado comúnmente en Perú “Paco” (Figura 1), en Colombia “Cachama blanca”, en Venezuela “Morocoto”, en Bolivia “Tambaquí” en Brasil “Pirapitinga”. Se ha reportado la introducción de poblaciones de *P. brachypomus* en

muchas regiones del mundo como Vancouver, Columbia Británica (Hanke et al., 2006). Esta especie es omnívora y se encuentra ampliamente distribuida en la cuenca de los ríos Orinoco y el Amazonas, específicamente en las llanuras aluviales de afluentes ricos en nutrientes.

Por otro lado, esta especie a medida que desarrolla su maduración se encuentra moviéndose hacia las vías fluviales, encontrándose en los principales tributarios de los ríos y en las cabeceras de estos, alcanzando su óptimo desarrollo a temperaturas entre los 28 a 31°C y pH de 6.8 (Chaverra et al., 2017). La especie posee hábitos diurnos y vive asociada a áreas cubiertas por la gran cantidad de vegetación de la ribera. Especie común en el cauce principal de ríos como en esteros, lagunas y caños del plano inundable, adaptándose a ambientes pobres en oxígeno mediante la modificación de los labios para permitir el intercambio de gases en la capa superficial del cuerpo de agua (Landines y Mojica, 2005). Esta especie es considerada un pez nadador de nivel medio y se encuentra a profundidades de hasta 8 metros (Hanke et al., 2006).

Especie nativa de cultivo más importante para el desarrollo económico de las pequeñas empresas o de subsistencia en la Amazonia Peruana. Es una especie rústica, dócil y resistente a enfermedades, posee buena calidad de carne y buena conversión alimenticia adaptándose fácilmente al consumo de alimento comercial. Tradicionalmente el cultivo de *P. brachypomus* se cultiva de manera extensiva y semi intensiva (Meza, 2007), reportándose cultivos en jaulas (Granado, 2000) y en sistemas intensivos con biofloc (Benavides y López, 2012).

P. brachypomus comparte el nicho ecológico con la especie *Colossoma macropomum*, con la que tiene similitud en la forma de su cuerpo, variando el patrón de coloración gris oscuro en el dorso y lados con una tonalidad anaranjada en la parte ventral, siendo un tanto más intenso en los juveniles que en los adultos. Otra diferencia que posee en relación con la especie *P. brachypomus* es la altura y posee la espina relativamente corta en la base de la aleta dorsal (Deza, 2002).

Figura 1

Vista morfológica de Paco (P. brachypomus)



Nota: En la figura se observa la vista morfológica de la especie *P. brachypomus*, especie en edad adulta.

2.1.2. Etapas de desarrollo

Tresierra (1993), menciona que el crecimiento del *P. brachypomus* está definido por cuatro fases bien marcadas durante todo su ciclo de vida lo que se detalla en tabla 1:

Tabla 1*Fases de crecimiento de la especie P. brachypomus*

Descripción	Características de desarrollo	Tamaño	Características del cuerpo	Tipo de alimentación	Referencia
Larval	Desde eclosión de la ova	3.8 mm	Forma definitiva	Remanentes del saco vitelino	(Ortega s.f.)
Alevinaje	Pez adulto con tamaño reducido	1.5- 2.5 cm	Coloración cuerpo plateado y aleta caudal rojo intenso	Plancton	(Ortega s.f.)
Fase Juvenil	Órganos sexuales definidos en la madurez	>30 cm	Tonalidad intensa en la parte anterior del abdomen	Alimento balanceado	(Lasso et al., 2011)
Fase Adultez	Establecimiento de la Madurez sexual a los 3 o 4 años	> 50 cm -		Alimento balanceado	(Novoa, 2002)

Nota: En la tabla se muestra las fases de crecimiento por cada etapa de la especie *P. brachypomus*, las características de desarrollo y tipo de alimentación.

2.1.3. Hábitos alimenticios en la etapa de alevinaje

Díaz y López (1993) sostienen que el *P. brachypomus*, es una especie omnívora con tendencia a ser frugívora. Su régimen alimenticio está influenciado por las fluctuaciones anuales en el nivel de los ríos. En la época de crecientes, los árboles y arbustos de los bosques inundados proporcionan gran cantidad de frutas, nueces y granos; en la época de bajante que se da cuando el agua se reduce, el plancton, las algas filamentosas, plantas acuáticas y zooplancton e insectos acuáticos vienen a ser el alimento natural disponible para esta especie.

Por otro lado, Narvaez (2004) argumenta que el crecimiento de los peces en la etapa de alevinaje depende del suministro de alimento el cual debe contener proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Siendo los más importantes las fuentes de proteínas, vitaminas y minerales para el crecimiento y desarrollo de esta especie. Al respecto, Vicuña (2010) precisa que la tasa de alimentación para la especie *P.*

brachypomus es del 10 % respecto a la biomasa con un contenido proteico de 28 a 32% de proteína bruta. Además, afirma que en esta etapa se puede lograr sobrevivencias de hasta el 95 %, siempre y cuando las condiciones de cultivo sean favorables.

2.1.4. Hábitos alimenticios de la especie *P. brachypomus* en sistema biofloc

El éxito de los sistemas acuícolas depende del cultivo de especies resistentes a las fluctuaciones ambientales (Sahya, 2021). *P. brachypomus* es una especie rústica que permite que tenga una producción de amplia distribución y adaptación a sistemas intensivos como el BFT (Abad et al., 2014 y Chaverra et al., 2017). Adicionalmente, Avnimelech (2007) menciona que el efecto del biofloc en el crecimiento y la salud de los peces está dado por un efecto probiótico debido a los polímeros que son almacenados en las células microbianas y que pueden ser degradados en el sistema digestivo de los peces y con esto mejora el crecimiento de los ejemplares.

Benavides y López (2012) indican que el *P. brachypomus* es una especie que posee hábitos alimenticios omnívoros aceptando el biofloc como una fuente alternativa de alimento, evidenciándose en la filtración del floc, la cual suple de esta manera la proteína disponible y apropiada para la nutrición de los peces. Además, el consumo de la proteína microbiana disponible le atribuye una variada gama de microorganismos presentes bajo la tecnología biofloc como la materia orgánica, protozoos, algas, hongos filamentosos, etc. Asimismo, Emerenciano (2013) sostiene que los nutrientes obtenidos de la tecnología biofloc son aprovechados por las especies omnívoras, debido a que tienen la capacidad morfológica para capturar e ingerir floc.

2.2. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de *P. brachypomus*

El *P. brachypomus* es una especie muy resistente a las condiciones del cultivo, similar a la *C. macropomum*. Su rango de tolerancia a la temperatura es entre 25.00 a 30 °C; y el pH, de 6.4 a 9.0; respecto al oxígeno tolera niveles de oxígeno mayo a 4 mg. L⁻¹.

A continuación se detalla en la tabla 2 los rangos de tolerancia de los parámetros de calidad de agua para la especie en investigación:

Tabla 2

Requerimientos de calidad de agua para el cultivo de P. brachypomus

Parámetro	Requerimiento	Fuente
Temperatura (°C)	Rango óptimo: 25-30	(Casas, 2008)
	Rango óptimo 27-28	(Hargreaves, 2006)
Oxígeno disuelto (mg. L ⁻¹)	Rango óptimo: > 4.00	(Casas, 2008)
	Rango óptimo 3.00- 6.50	(Díaz y López, 1993)
pH	Rango óptimo 6.4-9	(Casas, 2008)
	Rango óptimo 7-8	(Kubitza, 2011)
Alcalinidad total (mg. L ⁻¹ CaCO ₃)	50-200	(Casas, 2008)
	100-150	(Sandoval, 2020)
Nitritos (mg. L ⁻¹)	< 1	(Casas, 2008)

Nota: En la tabla se muestra los rangos de los requerimientos de los parámetros de calidad de agua de la especie *Piaractus brachypomus*.

2.3. El sistema biofloc (BFT)

El sistema biofloc también conocido como tecnología biofloc (BFT, Biofloc Technology), se traduce en la retención de los residuos y su conversión a biofloc como un alimento natural dentro del sistema de cultivo (Háridas, 2017) y está basado en las relaciones de óxido-reducción del ciclo del nitrógeno que consiste en el desarrollo de flóculos microbianos, con adecuada relación carbono-nitrógeno en el agua (adición de melaza, harina de yuca), poco o nulo recambio y continua oxigenación (Avnimelech 201 y Emerenciano et al., 2013), esta tecnología fue desarrollada con el objetivo de resolver los problemas de calidad de agua producidos por los residuos de alimentos y excreciones de los organismos en cultivo, convirtiendo el exceso de

nutrientes en biomasa microbiana, que a su vez es consumida por los animales en cultivo (Ekasari, 2010). La comunidad microbiana formada por los flóculos es de forma irregular, porosa y de tamaño indefinido, poseen densidad mayor que el agua tendiendo a sedimentarse cuando hay ausencia de aireación (Avnimelech, 2006).

El manejo del cultivo biofloc se da a partir de una relación Carbono: Nitrógeno (C: N), siendo el Nitrógeno (N) proveniente de la excreción propia de la especie y del alimento no consumido, mientras que el carbono (C) se obtiene por la adición externa de carbohidratos (Emerenciano et al., 2013). Esta adición de carbono se calcula tomando en cuenta el contenido proteico de las dietas brindadas, las excretas, y el porcentaje de la fuente de carbono (Avnimelech, 2009) tal como se muestra en el Anexo 1.

El cultivo en un sistema biofloc es una alternativa de producción que se utiliza como proteína bacteriana de alto valor biológico y posible suplemento alimenticio siendo una estrategia para ahorrar recursos y mantener la calidad de agua dentro de los parámetros exigidos por la especie (Chaverra, 2017), la cual presenta dos ventajas importantes en los sistemas intensivos, presentados a continuación:

a) Calidad nutricional del biofloc

La calidad nutricional de los bioflocs contiene entre un 20 a 60% de proteína cruda y entre un 1 y un 5% de lípidos crudos (Crab et al., 2010; De Schryver y Verstraete, 2009; Kuhn et al., 2008; 2012; Luo et al., 2013; Wei et al., 2016), los cuales son buenas fuentes de vitaminas y minerales; sin embargo, su contenido de ácidos grasos n-3 es bajo (Crab et al., 2010; Ju et al., 2008). Existen varios factores que afectan la calidad nutricional del biofloc como: tipo de fuente de carbono, madurez del floc y las variaciones de los parámetros fisicoquímicos (Wei et al., 2016).

El contenido de proteína aumenta cuando los bioflocs crecen sobre glicerol y acetato, y el contenido de lípidos es mucho mayor para los alimentos con glucosa (Crab et al., 2010). Las tasas de producción de biofloc y el contenido de proteínas y poli-β-

hidroxibutirato (PHB) aumentan con niveles más altos de suplementación de carbono (De Schryver y Verstraete, 2009). Por otro lado, Avnimelech (2007) evaluó la asimilación de los biofloc por las tilapias en cultivo y concluyó que puede ser una fuente potencial efectiva de alimento, contribuyendo con casi el 50% del requerimiento de proteína para esta especie. Asimismo, Sierra-De la Rosa et al., (2009), evaluó el cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y Tilapia roja (*Oreochromis sp.*), en sistemas biofloc en agua marina y obtuvo valores similares de crecimiento (2.21 gramos.día⁻¹ y 2.1 gramos.día⁻¹), supervivencia (70%), con mejor factor de conversión alimenticia (1.5) y concluyeron que el cultivo de tilapia roja en aguas de alta salinidad y tecnología de biofloc es técnicamente factible en zonas áridas tropicales donde los recursos de agua dulce son escasos.

Ju et al., (2008) reportó mayores tasas de sobrevivencia y crecimiento para organismos cultivados en sistemas BFT, asociadas a nutrientes específicos y sus efectos sobre la tasa de ingesta, digestibilidad, absorción, asimilación y salud de los animales, Además de mejorar la nutrición, el uso de biofloc como alimento puede disminuir los costos de producción, suprimir el uso de biofiltro, mejorar la calidad del agua, y a su vez puede reducir la necesidad de intercambios evitando la liberación de compuestos nitrogenados para el medio ambiente (Avnimelech, 2007; Mc Intosh et al., 2001).

Benavides (2012) evaluó el efecto del biofloc en la producción de alevino de *P. brachypomus* bajo condiciones de laboratorio, concluyendo que la tecnología biofloc es una alternativa de fuente de alimento adicional para aumentar la producción del cultivo, la presencia del floc microbiana constituye en el crecimiento de la especie, factor que es atribuido a la variada gama de microorganismos en el medio de cultivo.

Los flóculos contienen agentes probióticos y se ha demostrado que incrementan la actividad de enzimas que influyen en el crecimiento (Avnimelech, 2009). Aunque el uso de flóculos ha impactado positivamente el desarrollo de la acuicultura, no se recomienda su uso como su principal fuente de alimento, ya que no poseen todos los nutrientes necesarios para el crecimiento del pez; por esta razón, se recomienda

utilizar una combinación de flóculos y alimento balanceado artificial (Avnimelech, 2009). A continuación, se presenta en la Tabla 3, la composición proximal del biofloc:

Tabla 3

Composición químico-proximal en base a la materia seca de agregados microbianos (Biofloc)

Fuente	PB (%)	Carb (%)	EE (%)	FB (%)	Cenizas (%)
(Mcintosh et al., 2000)	43.00	-	12.5	-	26.5
(Decamp et al., 2002)	31.20	-	2.6	-	28.2
(Emerenciano et al., 2013)	30.40	29.10	0.47	0.83	39.20
(Wasielesky et al., 2006)	31.07	23.59	0.49	-	44.85
(Vinatea, 2011)	35-50	4-15	0.6-12	3-12	21-32

Nota: En la tabla se muestra la tabla de composición químico proximal de la materia seca de la composición nutricional del biofloc. PB= Proteína bruta; Carb= Carbohidratos; EE= Estratos aéreos de lípidos; FB= Fibra bruta. Tomado de Azim y Little (2008)

b) Calidad de agua en sistemas biofloc

El BFT es una forma de producción super - intensiva que pretende un aumento de la biomasa por volumen de agua utilizando cada vez menos agua, siendo un desafío concreto en reducir el impacto ambiental. Dentro de las cualidades que presenta el BFT se puede sumar que los bio flóculos incrementan la actividad de enzimas implicadas en el crecimiento y que también contienen agentes probióticos (Avnimelech, 2009). Asimismo, los microorganismos presentes en el medio desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la calidad de agua, ya que son mediadores del impacto ambiental en efluentes y controlan los posibles patógenos (Decamp, 2002; Poleo et al., 2011). Por otro lado, en la columna de agua se produce

una interacción compleja entre materia orgánica, sustrato físico y gran variedad de microorganismos como fitoplancton, bacterias libres adheridas, agregados de partículas, materia orgánica e individuos herbívoros, como rotíferos, ciliados, flagelados protozoarios y copépodos (Ray et al., 2010).

En todo sistema de producción acuícola se producen grandes desperdicios constituidos por productos de excreción, alimentos no consumidos, heces, material sólido y soluble como el fósforo y el nitrógeno, incrementándose a medida que la biomasa aumenta. El nitrógeno puede estar presente en los ambientes acuáticos en diferentes formas, siendo el amonio no ionizado (NH_3) y el nitrito (NO_2), compuestos tóxicos para las especies en cultivo, convirtiéndose en un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia, por lo que su transformación a nitrógeno no tóxico es primordial para disminuir riesgos (Avnimelech, 2009; Ebeling et al., 2008).

Alzate, (2016) y Abab et al., (2014), presentaron compuestos nitrogenados en el rango permitido, beneficiando la salud de los peces como paco y tilapia, de igual manera Bru (2016), evidenció la disminución del nitrógeno amoniacal total en un 40% durante los cuatro (04) meses de cultivo. Para el éxito de la tecnología biofloc BFT, se debe de evaluar los parámetros de calidad de agua requeridos para la especie a cultivar. En la figura 2, se observa la interacción del sistema biofloc en un estanque.

Figura 2

Esquema de un sistema biofloc, Avnimelech (2009)

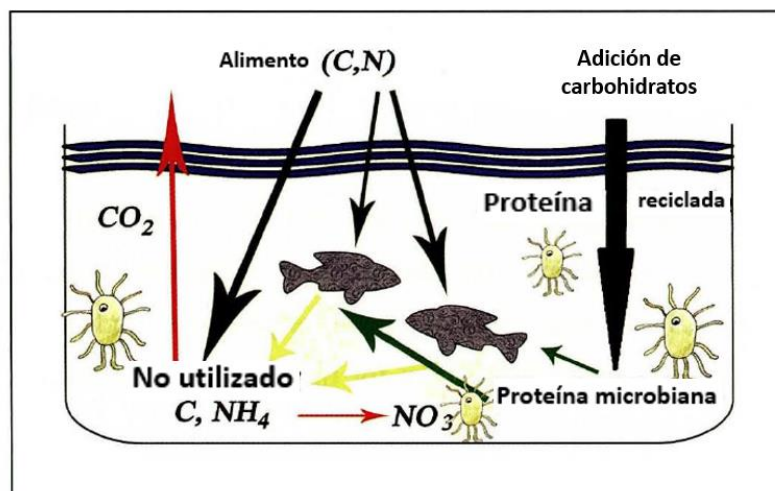


Figura 3. En la figura se muestra el esquema del sistema biofloc, desde la adición de carbohidratos en el medio hasta la eliminación de CO_2 . Tomado de Avnimelech (2009)

2.4. Adición de carbono orgánico al BFT

Los insumos utilizados para el desarrollo del cultivo deben de ser de bajo costo y fácil descomposición (Emerenciano, 2013). Para ello, varios autores utilizan diferentes fuentes de carbono, mostradas en la tabla 4:

Tabla 4

Fuentes de Carbono aplicadas en los sistemas biofloc (BFT)

Fuente de Carbono	Especie cultivada	Referencia
Acetato de sodio	<i>M. rosenbergii</i>	(Crab, 2010)
Harina de Casava	<i>P. monodon</i>	(Avnimelech y Mokady, 1989)
Celulosa	<i>O. niloticus</i>	(Avnimelech et al., 1989)
Harina de maíz	<i>Pangasius bocourti</i> y <i>O. niloticus</i>	(Asaduzzaman et al., 2008)
Dextrosa	<i>Litopenaeus vannamei</i>	(Suita, 2009)
Glicerol	<i>M. rosenbergii</i>	(Crab et al., 2010)
Glucosa	<i>M. rosenbergii</i>	(Crab et al., 2010)
Melaza	<i>P. monodon</i> y <i>L. vannamei</i>	(Buford et al., 2004, Panjaintan 2004, Samocha et al., 2007)
Tapioca	<i>M. rosenbergii</i> y <i>L. vannamei</i>	(Hari et al., 2004) (Asaduzzaman et al., 2004)
Harina de trigo	<i>O. niloticus</i>	(Azim y Little, 2008)
Afrecho + Melaza	<i>F. Brasiensis</i> , <i>F. paulensis</i> y <i>duorarum</i>	(Emereciano et al., 2012a) (Emereciano et al., 2011) (Emereciano et al., 2012b)
Almidón	<i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> y <i>Tilapia</i> (Mozambique)	(Crab et al., 2009) (Avnimelech, 2007)

Nota: En la tabla de muestra la relación C: N es un factor muy importante para el desarrollo de una comunidad bacteriana predominante heterotrófica o autotrófica la cual se promueve ajustando la relación carbono- nitrógeno con diferentes tipos de suplementos ricos en carbono. Adaptado por Emereciano, (2013)

Tabla 5

Relación de C: N aplicando diferentes fuentes de carbono con diferentes especies de cultivo

Fuente de carbono	Especie cultivada	Relación C: N	Referencia
Melaza	<i>O. niloticus</i>	10:1	(Zapata, 2016)
Melaza	<i>P. brachypomus</i>	15:1	(Chaverra, 2017)
Carbono orgánico	<i>O. niloticus</i>	> 10:1	(Luo et al., 2013)
Melaza	<i>O. niloticus</i>	> 10:1	(Azim y Little., 2008)
Melaza	<i>P. brachypomus</i>	18:1	(Abad, 2014)
Melaza	<i>P. brachypomus</i>	15:1	(Alzate, 2017)
Melaza	<i>P. brachypomus</i>	15: y 20:1	(Benavides y López, 2012)
Glucosa	Tilapia GIFT	15:1	(Long et al., 2015)

Nota: En tabla de muestra la relación de carbono nitrógeno (C: N) aplicado con diferentes fuentes de carbono con diferentes especies de cultivo. Tomado de varios autores.

En los sistemas biofloc, el principal parámetro que controla la concentración de amonio es la relación C: N en el alimento que ingresa al agua. Un alimento con 30 a 35 por ciento de proteína tiene una baja relación de C: N, alrededor de 9:1 a 10:1, incrementar la ratio C: N a niveles 12:1 o 15:1, esto favorece el control de amonio vía heterotrófica (Hargreaves, 2013).

Long et al., (2015) realizaron un experimento en tilapia del Nilo genéticamente mejorada (GIFT), los autores mantuvieron un valor de 15 para la relación C: N. La luz de la unidad experimental fue controlada para impedir el crecimiento de

microalgas, las cuales pudieran modificar los parámetros de calidad de agua, adicionalmente mencionan que no se realizaron recambios de agua más que en el grupo control. Como resultados encontraron que los niveles de nitritos y nitratos fueron menores en los sistemas biofloc, además la sobrevivencia fue al 100% y el uso de biofloc incrementó la tasa de crecimiento específico y el rendimiento neto.

Hellyjúnior et al., (2017) recomiendan una proporción de C: N mayor o igual a 12.5:1 para sistemas mixtos y autotróficos, debido a que valores menores a 12.5 retrasan el proceso de nitrificación viéndose afectada la comunidad bacteriana. Zapata, (2016) indica que a una relación de C: N de 10:1 presentó óptimos rendimientos productivos en el cultivo de *O. niloticus*.

2.5. Densidad de siembra de *P. brachypomus* bajo diferentes sistemas de cultivo

Actualmente el cultivo convencional de la especie *P. brachypomus*, presenta las mejores densidades en estanques de tierra y con alimento concentrado mencionado por Erazos y Valles (2007) con densidades de 0.5 - 0.8 por m², es decir en un estanque de 2000 m² se podrán cultivar entre 1000 a 1600 *P. brachypomus*, para obtener los mejores rendimientos por pez. Por otro lado, Deza et al., (2002) determinaron el efecto de la densidad de siembra en *P. brachypomus*, en estanques seminaturales, obteniendo mejores rendimientos productivos a una densidad de 1.5 peces.m⁻². Asimismo, Rebaza et al., (2002), evaluó tres densidades de siembra en la segunda fase de alevinaje en estanques seminaturales (T1: 10 alevines.m³, T: 15 alevines.m³ y T3:20 alevines.m³), obteniendo resultados después de 30 días de crianza, las cuales no tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos.

En cuanto a cultivos intensivos, Casas (2008), evaluó la densidad de siembra de cachama blanca 50 peces. m⁻² indicando el *P. brachypomus* posee un buen grado de aceptación a sistemas de recirculación (RAS). Actualmente se tiene buenos datos sobre la utilización de proteínas microbianas en tilapia, camarones, carpa; teniendo

escasos datos sobre la densidad de cultivo en la especie *P. brachypomus* en la fase de alevinaje.

Respecto al cultivo intensivo bajo la tecnología biofloc, Vinatea (2011) evaluó la densidad de cultivo 40 individuos m^{-3} de *P. brachypomus* en un periodo de cinco meses, obteniendo sobrevivencias de 100 %. Por otro lado, Benavides y López (2012) evaluaron diferentes relaciones de carbono – nitrógeno con una densidad de siembra de 300 alevines. m^{-3} de *P. brachypomus* bajo la tecnología biofloc, obteniendo sobrevivencias de 100 % en un periodo de 45 días. Poleo et al., (2011) evaluó el cultivo de la misma especie en altas densidades bajo dos sistemas cerrados (Sistemas de recirculación de agua SCR y sistema cero recambios de agua SRA), obteniendo densidades finales de 31.25 peces. m^{-3} es decir 12.5 veces más a las densidades de cultivo tradicional de *P. brachypomus*, resaltando que uno de los factores limitantes más importantes es la aireación, la cual mantiene los niveles de oxígeno disuelto requeridos para los peces y las bacterias, las cuales se encargan de la descomposición aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación.

III. METODOLOGÍA

3.1.Lugar y periodo experimental

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa AMAZONIC FOODS S.A.C, con coordenadas 12°25'43.31"S 69°07'51.75"E, ubicado en el kilómetro 67 margen derecho de la carretera Iñapari - kilómetro 2 interior en el distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, región de Madre de Dios. La empresa cuenta con un módulo piloto de 504 m² aproximadamente, cercado con malla Raschel verde de 80 % de transparencia acondicionado e implementado para la producción de 10,000 alevines de *P. brachypomus* aproximadamente. El experimento tuvo una duración de 95 días de monitoreo e investigación, comprendidos entre los meses de junio a septiembre del 2019.

3.2.Etapa pre - experimental

Esta etapa comprendió el acondicionamiento del biorreactor de biofloc (tanque madre) y la generación del biofloc.

3.2.1. Acondicionamiento del bioreactor de biofloc

Se acondicionó un módulo de biofloc de 504 metros cuadrados de área (28 metros de largo y 18 metros de ancho) que alberga una capacidad de volumen útil de 210 m³ aproximadamente, el módulo tiene una infraestructura con soportes de madera y techo de calamina oscura y calamina de policloruro de vinilo (PVC) transparente, la distribución de la calamina transparente tiene 40 % de incidencia de luz directa y 60 % opacidad para evitar la desestabilización del sistema a causa de las microalgas (Bioaquafloc, 2019). Asimismo, se hizo el recubrimiento con malla raschel de 90%

de alrededor del módulo para disminuir el impacto de los vientos en un área total del módulo (Anexo 2).

El inicio de la etapa pre- experimental se instalaron 06 tanques de geomembrana alta densidad HDPE (High Density Poly Ethylene) de 1mm de espesor y 7 metros de diámetro y 1 metro de altura y de capacidad útil de 35 metros cúbicos cada una. La oxigenación y movimiento constante del agua, se logró mediante la instalación de un sistema de aireación constituido por dos (02) bombas de aire (blowers) marca SEAWATER de capacidad de 1.75 HP cada una. La distribución del sistema de aireación y conducción de aire se realizó con mangueras difusoras de marca Colorite con tecnología de aireación AEROTUBE de 25 mm de diámetro externo y 12 mm de diámetro interno, ubicadas en el fondo del estanque distribuidas de forma equidistante, con la finalidad de mantener movimiento continuo para evitar la sedimentación de los flóculos, los puntos de anoxia y fomentar el metabolismo aerobio (Anexo 3).

3.2.2. Generación de biofloc para el bioreactor

La etapa pre - experimental se realizó la generación de biofloc a una relación de C: N (15:1) (Avnimelech, 2012), en un periodo de tiempo aproximado de 30 días para el establecimiento de las bacterias quimio autótroficas (Ebeling y Timmons, 2008).

La generación del biofloc contempló el siguiente procedimiento:

- Se utilizó (01) tanque de geomembrana (unidad productiva) de volumen de 35 m³, para la generación de cultivo madre. Comprendía de un sistema de aireación articuladas con mangueras difusoras distribuidas de manera equitativa (Anexo 3). Fue equipado de un sistema de desagüe central, mediante un tubo de PVC de 4 pulgadas (10.16 centímetros) (Anexo 4).
- El tanque de geomembrana fue llenado con 35 m³ de agua proveniente de un estanque de tierra en producción con la especie paco (*P. brachypomus*), en la

etapa de engorde bajo sistemas semi - intensivo. El nivel del agua fue mantenido a una altura de 1.00 metro.

- Se sembraron 1000 alevines de *P. brachypomus* de peso promedio de 20 gramos, como fuente de producción directa de materia orgánica (heces) con el propósito de acelerar e incrementar la formación de flocs bacterianos en el sistema y realizar un estudio tipo *in- Situ* (Kuhn, 2008). En la tabla 6, se presenta los datos de los parámetros de calidad de agua al inicio de la etapa preexperimental (biorreactor).

Tabla 6

Parámetros de calidad de agua del biorreactor

Parámetros de calidad de agua	Unidades	Valores
Temperatura	°C	24.2
Oxígeno disuelto	% de saturación	99
	mg. L ⁻¹	8.3
pH	-	8.25
NO ₂	mg. L ⁻¹	0.1
NO ₃	mg. L ⁻¹	1
NAT	mg. L ⁻¹	0.05
Alcalinidad	mg. L ⁻¹	71.2
Solidos sedimentables	mg. L ⁻¹	-

Nota: En la tabla se muestra los parámetros de calidad de agua tomadas durante la generación del biofloc en el biorreactor.

- Se adicionó inicialmente carbonato de calcio (CaCO₃), a razón de 0.1 gramos. L⁻³, para mantener el pH entre 7.5 y 8, (José A., comunicación personal, 13 de noviembre de 2018). Este requirió la medición de la alcalinidad semanalmente para su posterior corrección
- Se adicionó como fuente de proteína (nitrógeno) el alimento comercial de 28% de proteína de la marca NUTRAK, en proporción de 150 gramos.m⁻³, un día después de haber llenado el tanque bioreactor, (José A., comunicación personal, 13 de noviembre de 2018).

- Se adicionó azúcar rubia como fuente de carbono, la cual contenía un 42.10 % de carbono (Aguilar, 2006), a razón de 0.01 gramos. L⁻¹ (Avnimelech, 1999).
- Se mantuvo la relación de carbono: nitrógeno a razón de 15:1 (C: N), la adición de carbono se basó en función de la entrada de nitrógeno, calculado en función del alimento suministrado en el sistema (Avnimelech, 2006).
- Se realizó el monitoreo de los principales compuestos nitrogenados como: amonio, nitrito, nitrato con una frecuencia semanal utilizando kits de la marca LAMOTTE y los parámetros de calidad de agua como; temperatura y oxígeno mediante un oxímetro de marca YSI pro20 y pH con un equipo YSI pH 10^a, en los horarios de 08:00, 13:00 y 18:00 horas.
- Luego de 30 días, se obtuvo biofloc maduro comprobado por la disminución del nitrógeno amoniacal total. En este momento pudo ser utilizado como inóculo para el inicio del experimento.
- El traslado del biofloc maduro hacía los seis (06) tanques de geomembrana, se realizó mediante una bomba de 0.5 HP y fue bombeado a través de una manguera de 1 pulgada de diámetro, el volumen del biofloc maduro fue distribuido a cada tanque de geomembrana un total de 5.5 m³ aproximadamente, representando el 15.7% del volumen total de cada geomembrana.
- El biofloc maduro fue usado durante la etapa experimental, el cual fue manejado mediante recambios de agua de hasta un 10% del volumen total de cada tanque de geomembrana.

3.3.ETAPA EXPERIMENTAL

3.3.1. Material biológico/ Siembra de peces

El material biológico empleado en la etapa experimental se adquirió del centro de reproducción “La Cachuela” perteneciente a FONDEPES, ubicada en el Caserío “La Cachuela” en el distrito de Tambopata. El traslado de los alevines se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad, la cual fue llenada con agua del cultivo al 30% de su capacidad, las dos terceras partes con fueron llenadas con oxígeno y sujetadas con ligas (Kubitza, 2009). Adicionalmente se agregó sal en proporción de 5 gramos. L⁻¹

con la finalidad de estimular la producción de mucus y prevenir infecciones por lesiones durante el traslado, las bolsas fueron trasladadas en baldes de plástico con el objetivo de disminuir el movimiento brusco.

El transporte de los alevines se realizó vía terrestre a las 06:00 a.m., con una duración de una (01) hora teniendo en cuenta los permisos y cuidados necesarios. Al llegar al Fundo Santiago de Alegría- Las Piedras, se realizó la medición de los parámetros de calidad de agua de las unidades productivas y las bolsas en donde se encontraban los alevines, se midió la temperatura, pH, oxígeno, % de saturación, con el objetivo de conocer la diferencia de los parámetros de calidad de agua. Posterior a ello, se realizó la mezcla de las masas de agua de manera pausada por un periodo de 1 hora aproximadamente, para equiparar y homogeneizar ambas masas de agua y evitar el choque de los parámetros de calidad de agua, esto se realizó de manera similar en las seis (06) tanques de geomembrana de diámetro de 7 metros (Anexo 7).

3.3.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) de una sola vía, con dos (02) tratamientos referidos a las densidades de 43 y 72 alevines.m⁻³ (Tratamiento 1 y tratamiento 2 respectivamente). Cada tratamiento contó con tres (03) replicas distribuidas aleatoriamente en 6 unidades experimentales (UE) de 35 metros cúbicos de capacidad (7 metros de diámetro y 1 metros de alto).

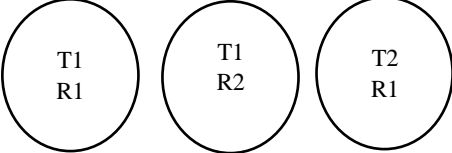
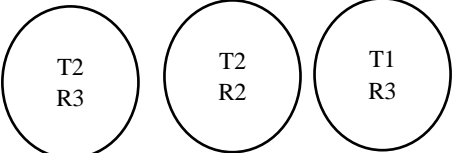
Para la siembra, con un tamiz adaptado de 30 cm de diámetro se extrajeron al azar los alevines y se realizó el conteo individual para completar la población de cada geomembrana según tratamiento. Para el tratamiento 1, se sembraron 1,505 alevines y para el tratamiento 2 se sembraron 2,520 alevines. Se contempló la homogeneidad de los alevines, a continuación, se detalla las características de los individuos sembrados por tratamiento:

- Tratamiento 1 (T1): Peso promedio de 6.2 ± 2.9^a y capacidad de carga de 0.26 kilogramos.m⁻³
- Tratamiento 2 (T2): Peso promedio de 5.9 ± 2.9^a y capacidad de carga de 0.43 kilogramos.m⁻³

El diseño experimental quedó distribuido tal como se muestra en la Figura N°3

Figura 4

Esquema del diseño experimental

DENSIDAD	REPETICIONES
T1: 43 alevines.m ⁻³	
T2: 72 alevines.m ⁻³	

Nota: En la figura se muestra el esquema del diseño experimental, en donde indica la densidad de siembra por tratamiento y la distribución de cada uno de ellos. R: Repeticiones T: Tratamiento

3.3.3. Manejo experimental

La etapa de experimentación tuvo un periodo de 95 días, en la que los alevines de *P. brachypomus* se alimentaron con alimento balanceado de la marca NUTRAK con un 40% de proteína (Anexo N°5).

a) Monitoreo biométrico de la población de peces

Se determinaron los parámetros productivos, realizando cuatro (04) biometrías durante el periodo de 95 días. El tamaño de muestra se determinó según la fórmula para el cálculo de poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Murray y Larry, (2009)

Donde:

N = Total de la población

Z_{α} = 1.96 al cuadrado (seguridad de 95%)

p = proporción esperada

q = 1 – p

d = precisión

Según la ecuación descrita líneas arriba, el tamaño de muestra para el Tratamiento 1 (T1) fue de 70 peces y para el tratamiento 2 (T2): 71 peces por unidad productiva en cada muestreo. El inicio de la biometría se realizó individualmente y por cada tanque de geomembrana. Se inició la actividad biométrica desconectando el 50% del total de sistema de aireación por un periodo de 30 minutos para evitar la falta de oxígeno del sistema. Posterior a ello, se inició el proceso de redeo que consiste en cercar el tanque de geomembrana con una red de cosecha de tamaño de malla sin nudo de 2 cm, adicionalmente se usaron tamizadores adaptados para evitar laceraciones en los alevines. Se tomó una muestra homogénea y al azar, deslizando un tamiz desde el fondo de la bolsa de redeo hasta la parte superficial, colocando la muestra en baldes de 20 litros. Se realizó la medición de longitud de horquilla caudal y la toma de peso total, además se usó un ictiómetro con divisiones de 1 milímetro y una balanza de precisión de marca OHAUS de 0.1 gramos de sensibilidad.

b) Manejo de la alimentación

Los alevines de *P. brachyomus*, fueron alimentados con alimento comercial de marca NUTRAK con 40 % de proteína (Ver composición Anexo 05). La frecuencia de alimentación fue de dos (02) veces al día, en horarios de 08:00 a.m. y 03:00 p.m., la alimentación se dio a saciedad (*ad libitum*), para ello se verificó de forma regular el comportamiento de los individuos. A medida que el alimento fue brindado los peces

subían a consumir el alimento en el punto de entrega. Usualmente el alimento se brindó en toda la superficie de la unidad productiva, con el objetivo que no hubiese sesgo en la alimentación y fuera consumido de forma homogénea.

c) Monitoreo de la calidad de agua

Durante la etapa experimental se evaluaron los parámetros físicos y químicos del cultivo biofloc, según lo descrito en la tabla 7.

Tabla 7

Parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua

Parámetros de calidad de agua	Frecuencia	Equipos utilizados
Temperatura (°C)	8:00 a.m., 13:00 p.m. y 18:00 p.m.	YSI pro20
Oxígeno disuelto (mg. L ⁻¹)	8:00 a.m., 13:00 p.m. y 18:00 p.m.	YSI pro20
Oxígeno disuelto (% de saturación)	8:00 a.m., 13:00 p.m. y 18:00 p.m.	YSI pro20
pH	8:00 a.m., 13:00 p.m. y 18:00 p.m.	ECOSENSE YSI pH10A
NO ₂ (mg. L ⁻¹)	1 vez a la semana	Kits de la marca LAMOTTE LM3352
NO ₃ (mg. L ⁻¹)	1 vez a la semana	Kits de la marca LAMOTTE LM 3354
NAT (mg. L ⁻¹)	1 vez a la semana	Kits de la marca LAMOTTE LM 3351
Alcalinidad (mg. L ⁻¹ CaCO ₃)	1 vez a la semana	Kits de la marca LAMOTTE lm 4491
Solidos sedimentables (mg. L ⁻¹)	1 vez al día (08:00 a.m.)	Cono Imhoff, capacidad 1000 ml

Nota: En la tabla se muestran los parámetros de calidad de agua a evaluar, la frecuencia de toma de muestra por cada parámetro y el equipo a usar.

- **Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables fueron medidos diariamente mediante el uso de un cono Imhoff de capacidad de 1000 ml a las 8 a.m. con un tiempo de sedimentación de 20 minutos, según el protocolo de la APHA, (1998). La toma de muestra se realizó aleatoriamente con relación a todo el volumen de la unidad productiva, sumergiendo el cono Imhoff con dirección lateral y paralela a la superficie de la unidad productiva para extraer el agua rápidamente de manera perpendicular a la superficie de la unidad productiva.

- **Alcalinidad Total**

Para determinar la alcalinidad total en el agua se utilizaron kits Colorimétricos de la marca LAMOTTE de código LM 4491 y rango de 0 – 200 ppm. Se midió dos (02) veces por semana en horario de 13:00 p.m. La evaluación constó en extraer 3 ml de la unidad productiva y adicionar de 2 ml del reactivo determinado por el kit, agitar por un periodo de 30 segundos y esperar 2 minutos para la coloración de la mezcla y fue comparada con el panel de colores del Kit colorimétrico. El resultado fue expresado en mg. $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$.

- **Amonio total**

Para determinar el amonio agua se utilizaron kits Colorimétricos de la marca LAMOTTE de código LM 3351 y rango de 0.2 – 3 ppm. El amonio total fue medido dos (02) veces por semana en horario de 13:00 p.m., mediante el uso de kits colorimétricos de la marca LAMOTTE, los resultados fueron expresados en mg. L^{-1} de amonio.

- **Nitrito y Nitratos (NO_2 y NO_3)**

EL nitrito y el nitrato fueron medidos dos (02) veces por semana en horario de 13:00 p.m., mediante el uso de kits colorimétricos de la marca LAMOTTE de código LM 3352 y rango de 0.05 -0.8 ppm para el nitrito y para el nitrato se usó la marca LAMOTTE de código LM 3354 y rango de 0.25 - 10 ppm, los resultados fueron expresados en mg. L^{-1} .

2.5.1. Manejo de la calidad de agua en las unidades productivas, bajo sistema biofloc

a) Ajuste de Alcalinidad de agua

Se realizó mediante la adición de carbonato de calcio comercial de pureza de 98%, y tamaño de partícula de 10 micras aproximadamente de marca COMACSA. Con el fin equilibrar la alcalinidad a $120 \text{ mg. CaCO}_3\text{L}^{-1}$, valor recomendado para el buen funcionamiento en el manejo de un sistema biofloc (Chaverra et al., 2017). El valor recomendado se centra en la pérdida de la capacidad buffer que experimenta el sistema a lo largo del tiempo (Azim et al., 2008).

Si los valores de alcalinidad alcanzaban los $60 \text{ mg. CaCO}_3\text{L}^{-1}$, se procedía a la adición de carbonato de calcio vinculados al incremento de carbonato a corregir y al volumen de tanque, según la siguiente ecuación:

Cantidad de Carbonato de Calcio= (Alcalinidad requerida – Alcalinidad inicial)

*Volumen del tanque (Chaverra et al., 2017).

- Alcalinidad requerida: $120 \text{ mg. CaCO}_3\text{L}^{-1}$
- Volumen del tanque = 35,000.00 litros

El carbonato de calcio a adicionar se diluyó externamente en baldes de capacidad de 20 litros, luego se realizó el tamizado con un colador de tamaño de malla de 2 mm, con el objetivo de eliminar las impurezas.

b) Adición de la fuente de carbono – Azúcar rubia

Para lograr el balance adecuado en el sistema de relación de carbono: nitrógeno a razón de 15:1 (C: N), considerada según Bakar et al., (2015) y Long et al., (2015), se adicionó azúcar rubia (C=54.3 %) como fuente de carbono. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula de adición de azúcar al sistema:

$$\text{Cantidad de azúcar} = \frac{(\text{TA} * \text{B}) * (\% \text{P}) * (\% \text{N}) * (\% \text{Ex})}{(0.066)}$$

Piedrahita (2003)

Donde:

TA= Tasa de alimentación 5%

B= Biomasa

%P= Porcentaje de proteína en el alimento

%N= Porcentaje de Nitrógeno en la proteína 16%

% Ex= Porcentaje de excreción de Nitrógeno por el pez más la amonificación del alimento 75%

3.3.4. Evaluación de los parámetros productivos

La evaluación de los parámetros productivos se realizó mediante las biometrías los días 0, 19, 49 y el día 95 durante el periodo experimental. El porcentaje de sobrevivencia se evaluó según el seguimiento diario en el cultivo, registrando los individuos muertos por cada unidad productiva, posterior a ello se realizó el conteo final de los individuos. Los parámetros productivos evaluados fueron los siguientes, tabla 8:

Tabla 8*Fórmulas de los parámetros productivos del cultivo de paco (P. brachypomus)*

Parámetro	Unidades	Fórmula	Referencia
Tasa de crecimiento específico (TCE)	%	$100x\left(\frac{Ln\text{pf}-Ln\text{pi}}{t}\right)$	(Ricker, 1979)
Porcentaje de sobrevivencia (%)	%	$\left(\frac{N^{\circ} \text{ peces final}}{N^{\circ} \text{ peces inicio}}\right) x 100$	(Poleo et al., 2011)
Factor de conversión alimenticia (FCA)	-	$\frac{\text{Alimento suministrado}}{\text{Peso ganado}}$	(Biscudo et al., 2010)
Ganancia de peso (GP)	gramos	(Peso final- Peso inicial)	(Sastre et al., 2004)
Densidad de carga	Kg/m ³	$\frac{\sum \text{Peso Final (kg)}}{\text{Volumen de agua en el sistema (kg)}}$	(Erazos y Valles, 2007)
Factor de condición K de Fulton	-	$100 \left(\frac{W}{L^3}\right)$	(Olaya- Nieto, 2008)

Nota: En la tabla se muestra las fórmulas de los parámetros productivos a evaluar durante la etapa de experimentación.

3.3.5. Procesamiento y análisis de datos

El diseño experimental fue completamente al azar con dos (02) tratamientos y cada uno con tres (03) réplicas. Tanto los datos de parámetros productivos y análisis de calidad de agua fueron sometidos a una prueba (Test) de normalidad (Test Kolmogorov-Smirnova) y homogeneidad de varianzas (Levene's test). Posteriormente se realizó un ANOVA para identificar diferencias con un nivel de significancia de 0.05. Para el análisis estadístico se empleó el software Minitab ®

16.2.3 versión 16.0. Los resultados fueron expresados como media \pm desviación estándar.

Adicionalmente se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de calidad de agua y la densidad de cultivo (tratamientos), mediante el análisis de correlación de Pearson ($P \leq 0.05$) con el *software* JMP 2020 y un análisis de componentes principales para determinar el o los parámetros de calidad de agua que influyen en los tratamientos del cultivo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de Calidad de agua en los cultivos en sistema biofloc

Durante la etapa experimental se evaluaron parámetros de calidad de agua para el T1 y T2, detallados en la tabla 09, el formato de registro de datos se muestra en el anexo 06.

Tabla 9

Parámetros de la calidad de agua promedio en cultivo con paco (P. brachypomus)

Parámetros	Tratamientos	
	T1: 43 alevines. m ⁻³	T2: 72 alevines. m ⁻³
Temperatura (°C)	22.98 ± 2.4 ^a (15.5 – 27.7)	23.4 ± 2.2 ^a (16.3 – 28.2)
Oxígeno (mgL ⁻¹)	7.5 ± 1.13 ^a (4.3 – 9.9)	7.0 ± 1.07 ^b (3.7 – 9.8)
% Saturación	90.1 ± 9.6 ^a (47.0 – 112.0)	84.2 ± 10.4 ^b (48.0 – 108.0)
Potencial de hidrógeno (pH)	8.2 ± 0.3 ^a (6.7 – 8.8)	8.0 ± 0.4 ^b (6.7 – 8.9)
NAT (mg. L ⁻¹)	0.2 ± 0.6 ^a (0.05 – 2.7)	0.2 ± 0.5 ^a (0.05 – 2.4)
NO ₂ (mg. L ⁻¹)	0.7 ± 0.1 ^a (0.0 – 1.6)	0.5 ± 0.1 ^a (0.1 – 1.2)
NO ₃ (mg. L ⁻¹)	4 ± 2.9 ^a (1.3 – 10.8)	6.3 ± 4.4 ^a (1.0 – 14.3)
Alcalinidad (Ca ₂ CO ₃ .L ⁻¹)	91.4 ± 21.7 ^a (56.4 – 130.5)	90.3 ± 23.0 ^a (50.4 – 148.3)
Volumen de Floc (mg. L ⁻¹)	4.9 ± 4.0 ^a (0.2 – 33.0)	9.15 ± 7.5 ^b (2.5 – 24.5)

Nota: En la tabla se muestran los parámetros de calidad de agua promedio evaluados durante la etapa de experimentación en paco bajo un sistema biofloc. Las letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa (P<0,05). NA: No aplica Media ± desviación estándar. (Mínimo y Máximo); SS, sólidos sedimentables; NAT, NO₂ nitrógeno en nitritos; NO₃ nitrógeno en nitratos.

En la tabla 9 se puede observar que los niveles promedios de oxígeno disuelto (OD) y porcentaje de Saturación (%), presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Los promedios de las concentraciones de oxígeno para el T1 y el T2 fueron de 7.5 ± 1.13^a y 7.0 ± 1.07^b mg. L⁻¹ respectivamente. Ambos valores se encuentran dentro de los rangos óptimos reportados por estudios anteriores donde se sugiere que los niveles óptimos de oxígeno disuelto para esta especie no deben de ser menores a 4 mg. L⁻¹ en sistemas semi intensivos, aunque esta especie logra resistir bajas concentraciones de oxígeno por periodos cortos (Bru, 2016).

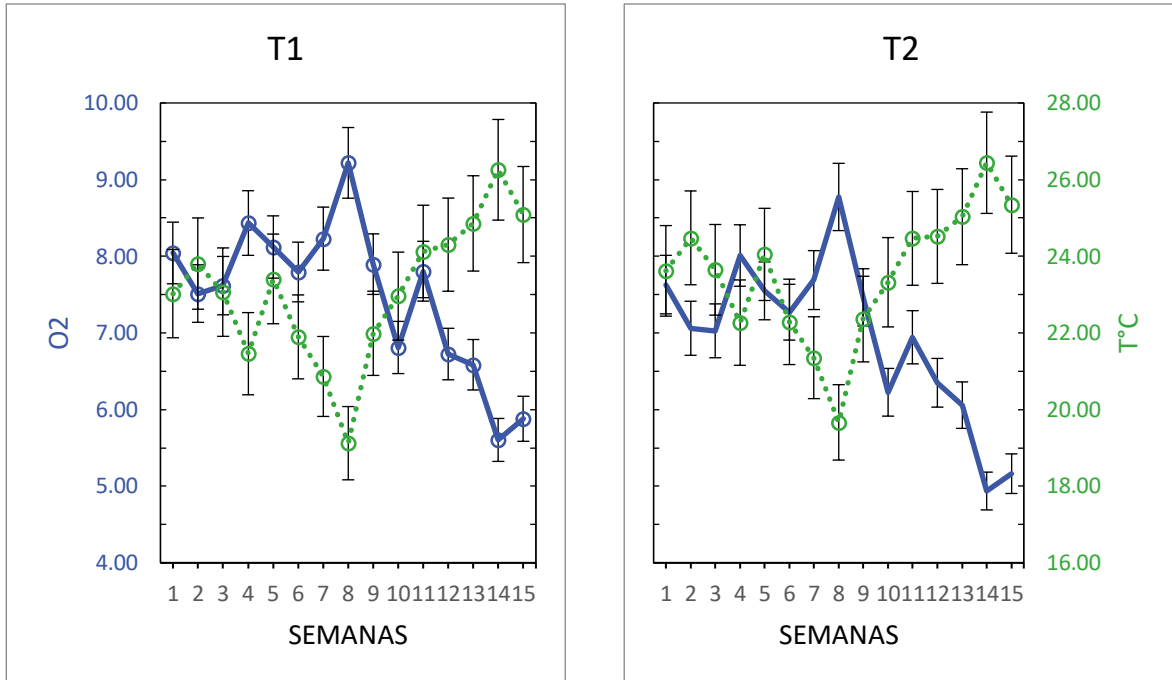
Álzate (2017) recomienda concentraciones de OD cerca de 6 mg. L⁻¹ y una saturación mínima del 60% para garantizar el adecuado desarrollo del *P. brachypomus*. Fisiológicamente a medida que aumenta la biomasa se reduce el consumo de OD (Sastre et al., 2004), por lo que el monitoreo constante del oxígeno disuelto es de pieza fundamental. Ambos indican que los peces requieren niveles de oxígeno mayor a 5 mg. L⁻¹, encontrándonos en los valores recomendados por los autores.

Hargreaves, (2013) y Luo et al., (2014), sugieren que valores por encima de 6 mg. L⁻¹ permite que las bacterias heterotróficas conviertan el amonio en biomasa bacteriana que influye directamente sobre la actividad metabólica de las células dentro del flóculo. El sistema biofloc demanda concentraciones de oxígeno para el proceso de transformación y remoción del nitrógeno (Avnimelech, 2006), siendo uno de los parámetros de calidad de agua más importantes en el cultivo, no sólo para cubrir la demanda de oxígeno de la especie en cultivo sino para mantener en adecuadas condiciones la población bacteriana en el cultivo.

Los valores de oxígeno y el porcentaje de saturación se encuentran estrechamente relacionados. En el presente estudio ambos parámetros presentan significancia entre tratamientos, con una diferencia promedio de 0.5 mg. L⁻¹, resaltando que en ambos casos el porcentaje de saturación se encontró por encima de lo recomendado. En la figura 4, se presenta la variación del oxígeno disuelto (mg. L⁻¹), durante la etapa experimental, en contraste con la temperatura.

Figura 4

Variación del oxígeno disuelto mg. L⁻¹ y temperatura (°C) durante el periodo experimental bajo dos densidades de cultivo



Nota: En la figura se muestra la variación del oxígeno disuelto y la temperatura en la etapa de experimentación, para ambos tratamientos se ve el notable descenso del oxígeno y el aumento de la temperatura a lo largo de la etapa de experimentación. T1: Tratamiento 1, T2: Tratamiento 2

Los valores del oxígeno disuelto en la semana cuatro y ocho presentaron incrementos debido a la presencia de friajes en la región. Esta tendencia está relacionada a la temperatura y la tasa de consumo de oxígeno, es decir a medida que la temperatura aumenta, la tasa metabólica de los peces en cultivo aumenta y viceversa, ocasionando mayor demanda de oxígeno disuelto (Sastre et al., 2004). Por lo tanto, se podría afirmar que en épocas frías la tasa de consumo de oxígeno fue menor y el oxígeno disuelto no disminuyó. Asimismo, la temperatura y el OD, son factores íntimamente relacionados entre sí, de tal forma que la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye a medida que aumenta la temperatura, lo cual concuerda con la variación de los niveles de oxígeno presentada en la figura 04.

A partir de la semana nueve (09) la concentración de oxígeno presentó descensos para el T1 y T2 con concentraciones mínimas de 5.88 y 5.16 mg. L⁻¹ respectivamente. Esto se explicaría por la etapa de madurez en la que se encontraba el sistema ya que los organismos heterotróficos y el incremento de biomasa en el cultivo generaron el incremento de compuestos nitrogenados que a su vez elevó la cantidad de microorganismos heterotróficos, demandantes de mayor cantidad de oxígeno disuelto para asimilar el amonio (Avnimelech, 2009).

Poleo et al., (2011) sostiene que la concentración de oxígeno disuelto en el agua es un factor importante para aumentar la densidad de cultivo. En su estudio obtuvo niveles de oxígeno superiores a 4 mg. L⁻¹ en un sistema cero recambios (SCR) con una densidad de cultivo de 31.25 alevines.m⁻³ de *P. brachypomus*. Asimismo, Benavides y López (2012) obtuvieron promedios de oxígeno disuelto mayores a 4 mg. L⁻¹ a densidades de 300 peces.m⁻³, indicando que la aireación en el sistema biofloc es fundamental para mantener los niveles de oxígeno disuelto en el sistema.

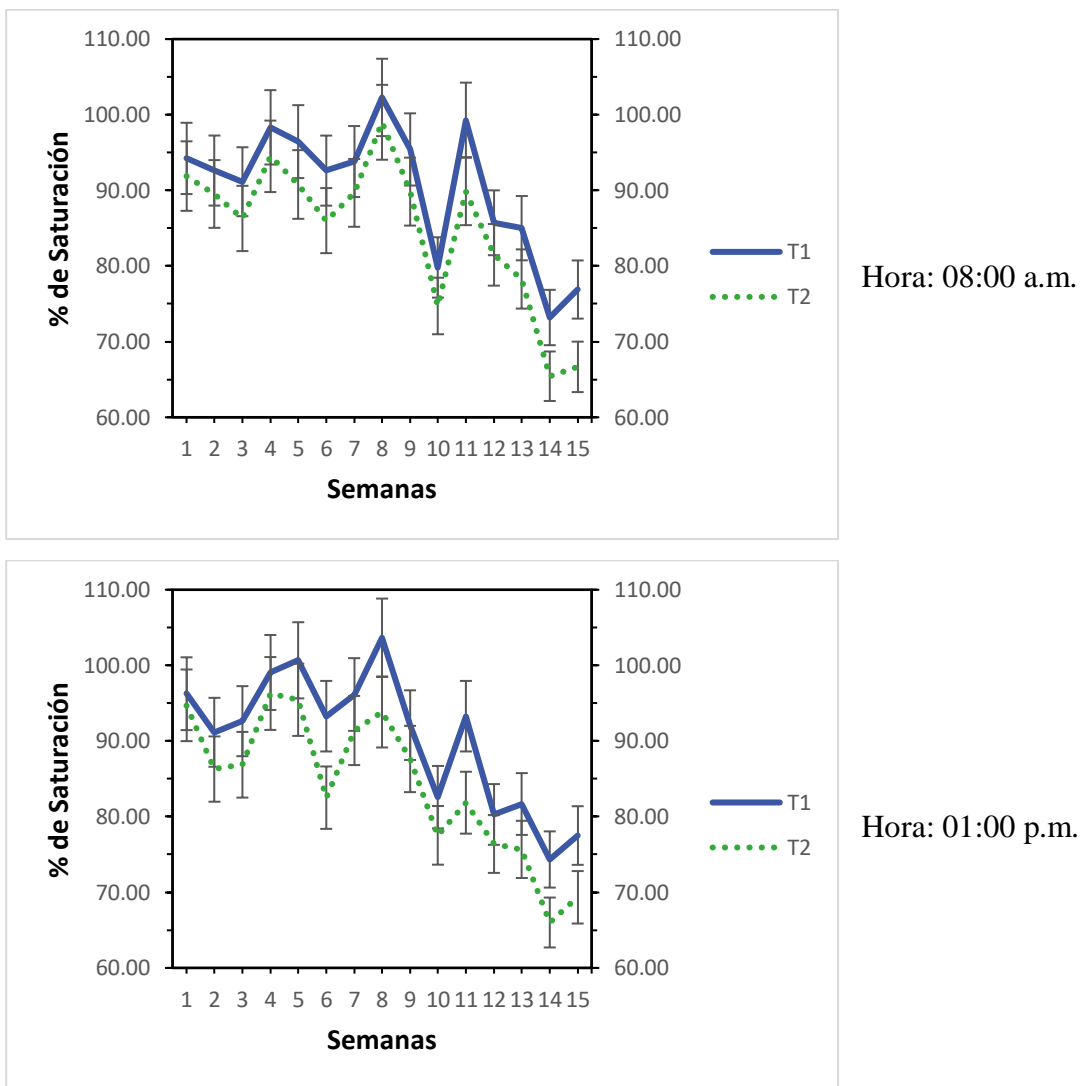
Por otro lado, el porcentaje promedio de saturación de oxígeno para el T1 y T2 fue de 90.1% y 84.2 % respectivamente, presentando diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, durante la experimentación se registraron caídas a partir de la semana nueve obteniendo caídas promedio de 71.67 % y 63.28 % en T1 y T2 respectivamente (figura 05)

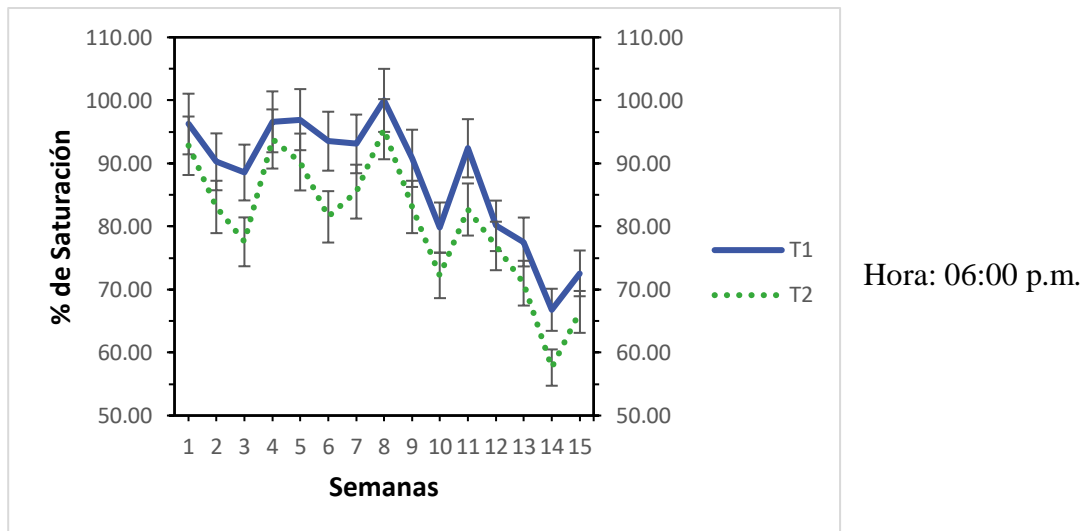
Carbo y Cedales (s.f), afirman que el sistema de aireación garantiza los niveles del porcentaje de saturación entre un 95 % y 100%, valores óptimos para la eliminación de CO₂, así como la suspensión de los sólidos disueltos. Por otro lado, Collazos (2014), sugiere porcentajes de saturación mayores a 60% en *P. brachypomus*, mientras que Kubitza (2011), indica que el porcentaje de saturación óptimo para el cultivo de tilapia comercial es de 70.5%. En el presente estudio, ambos tratamientos no se encontraron dentro del rango recomendado, se puede inducir que debido a puntos de anoxia representada en flóculos de mayor tamaño que se encontraban en la superficie, para ello se recomienda realizar mejoras en la distribución del sistema de aireación y evitar puntos de anoxia que afecten en el porcentaje de saturación.

La variación de la concentración de los porcentajes de saturación de oxígeno tomada en los tres horarios durante el periodo de experimentación para ambos tratamientos se presenta en la figura 5.

Figura 5

Variación del porcentaje de saturación de oxígeno durante el periodo experimental para ambos tratamientos, promedio por cada horario.





Nota: En la imagen se muestra la variación del porcentaje de saturación (%S) de oxígeno expresado en mg. L^{-1} , en los 03 horarios de toma de muestra para cada tratamiento, en las figuras se puede apreciar el descenso del %S a medida que el tiempo de experimentación se incrementa.

Temperatura

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$) respecto a la temperatura, como se observan en la tabla N°9. Los promedios para el T1 y el T2 fueron de 22.98 ± 2.4^a °C y 23.4 ± 2.2^a °C respectivamente.

Según González- Heredia y Gomes (1998), afirman que la especie *P. brachypomus* es considerado un pez de aguas cálidas, con temperaturas máximas entre 28 y 31 °C. Hargreaves (2013), menciona que las temperaturas tropicales entre 27 y 28 °C son ideales para mantener una alta concentración de bacterias suspendidas en la columna de agua, mientras que Lango (2012), indica que estos valores garantizan una adecuada velocidad de reacción en el proceso de remoción de los compuestos nitrogenados para los cultivos bajo la tecnología biofloc.

En el presente estudio las temperaturas presentaron fluctuaciones constantes a lo largo de la experimentación, debido a las condiciones climáticas de la región, obteniendo valores de temperatura mínima en el T1 y T2 de 15.50 y 16.30 °C respectivamente. Las temperaturas reportadas en el estudio, no se encuentran dentro de los rangos recomendados por los autores.

Los friajes ocurridos en la región de Madre de Dios fueron reportados por el Centro de Operaciones de Emergencia regional (COER Madre de Dios), en donde indican las temperaturas mínimas de ambiente de la región, estos valores se encuentran vinculados directamente al descenso de la temperatura de las unidades de cultivo en el periodo de la experimentación, a continuación, se detalla los valores de temperatura ambiente de la región en cada friaje, tabla 10:

Tabla 10

Periodo de friaje y temperaturas reportados durante la etapa experimental

N° de Friaje	Fecha	Temperatura ambiente mínima (°C)	Disposición propia de friaje	Temperatura promedio en los tanques de geomembrana (°C)	
				T1	T2
01	05 -08 de julio de 2019	14	I Friaje	20.36	20.95
02	16 -17 julio de 2019	19		23.18	23.8
03	26 de julio de 2019	14	II Friaje prolongado	20.10	20.40
04	24 -28 de julio de 2019	13		21.33	21.52
05	03– 05 de agosto de 2019	11		18.58	19.60
06	20– 21 de agosto de 2019	19	III Friaje	22.53	22.98

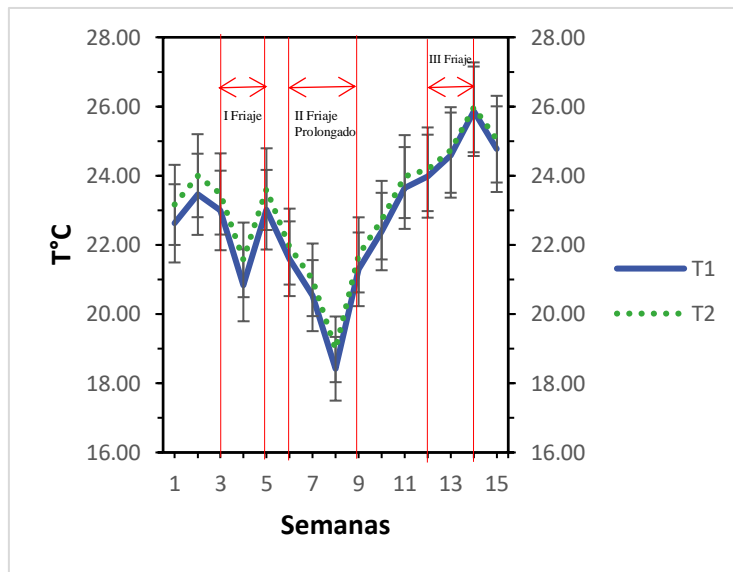
Nota: En la tabla de muestra los periodos de friaje que se tuvo durante el periodo de experimentación, en donde se visualiza que a medida que el periodo de friaje es prolongado la temperatura del agua de los tanques disminuye significativamente, para ambos tratamientos.

Las temperaturas mínimas durante el periodo de experimentación se encontraron por debajo de lo recomendado por autores, esto se ve reflejado en el crecimiento de la

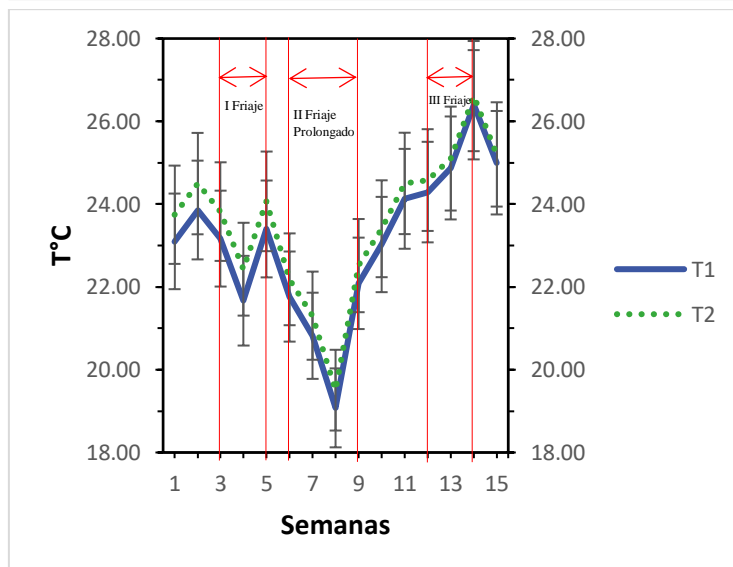
especie en cultivo, afirmación corroborada por Sastre (2004), el cual indica que los efectos de la temperatura inciden directamente en el desarrollo corporal del individuo y el oxígeno disuelto en el agua. En la figura 6, se muestra las fluctuaciones e incidencias de temperaturas debido al friaje ocurrido durante el desarrollo de la presente investigación.

Figura 6

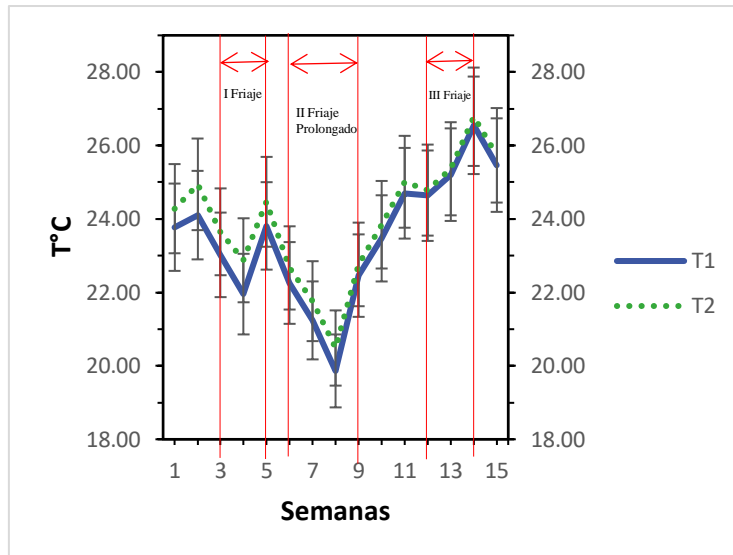
Variación de la temperatura durante el periodo experimental, toma de parámetros tres veces al día.



Hora: 08:00 a.m.



Hora: 01:00 p.m.



Hora: 06:00 p.m.

Nota: En la figura se muestra la variación de la temperatura durante el periodo experimental, en donde se aprecia que la temperatura tuvo oscilaciones con tendencia a disminuir hasta la semana 8 y a aumentar hasta finalizar el periodo de experimentación en ambos tratamientos.

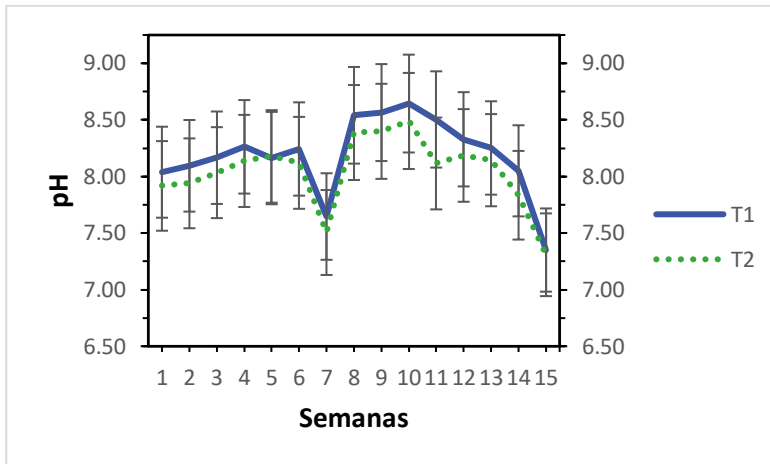
pH

Los valores promedio de pH para el T1 y T2 fueron de 8.2 ± 0.3^a y 8.0 ± 0.4^b respectivamente, mostrando diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). El pH se mantuvo estable hasta la semana seis (06) para ambos tratamientos, presentando una ligera caída en la semana siete (07) con valores para T1: 7.69 y T2: 7.50. Esta ligera caída está vinculada con las bajas temperaturas que se presentaron en el cultivo durante los friajes acontecidos, resaltando que para el tratamiento 2 el descenso fue mayor (figura 07).

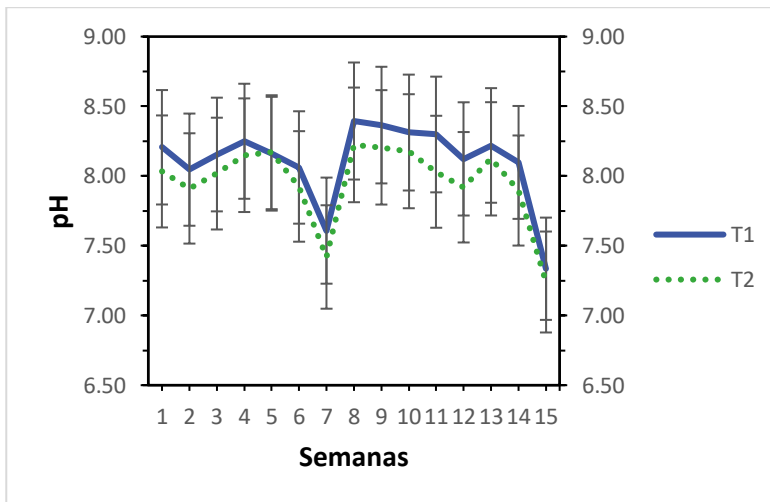
A partir de la semana 11, el pH presentó descensos para ambos tratamientos, este descenso es justificado, debido a que los organismos heterótrofos interfieren sobre el pH en el medio de cultivo (Vinatea, 2011). En este aspecto, el cultivo presenta procesos de descomposición y respiración, en el cual se libera CO₂, que mediante el proceso de hidrólisis origina ácido carbónico y iones de hidrógeno (Benavides, 2012). Por otro lado, Emerson (1975) indica que la temperatura y el pH presentan una correlación positiva, es decir, a menor temperatura el pH disminuye al igual que el amonio tóxico o no ionizado. Esto corrobora los resultados observando la disminución de la temperatura con la disminución del pH desde la semana 5 hasta la semana 11, indicados en la figura 7.

Figura 7

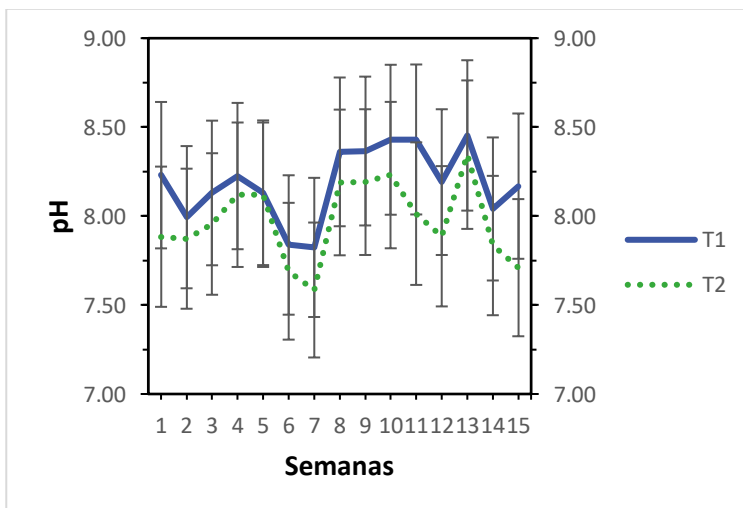
Variación del potencial de hidrógeno (pH) durante el periodo experimental, promedio tomado en 3 horarios.



Hora: 08:00 a.m.



Hora: 01:00 p.m.



Hora: 06:00 p.m.

Nota: La figura muestra la variación del potencial de hidrógeno (pH), tomado durante los 03 horarios en el día, para ambos tratamientos. Se logra visualizar la oscilación del pH, acentuándose en la semana 6 y 7.

Compuestos nitrogenados

Durante la fase experimental las concentraciones de amonio se mantuvieron en un promedio de 0.2 ± 0.6^a para ambos tratamientos; las concentraciones de nitrito para T1: 0.7 ± 0.1^a y para T2: 0.5 ± 0.1^a . Comparando estos resultados con estudios anteriores se observa que, los valores obtenidos se encuentran en rangos óptimos para el cultivo de *P. brachypomus* en sistema biofloc. Chaverra et al., (2017) reportaron concentraciones de nitrógeno amoniacal entre 0.3 ± 0.6 y 0.05 ± 0.1 mg. L⁻¹ y nitritos entre 2.4 ± 1.6 y 0.9 ± 1.0 mg. L⁻¹; mientras que Alzate (2017), reportó valores de amonio < 0.2 mg. L⁻¹ y nitrito < 0.5 mg. L⁻¹. Por otro lado Abab et al., (2014), encontraron concentraciones de amonio de 0.9 ± 0.8 mg. L⁻¹ y de nitrito de < 0.05 mg. L⁻¹ en sistema BFT. Así también, Bru et al., (2016), bajo un sistema de policultivo de *P. brachypomus* y *O. niloticus* encontraron valores de amonio de 2.3 ± 0.1 mg. L⁻¹ y amonio no ionizado de 0.3 ± 0 mg.L⁻¹. Todos los estudios mencionados fueron desarrollados bajo el cultivo biofloc. En la figura N°08, se observa, el comportamiento fluctuante de los parámetros nitrogenados del presente experimento, esta variación se debió a la presencia de microorganismos y bacterias nitrificantes, afirmando lo expresado por Schneider, (2005), en cuanto a la relación de carbono nitrógeno, el sistema de cultivo es estable y equilibrado ya que los residuos nitrogenados se convierten en biomasa bacteriana.

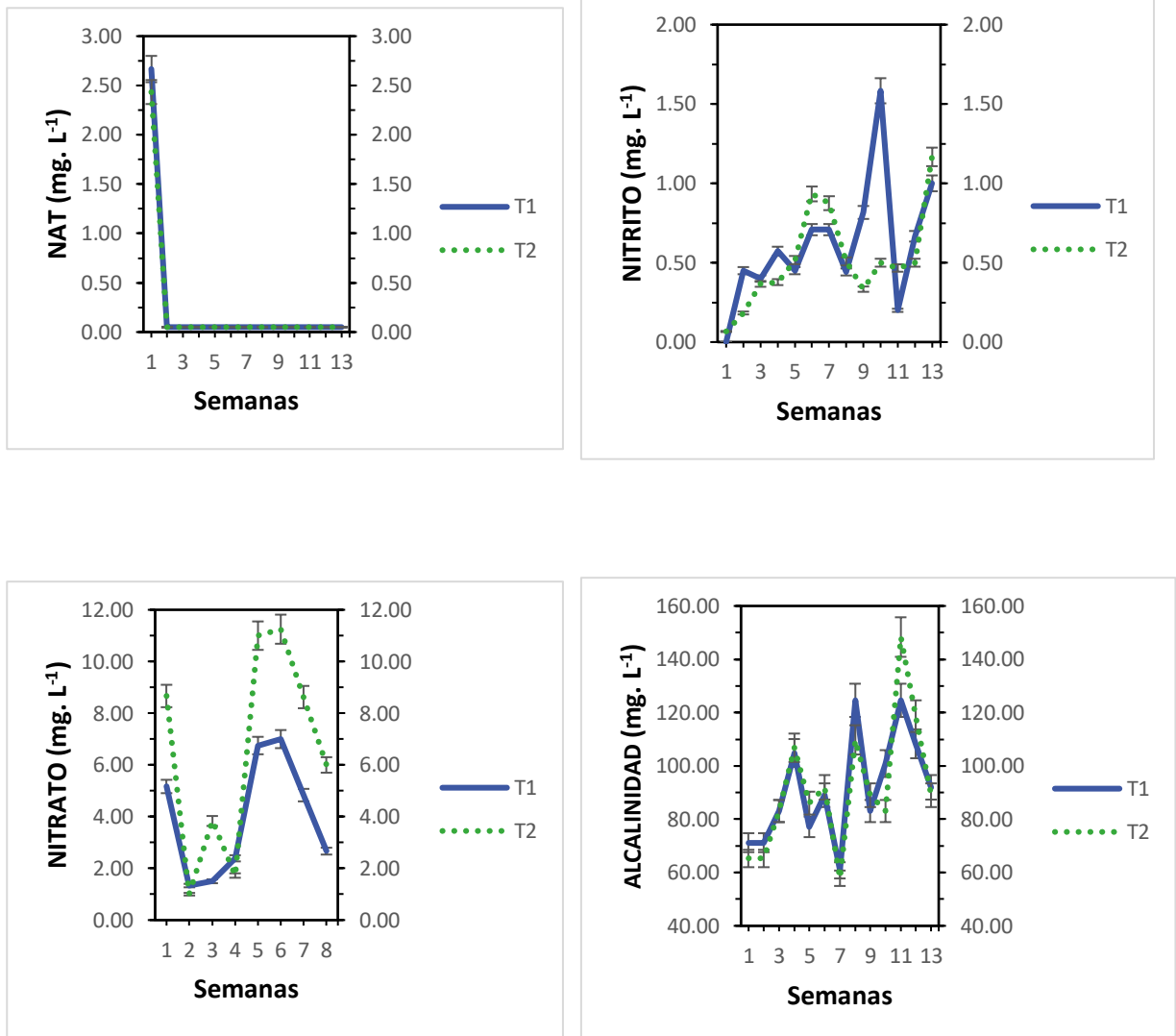
Por otro lado, los valores de nitrato fueron de 4 ± 2.9^a y 6.3 ± 4.4^a mg.L⁻¹ para el T1 y T2 respectivamente. Se observa en la figura 08 una tendencia en aumento al final del periodo experimental, a diferencia del amonio y el nitrito que tienden a disminuir, indicando la estabilización del sistema. Esta fluctuación es justificada por Lin (2005), quien sostiene que el nitrógeno amoniacal total pasa por procesos de conversión a nitrito y después a nitrato por las bacterias nitrificantes debido al proceso de nitrificación la cual es corroborado por Xu et al., (2012), quienes indican que es necesario en un sistema biofloc presente una comunidad bacteriana nitrificante bien establecida para ayudar a que las concentraciones del amonio total y nitrito pueden ser controladas de una manera efectiva durante el proceso de nitrificación.

La presencia del nitrito es común siempre en los sistemas intensivos ya que es un intermediario tanto en la nitrificación como en la desnitrificación debido a la

inhibición libre del NH_3 durante estos procesos (Luo et al., 2014). Según Avnimelech (2015) este comportamiento es característico de los sistemas donde se está produciendo la nitrificación e implica la presencia de microorganismos nitrificantes y la liberación de iones hidrogeno, lo que conduce a una disminución de la alcalinidad y pH del agua de cultivo biofloc. Por otro lado, Collazos (2014) indica que el pH y la alcalinidad en sistemas de cultivo biofloc normalmente permanecen estables dentro de los rangos de 7 a 9 y > 50 de pH y $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente existiendo una relación directa entre los procesos de nitrificación y alcalinidad e inversos en relación con el pH. Por lo que, cuando el pH es alto promueve la toxicidad del amonio no ionizado (Avnimelech, 2009). En el presente estudio los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos sugeridos por los autores, estableciendo un sistema óptimo y la eficiencia del sistema de cultivo biofloc.

Figura 8

Concentraciones de nitrógeno inorgánico en el periodo experimental



Nota: En la figura se muestra las concentraciones de nitrógeno inorgánico en el periodo experimental para ambos tratamientos, en donde (A) NAT; (B) nitrógeno de nitritos (NO₂); (C) nitrógeno de nitratos (NO₃). Media ± desviación estándar.

Sólidos sedimentables:

La maduración del cultivo biofloc para ambos tratamientos se inició el día 25 de mayo del 2019 y finalizó el día 25 de junio del mismo año por un periodo de 30 días con una producción de los sólidos sedimentables (floc) oscilaba entre 2-3 ml.L⁻¹ en promedio (anexo 8), esta maduración se realizó previo al proceso de experimentación. A partir de la maduración del biofloc, este fue llevado a cada unidad productiva, induciendo el crecimiento progresivo del floc durante la etapa experimental. El valor promedio del volumen del floc fue de 4.9 ± 4.0^a y 9.15 ± 7.5^b ml.L⁻¹ para el T1 y T2 respectivamente, con diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

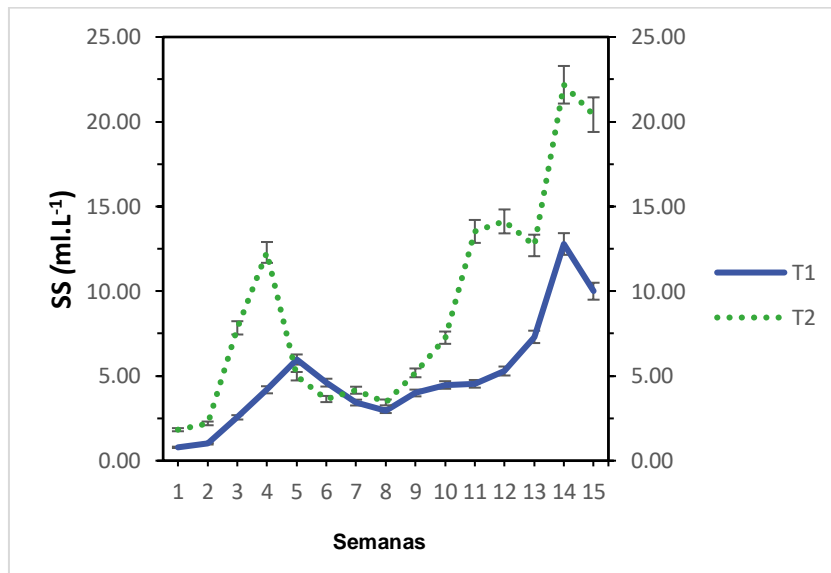
El volumen del floc en cada tratamiento presentó notable incremento a partir de la semana 09, teniendo picos en la semana 14 hasta el final de la experimentación. Los volúmenes alcanzaron valores de hasta 20.30 y 34 ml.L⁻¹ para el T1 y T2 respectivamente (Figura 9). El desarrollo de los sólidos sedimentables en óptimas condiciones presenta crecimiento progresivo, sin embargo, el estudio evaluado ha demostrado un crecimiento lento, debido a la presencia de los friajes y temperaturas bajas en la región, con temperaturas en el medio ambiente de hasta 11°C y en las unidades productivas de hasta 16.6°C. Benavides y López (2012) demostraron que a temperatura de 15 °C resulta un 75% menos la formación de flóculos, encontrándose estrechamente relacionada a la cantidad de oxígeno disuelto y la disminución de la actividad microbiana en el sistema, esta afirmación corrobora el lento crecimiento de los sólidos sedimentables desde la semana 5 hasta la semana 9.

A partir de la semana 09, el aumento de los sólidos sedimentables se da por el constante ingreso de alimento balanceado, excretas de los organismos y el incremento de las temperaturas. A medida que la capacidad de carga aumentó se promovió el desarrollo de organismos heterotróficos y autotróficos en condiciones controladas y equilibradas, alcanzando valores máximos en la semana 14.

Avnimelech (2007) sugiere que los valores ideales de sólidos sedimentables en cultivo de tilapias en sistemas biofloc deben mantenerse entre 20 y 30 mL.L^{-1} , valores por encima de estos pueden causar dificultades respiratorias, afectando la ingesta de alimento. Por otro lado, Bru (2011) presentó resultados de volumen de floc por encima de 25.0 mL.L^{-1} bajo un policultivo de *P. brachypomus* y *O. niloticus*, el cual no afectó el desempeño del crecimiento de las especies, contrastando con los resultados obtenidos en el estudio el volumen de floc se encuentra dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de la especie *P. brachypomus*. En la figura 9 se aprecia las variaciones del floc durante el periodo experimental.

Figura 9

Variaciones de los sólidos sedimentables (mL.L^{-1}) durante el periodo de experimentación para ambos tratamientos.



Nota: En la figura se muestran la oscilación de los sólidos sedimentables (mL.L^{-1}), presentando mayor concentración para el tratamiento 2 (T2) que para el tratamiento 1 (T1).

4.2. Evaluación del comportamiento productivo

4.2.1. Parámetros productivos de alevines de *P. brachypomus*

En la tabla 11, se presentan los resultados obtenidos al término de la fase experimental para el tratamiento 1 (T1) y el tratamiento 2 (T2):

Tabla 11

Valores de los parámetros productivos de alevines de *P. brachypomus*, durante la fase experimental en el sistema biofloc (BFT)

Parámetros	Tratamientos	
	T1: 43 alevines. m ⁻³	T2: 72 alevines. m ⁻³
Wi (g)	6.2 ± 2.9 ^a (1.5 – 14.8)	5.9 ± 2.9 ^a (1.3 – 13.8)
Wf (g)	87.7 ± 27.4 ^a (56.6 – 167.8)	81.19 ± 20.6 ^b (40.2 – 136.9)
Li (cm)	5.5 ± 1.1 ^a (1.5 – 14.8)	5.3 ± 1.1 ^b (1.3 – 13.8)
Lf (cm)	13.2 ± 1.5 ^a (11.0– 15.8)	13.0 ± 1.1 ^a (10.4 – 15.7)
Población inicial (alevines)	1500	2500
GPD (g. día⁻¹)	0.86 ± 0.1 ^a	0.79 ± 0.02 ^a
B inicial (Kg)	9.24 ± 0.1 ^a	14.69 ± 0.1 ^a
B final (Kg)	131.75 ± 15.01 ^a	202.99 ± 5.46 ^b
Capacidad de carga (kg. m⁻³)	3.76 ± 0.43 ^a	5.8 ± 0.16 ^b
TEC (%/d)	2.79 ± 0.1 ^a	2.76 ± 0.6 ^a
FCA	0.87 ± 0.08 ^a	0.85 ± 0.14 ^a
S (%)	100 ± 0.0 ^a	99.2 ± 0.12 ^a
K	3.8 ± 0.22 ^a	3.7 ± 0.13 ^a
Cantidad de alimento (kg)	105.01 ± 30.18	163.66 ± 16.02

Nota: En la figura se muestran los valores de los parámetros productivos de alevines de *P. brachypomus* para ambos tratamientos en el periodo de experimentación en el sistema biofloc (BFT). Donde la Media ± desviación estándar. (Mínimo y Máximo); Wi: Peso inicial, Wf: Peso final, Li: Longitud inicial, Lf: Longitud final, GPD: Ganancia de peso diario, B: Biomasa, TEC: Tasa de crecimiento específico, FCA: Factor de conversión alimenticia, S: Supervivencia, K: Factor de condición.

En la tabla 11, se observan los parámetros productivos de la especie *P. brachypomus*, cultivados bajo la tecnología biofloc (BFT), se observa que no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), entre los tratamientos a lo largo del periodo experimental.

Los pesos iniciales no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$), asegurando la uniformidad de la distribución del material biológico por cada tratamiento, los mayores pesos finales fueron obtenidos en el tratamiento 1, sin embargo, la mayor biomasa fue obtenida en el tratamiento 2, con similares TCE, GPD, FCA y porcentaje de supervivencia.

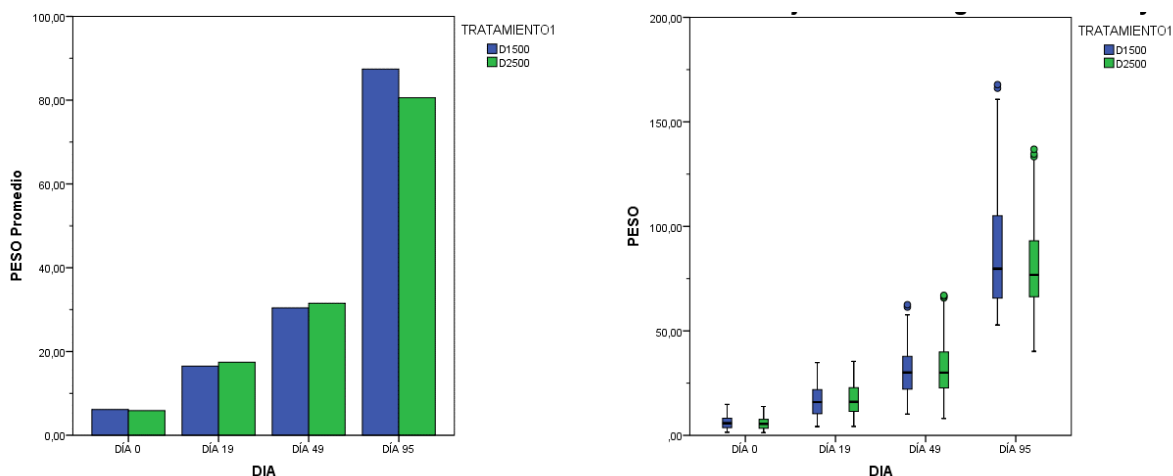
En la figura 10 se observa que, con relación a los pesos, la segunda y tercera biometría realizada en los días 19 y 49 respectivamente, no existe diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$), a diferencia de la biometría final, donde los pesos finales presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos con valores de 84.7 y 81.19 gramos para T1 y T2 respectivamente. En el mismo gráfico, se observa el comportamiento del crecimiento en gramos durante los 95 días para ambos tratamientos, desde la etapa de alevinaje hasta la etapa de juveniles para *P. brachypomus*. Esta diferencia significativa en los pesos según Granados (2000) y Yousif (2002), indican que el aumento de la densidad de cultivo trae como consecuencia la reducción en el crecimiento, lo cual conduce a una mayor competencia por espacio, alimento además de estrés y alta generación de metabolitos en los parámetros de calidad de agua afectando el crecimiento. Asimismo, Bru et al., (2016) indica que el efecto de una alta densidad de siembra puede incidir negativamente sobre el desempeño productivo, en nuestro estudio se podría corroborar que la alta densidad de cultivo afecto la ganancia de peso de la especie.

Los resultados se evidenciaron que la capacidad de carga para el T1 y T2 fue de 3.7 y 5.8 kg. m^{-3} respectivamente, demostrando mayor carga para el tratamiento 2. Los resultados permiten inferir que la capacidad de carga en los sistemas de cultivo con biofloc influye en las variables zootécnicas y de rendimiento en el cultivo, demostrando que con una óptima capacidad de carga se obtiene un mayor aumento en el peso promedio de los peces.

Al respecto, lo ideal es optimizar la capacidad de carga estándar en la que la relación costo beneficio y producción sea la adecuada (Brol et al., 2017).

Figura 10

Gráficos de barras y cajas del incremento de peso durante el periodo experimental



Nota: En la figura se muestra el incremento del peso promedio de la especie, datos obtenidos en las 4 biometrías realizadas durante el periodo de experimentación, para ambos tratamientos.

Tasa de crecimiento específica (TCE)

Los valores promedio para la tasa de crecimiento específico fue de T1: 2.79 ± 0.1^a y T2: 2.76 ± 0.6^a , no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos. Los valores de TCE reportados en el periodo experimental, se encuentran por encima de lo reportado por otros autores, este parámetro decrece a medida que el tiempo transcurre, esta conducta es explicada Hephher (1993), quien afirma que los organismos más pequeños aprovechan eficientemente el alimento disponible y a medida que los peces van creciendo la tasa de crecimiento, el proceso fisiológico y metabólico disminuyen, asimismo, el *P. brachypomus*, al ser una especie omnívora acepta eficientemente el floc como fuente alternativa de alimento en etapas iniciales, diferenciándose en etapas mayores.

El desempeño productivo de la especie *P. brachypomus*, fue evaluada por Bru (2016), la cual consistió en evaluar dietas en tres niveles de porcentaje de proteína T0: 16, T1: 24 y T2: 32 %, presentando tasas de crecimiento para cada tratamiento de 1.3, 1.4 y 1.4 %/ día

respectivamente. Asimismo, Benavides y López, (2012) evaluaron dietas experimentales de 45% de proteína, obteniendo TCE bajo el cultivo biofloc de 3.25 %, estos resultados pueden estar asociados al requerimiento de proteína de la especie.

La TCE, está relacionada directamente con el tipo de alimento proporcionado y el porcentaje de inclusión de insumos que mejoren el crecimiento de los individuos como el porcentaje de proteína. Hernández et al., (2010), afirma que un exceso o deficiencia de los niveles de inclusión de proteína en las dietas de los peces genera un desbalance y/o retraso en la tasa de crecimiento específica. Holulihan et al., (2001) ha demostrado que la TCE depende de la composición química de la ración, la cantidad de alimento ofrecido y la frecuencia de suministro, estas características fueron fundamentales para el desempeño productivo de los peces evaluados en la presente investigación, resaltando que el floc al ser alimento disponible en el agua, este presenta un valor proteico que oscila entre el 35 a 50% de proteína bruta, Benavides y López (2012).

Ganancia de peso diario

La ganancia de peso diaria (GPD) para el Tratamiento 1 y Tratamiento 2 fue de 0.86 ± 0.1^a y 0.79 ± 0.02^a gramos. día⁻¹ respectivamente, sin diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$). Los valores obtenidos se encuentran por debajo de los reportados por Poleo et al., (2011) quien trabajó en sistema RAS obteniendo GPD de 2.33 ± 0.03 gramos. día⁻¹ pero con densidades de 31 peces.m⁻³ y los de Abad et al., (2014), quienes reportaron GPD de 2.11 gramos. día⁻¹ en cultivos con una densidad de 17.3 peces.m⁻³ bajo sistema biofloc. Por otro lado, Bru (2016) reportó GPD de 0.7 gramos/día a una densidad de 80 peces.m⁻³ de *P. brachypomus*. Se podría aseverar que, a menor densidad de cultivo bajo sistemas intensivos incrementa la ganancia de peso.

Sandoval (2020), en la especie *P. brachypomus* reportó incrementos de peso en todos sus grupos experimentales cuando la tendencia de la densidad de la población fue menor e incluso significativa, mientras que Granado (2000) afirma que el aumento de la densidad trae como consecuencia la reducción del crecimiento en los sistemas intensivos de producción (BFT y RAS). Los resultados de la ganancia de peso obtenidos en la presente

experimentación corroboran los estudios anteriores, es decir que a una mayor densidad de siembra la ganancia de peso tiende a disminuir.

Sobrevivencia

Los valores de sobrevivencia se muestran en la tabla 11, la sobrevivencia fue calculada al final de la experimentación. El porcentaje de sobrevivencia no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos, mostrando valores promedios de 100 ± 0.0^a y 99.2 ± 0.12^a % para el T1 y T2 respectivamente.

Poleo et al., (2011), obtuvo valores de sobrevivencias en *P. brachypomus* de 92 ± 7 % bajo sistemas super intensivos bajo la tecnología biofloc (BFT); Azim y Little (2008) registraron sobrevivencias de 100% en cultivos BFT y RAS; Chaverra (2017) registró sobrevivencias del 92% de *P. brachypomus* en cultivo biofloc. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con estudios anteriores afirmando que al cultivar animales en sistema biofloc se obtiene mayores tasas de sobrevivencias.

Factor de conversión alimenticia (FCA)

Los valores del Factor de conversión alimenticia se muestran en la tabla 11, los resultados no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos, mostrando valores promedios de T1 fue de 0.87 ± 0.08^a mientras que para el T2 fue de 0.85 ± 0.14^a . Estos valores permiten evidenciar que en términos de rendimiento en el cultivo biofloc no afectan de manera negativa al factor de conversión alimenticia, ya que una de sus principales funciones la transformación en proteína microbiana, la cual es aprovechada en el cultivo, reduciendo la relación de conversión alimenticia (Emerciano et al., 2012 y Ray 2010). Por lo tanto, es probable que los alevines de hayan filtrados flóculos del medio de cultivo.

La calidad nutricional del biofloc presente en el medio de cultivo oscila entre el 25 y 50% de proteína (Emerciano et al., 2013), obteniendo una ganancia de alimentación potencial de 10 a 20% (Hargreaves, 2013), el consumo de biofloc contribuye indirectamente en el

crecimiento de los organismos cultivados (Avnimelech, 2009; Ekasari et al., 2010; Wasieliesky et al., 2006). El consumo de los microorganismos asociados a los bio floculos reduce la tasa del FCA (Maraví, 2017), asimismo, Azim y Little (2008) realizaron un estudio donde el FCA tuvo óptimos resultados que incremento en un 45% la producción neta a comparación al grupo control, de igual manera Vásquez-Torres (2012) indica que los valores de proteína cruda por encima del 31,6%, afectan positivamente a la tasa de conversión alimenticia (FCA).

Además, Schneider et al., (2005) señalan que el consumo de bioflocs puede aumentar la eficiencia de utilización de los alimentos mediante la recuperación de una fracción del nutriente excretado y la retención de nitrógeno de los alimentos agregados entre un 7 y 13%. Chaverra et al., (2017) reportó FCA promedio de 1.1 ± 0.1 , Poleo et al., (2011) reportaron FCA de 1.5 y Alzate (2017) reportó FCA 1.1 ± 0.1 , los estudios fueron logrados desde la etapa de alevinaje hasta la etapa juvenil y cultivadas en el mismo sistema, los resultados obtenidos en el estudio evidencian la eficiencia de la especie bajo la tecnología biofloc y el alimento suministrado debido al aporte adicional de la proteína microbiana.

Por otro lado, en el presente estudio se evidenció dentro del floc la presencia de una comunidad plantónica como rotífera, copépoda, ciliada, algas, y partículas muertas entre otros microorganismos (Anexo 09), la cual formó parte de la biomasa microbiana que probablemente fue aprovechada por los organismos en el cultivo. Emereciano (2011) menciona que el biofloc está compuesto fundamentalmente de bacterias heterotróficas, protozoos, nematodos, rotíferos, copépodos, fitoplancton, entre otros, las cuales desempeñan dos papeles fundamentales: el mantenimiento del agua por medio de la retención de los compuestos nitrogenados generando proteína microbiana, disponible las 24 horas del día en el sistema y se aprovechan como alimento complementario que disminuye la tasa de conversión alimenticia y consecuentemente aumenta la rentabilidad del cultivo.

Al ser un individuo de hábitos alimenticios omnívoros, el *P. brachypomus* acepta el biofloc como una fuente alternativa de alimento la cual es evidenciada en la filtración por parte de los peces y de esta manera suple proteína de calidad disponible en el medio de

cultivo, que será consumida por los peces en cultivo (Benavides y López, 2012), en el presente estudio se evidencia en los óptimos valores del factor de conversión alimenticia (FCA) de valores promedio menor a 1.

Capacidad de carga

Los valores de capacidad de carga fueron de 3.76 ± 0.43^a y 5.8 ± 0.16^b kilogramos.m⁻³ para el tratamiento T1 y T2 presentando diferencia significativa ($p < 0.05$), destacando el rendimiento productivo del tratamiento 2.

Resultados obtenidos en estudios anteriores con *P. brachypomus* bajo la tecnología biofloc, obtuvieron mejor productividad que los reportes en este estudio alcanzado valores de 15,9 kilogramos.m⁻³ a los 84 días utilizando una densidad de población de 42 4 peces.m⁻³ (Alzate-Díaz, 2017) la cual representa una capacidad de carga aproximada de 4.55 kilogramo.m⁻³, seguida de valores de 12,96 kilogramos.m⁻³ después de 192 días con una densidad de población de 31 peces.m⁻³ (Poleo et al., 2011), en ambos estudios mencionados el peso medio inicial fue mayor de 44 - 54 gramos respectivamente, asimismo, Azim y Little 2008 valores de 4.9 kilogramos.m⁻³ y de valores de 6 a 8 kilogramos.m⁻³ con el híbrido *C. macropomum x P. brachypomus* (Rodríguez et al., 2012). Las capacidades de carga estuvieron por encima de lo reportado en la presente investigación, esta diferencia se podría haber dado por la variación de temperatura durante el periodo de experimentación. Sin embargo, es importante resaltar que, los rendimientos obtenidos en términos de biomasa son relativamente elevados a comparación de los cultivos que se desarrollan en la región, teniendo una biomasa de hasta 10 veces más que los cultivos tradicionales.

2.6. Análisis de correlación de Pearson entre los parámetros de calidad de agua y las densidades de siembra en sistema biofloc

2.6.1. Análisis de los parámetros de calidad de agua

El análisis de componentes principales entre los diferentes compuestos nitrogenados y los parámetros del medio de cultivo durante los 95 días experimentales para el tratamiento 1 (T1), se presenta en la figura N° 11 mientras que los obtenidos para el T2, se presenta en la figura N° 12, los valores resultantes se presentan en el anexo 10 y 11.

Para el T1, se encontró que la temperatura tuvo una correlación inversa (-0.550) con el nivel de oxígeno disuelto (OD) debido a que afectó la solubilidad en el medio de cultivo a pesar de mantener aireación constante, De Schryver et al., (2008) indica que a mayor temperatura el OD es menor, ya que al aumentar la temperatura la solubilidad de los gases en el cultivo disminuyen y de igual manera el OD, asimismo la temperatura presentó relación inversa con el % de saturación (-0.541); el OD presentó correlación directa con los sólidos sedimentables (0.611),

Para el T2, la temperatura tuvo correlación inversa con el nivel de oxígeno disuelto (-0.530), con el porcentaje de saturación (-0.527) y correlación positiva con los sólidos sedimentables (0.507), los valores de correlación coinciden ligeramente con los del T1. El oxígeno disuelto (OD) para el T1 presentó correlación inversa con los sólidos sedimentables (-0.603), la cual está relacionada con turbidez y el aumento de la biomasa en el sistema, según Avinmelech et al., (2008) esta se relaciona con la caída del oxígeno y con el incremento de los sólidos sedimentables en el cultivo. Asimismo, el OD presentó una ligera correlación con el nitrito (0.043) y con el nitrato (0.460). Por otro lado, el pH y la temperatura de los T1 y T2 presentan correlaciones ligeramente neutras con valores de 0.062 y -0.006, sin embargo, según Emerson, 1975, estos parámetros presentan correlación positiva, es decir que a mayor temperatura mayor pH y amonio tóxico.

El T2 presentó correlación inversa con el nitrito (-0.372) y mínima correlación con el nitrato (0.0264), la cual es explicada por el proceso de nitrificación del sistema, el cual es

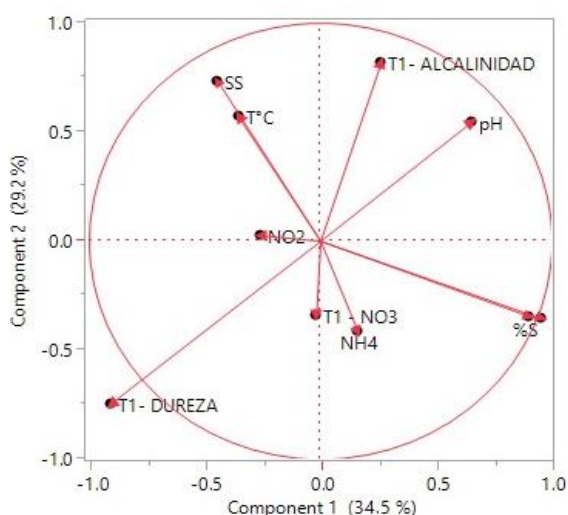
un proceso de oxidación del nitrógeno amoniacal total (NAT) y el consumo constante del OD, teniendo mayor producción y biomasa en el sistema.

El pH y la alcalinidad en el T1 y T2 presentaron correlaciones directas y positivas con la alcalinidad (0.782) y (0.703) respectivamente, debido a que a medida que el sistema de cultivo presente caída de pH la alcalinidad en el sistema se pierde, puesto que las bacterias quimio autotróficas al oxidar las moléculas de amonio estas liberan ácido fuertes (H⁺), impactando significativo sobre el pH del sistema. Por tal razón, Azim y Little (2008) consideraron que los sistemas biofloc pierden su capacidad buffer por lo que requieren adiciones frecuentes de fuente de carbonatos, con el fin de estabilizar el sistema. Debido a esta alta correlación que existe entre la alcalinidad y el pH, se deduce que la alcalinidad es un parámetro limitante en la formación del floc, es decir a medida que se ha ido controlado la alcalinidad en el sistema, el pH se estabiliza y por ende los niveles de los sólidos sedimentables se mantienen constantes.

Para concluir, respecto a análisis de componentes principales de correlación de Pearson los componentes principales determinantes fueron la temperatura y el oxígeno disuelto para ambos tratamientos, ya que se encuentran asociados estrechamente al desempeño productivo de la especie de cultivo.

Figura 11

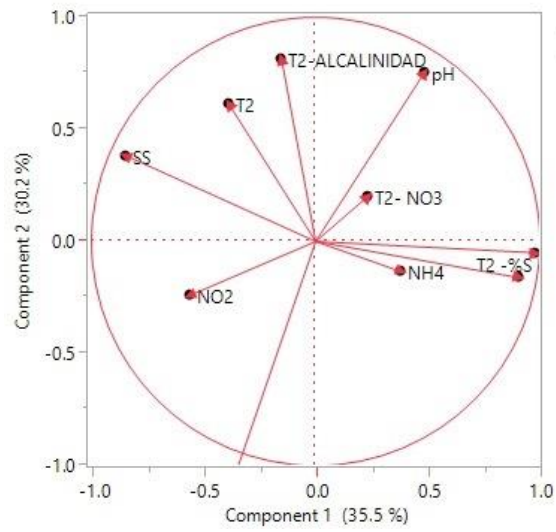
Análisis de componentes principales Tratamiento 1 (43 alevines.m⁻³)



Nota: En la figura se muestra el análisis de componentes principales de los parámetros de calidad de agua frente al tratamiento 1, durante el periodo de experimentación

Figura 12

Análisis de componentes principales Tratamiento 2 (43 alevines.m⁻³)



Nota: En la figura se muestra el analisis de componentes principales de los parametros de calidad de agua frente al tratamiento 2, durante el periodo de experimentación

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos nos llevan a aceptar la hipótesis planteada que menciona es posible de cultivar alevinos de paco (*P. brachypomus*) a densidades de 43 y 72 alevines.m³, bajo sistema biofloc.
2. El aumento de densidad de cultivo afecta ligeramente el crecimiento de *P. brachypomus*, teniendo mejores parámetros productivos en el tratamiento 1 bajo una densidad de 43 alevines.m³
3. Los parámetros productivos como la ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia, tasa de crecimiento específico y supervivencia no tuvieron diferencias significativas entre el tratamiento 1 y tratamiento 2.
4. La mayor biomasa con 202.98 kg, se obtuvo con la densidad de siembra de 72 alevines.m³
5. Los parámetros de calidad de agua bajo el cultivo biofloc presentaron correlaciones significativas en cada tratamiento, teniendo mayor correlación directa o inversa entre los parámetros de calidad de agua en el cultivo de mayor densidad (T2), los componentes principales determinantes fueron la temperatura y el oxígeno disuelto para ambos tratamientos,

VI. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos a lo largo del cultivo en la presente investigación se recomiendan lo siguiente:

1. En términos de productividad de alevines se puede sembrar a densidades 72 alevines.m³
2. Realizar un seguimiento y control diario de los parámetros de calidad de agua, debido a que a medida que la biomasa del cultivo incrementa, los parámetros físicos químicos del cultivo presentan frecuentes variaciones, con el fin de mantener estable el medio de cultivo.
3. Proveer de energías adicionales alternativas para épocas de friaje que afecten el desarrollo en el cultivo.
4. Evaluar el aporte proteico del floc en la etapa de alevinaje

VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Abad, D., Rincón, D., y Poleo, G., (2014). Índices de rendimiento corporal en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas Biofloc. *Zootecnia Tropical*, 32(2), 119-130.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079872692014000200003&lng=es&tylng=es
- Aguilar, N. (2006). Lo dulce del azúcar. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. La ciencia y el Hombre*.
[https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol19num1/articulos/azucar/index.htm#:~:text=Composici%C3%B3n%20de%20fructosa%20\(levulosa\),una%20de%20fructosa%20\(levulosa\)](https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol19num1/articulos/azucar/index.htm#:~:text=Composici%C3%B3n%20de%20fructosa%20(levulosa),una%20de%20fructosa%20(levulosa)).
- 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. Tesis MSc. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, p.78.
- APHA. (1998). *Standard methods for the examination of the water and wastewater*. American Public Health Association . Washington, EU. 22 ed.
- Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquaculture Eng*; 34 (3): 172-178.
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* 264. 40-147. p 5
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. TheWorldAquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. P.182
- Avnimelech, Y. (2012). *Biofloc technology -a practical guide book*, The World Aquaculture Society, Baton Rouge. 272 pp.
- Avnimelech, Y. (2015). *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. 3rd Edition. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States

- Avnimelech, Y. y Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15 N tracing. *Aquaculture*, 287(1), 163-168
- Azim, M. y D Little. (2008) The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. 283: 29-35
- Bakar, N., Nasir, N. M., Lananan, F., Hamid, S. H. A., Lam, S. S., y Jusoh, A. (2015). Optimization of C/N ratios for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing Bioflocs Technology. *International Biodeterioration y Biodegradation*, 102, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.001>
- Benavides, L. y López, W. (2012). Evaluación del efecto del biofloc en la producción de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachyomus*, Cuvier 1818) en condiciones de laboratorio. Tesis Ing. Nariño, Colombia. UNAR. 27-46 pp.
- Bioaquafloc, (2019). ¿Qué es el biofloc? El biofloc son microorganismos aglutinados en «bolitas». Consultado el 02 ene. 2019, En línea <https://www.bioaquafloc.com/biofloc/que-es-biofloc/>
- Bru, S. (2016). Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
- Brol, J., Pinho, S., Sgnaulin, T., Pereira, K., Thomas, M., De Mello, G., y Emerenciano, M. (2017). Tecnología de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. *Archivos de zootecnia*, 66(254), 229-235.
- Carbo, R y Celades, J. (S.f.). Ensayos preliminares de engorde de Tenca (*haliotis iris*) con tecnología biofloc. En IRTA (Investigacion y tecnología Agroalimentaria). - Carles de la Rápita, Tarraona. p. 2. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OsbhasvF09cJ:www.recerca.t.cat/bitstream/handle/2072/179057/P175carb%25C3%25B3R.pdf%3Fsequence%3D36+ycd=1yhl=esyct=clnkygl=co>

- Casas, D. (2008). Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva da cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Universidad Centro occidental Cabudare, Venezuela.
- Chaverra, S., García, J., Pardo, S. (2017). Efectos del biofloc sobre los parámetros de crecimiento de juveniles de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. Rev CES Med. Vet. Zoot. Vol 12(3): 170-180 p.172.
- Collazos-Lasso, L., Gutiérrez-Espinosa, M., y Restrepo-Betancur, L. (2014). Supervivencia de larvas de cachama blanca, *Piaractus brachypomus* Cuvier 1818, sufrió cambios experimentales de temperatura. ORINOQUIA, 18 (Suplemento 1), 193-197.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012137092014000300004&lng=en&lng=
- Crab, R., Defoirdt T., Bossier P. y Verstraete W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges, *Aquaculture*, Volumes 356–357, 2012, Pages 351-356, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848612002852>)
- Crab, R. (2010 a). Bioflocs Technology: An integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. Univeriteit Gent. Faculty of Bioscience Engineering. Ghent, Belgium. Page 178. <http://hdl.handle.net/1854/LU-1043318>
- Dávila, M. (2004). Mejoramiento de la calidad de agua mediante el uso de filtros biológicos en sistemas de recirculación de agua para la acuicultura. UNEXPO. Tesis de grado. 110 p.
- De Schryver, P. y Verstraete, W. (2009). Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresour Technol* 100:1162-1167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.043>
- Decamp, O., Conquest L., Forster, I. y Tacon A. (2002). The nutrition and feeding of marine shrimp within zero-water exchange aquaculture production system: role of Eukaryotic microorganisms. C.S. Lee, P. O'Bryen (Eds.), *Microbial Approaches to*

Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems, World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 79–86

- Deza, S., Quiroz, S. y Rebaza, M. (2002). Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachyomus* (Cuvier, 1818) “Pacú” en estanques seminaturales de Pucallpa. <http://www.iiap.org.pe/publicaciones/folias/fofia13/Articulo%204%20Folia%2013.pdf>
- Díaz, F., López, R. (1993). El cultivo de la cachama blanca *Piaractus brachyomus* y de la cachama negra *Colossoma macropomun*. En: Fundamentos de acuicultura continental. Bogotá: Instituto nacional de pesca y acuicultura (INPA)- Ministerio de agricultura, 209. P
- Ebeling, J. y Timmons, M. (2008). Carbon: nitrogen balance impacts nitrogen removal processes in microbial-based aquaculture systems. Global Aquaculture Advocate.
- Ekasari, J., Crab, R. y Verstraete, W. (2010). Primary Nutricional Content of Bio-flocs Cultured with different organic carbon source and salinity. HAYATI J Biosci.; 17(3).
- Emerenciano, M., Gaxiola, G. y Cuzon, G. (2013). Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry, biomass now-cultivation and utilization. In Matovic, M.D. Recuperado 2 enero de 2019. http://cdn.intechopen.com/pdfs/44409/In%20TechBiofloc_technology_bft_a_review_for_aquaculture_application_and_animal_food_industr.pdf.
- Emerenciano, M., Ballester, E., Cavalli, R. y Wasielesky, W. (2011). Effect of Biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis*: Growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. Aquaculture International. 19: 891-901.
- Emerenciano, M., Ballester, E., Cavalli, R. y Wasielesky, W. (2012^a). Biofloc Technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) Aquaculture Research. 43: 447-457

- Emerson, K., Russo, R., Lund, R. y Thurston R. (S.f). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J Fish Res Board Can.* 1975;32:2379-2383.
- Erazo, S. y Valles, C. (2007). Determinación de condiciones de crecimiento para el manejo de cachama (*Piaractus brachypomus*), parroquia la Belleza, Provincia de Orellana. Trabajo de grado (Ingeniero en Recursos Naturales), Provincia de Orellana, Ecuador. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias Y ambientales. 140 p.
- González, J. y Heredia, B. (1998). El cultivo de la cachama (*Colossoma macropomum*). 2.ed. Maracay: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias.134p.
- Granado, A. (2000). Efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento de morocoto *Piaractus brachypomus*, Cuvier, 1818, (pisces: Characiforme), confinado en jaulas flotantes. Instituto limnológico. Universidad de oriente, Caicara del Orinoco. Venezuela. *Saber*.12:3-7
- Hanke, G., McNall, M. y Roberts, J. (2006). First records of the yellow bullhead, *Ameiurus natalis*, a loricariid catfish, *Panaque suttonorum*, and a silver pacu, *Piaractus* cf. *P. brachypomus*, in British Columbia. *Canadian Field Naturalist*, 120/4: 421-427.
- Hargreaves, J. (2013). Biofloc production systems for aquaculture- South Regional Aquaculture Center. p.2. Recuperado el 05 de septiembre del 2018.<https://www.aquahoy.com/i-d-i/sistemas-de-cultivo/17821-los-sistemas-debiofloc-para-la-acuicultura>
- Hargreaves, J. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering*, v.34, p344-363.
- Haridas, H., Verma A., Rathore, G., y Prakash, C., Sawant, P. y Rani A. (2017). Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically improved Farmed Tilapia indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquaculture Reserch*; 48:4346-435
- Hellyjúnior, B., Inácio, A., Gaona, C., Krummenauer, D. y Wasielesky, W. (2017). ¿Cuál es la mejor relación carbono-nitrógeno para los sistemas de biofloc? *Globalseafood* <https://www.globalseafood.org/advocate/relacion-carbono-nitrogeno/>

- Hernández, G., Gonzales, J., Alfonso, E., Salmeron, Y. y Pizzani, P. (2010). Efecto de la relación energía proteína sobre el desempeño productivo en larvas de Coporo (*Prochilodus mariae*). *Zootecnia Tropical*. 28 (2): 173-182.
- Herpher, B. (1993). *Nutrición de peces comerciales en estanques*. Mexico: Limusa. p. 197.
- Houlihan, D., Boujard, T. y Jobling, M. (2001). *Food intake in fish*. Oxford, UK: Blackwell Science; 1st edition. 40 p.
- Ju, Z., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W. y Horgen, F. (2008). Determination of microbial community structures of shrimp flocc cultures by biomarkers and analysis of flocc amino acid profiles. *Aquac Res* 39:118-133. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01856.x>
- Kubitza, F. (2009). *Manual de Manejo en la Producción de Peces: “Buenas Prácticas en el Transporte de Peces Vivos”*. Brasil. 10pp.
- Kubitza, F. (2011). Criação de tilapias em sistemas com bioflocos sem renovação de água. *Panorama da acuicultura*. 21(125): 14-23.
- Kuhn, D., Boardman, D., Craig, S., Flick, J. y Mclean, E. (2008). Use of microbial flocs generated from tilapia effluent as a nutritional supplement for shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in recirculating aquaculture systems. *Journal of the World Aquaculture Society* 39:72- 82. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00145.x>
- Landines, M. y Mojica (2005). *Manejo y reproducción de caracidosen: Reproducción de peces en trópico*. P94.
- Lango, J. (2012). *Floc bacteriano: sistemas intensivos de producción de tilapia. Caso México*. En: *Memorias FISH RAPCO*. Jalisco (MX). p. 55.
- Lasso, C., Agudelo, C., Jiménez-Segura, H., Ramírez-Gil, M., Morales-Betancourt, R., Ajiaco-Martínez, F., Gutiérrez, P., Usma O., Muñoz, S. y Sanabria, A. (2011). I. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia, 715 pp

- Ling, J. (2005). Nitrification and the impact of organic matter in fixed- film biofilers: Application to recirculating aquaculture systems, Tesis de grado: Washington state University, Doctor of Philosophy, Washington. p.13.
- Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., y Wu, F. (2015) Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 448, 135-141.
- Lujan, M. (2010). El cultivo de peces amazónicos en el Perú: estado actual y perspectivas. <http://www.aquahoy.com/156-uncategorised/12481-el-cultivo-de-peces-mazonicos-en-el-peru-estado-actual-y-perspectivas> nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. PhD Thesis. Ghent, BE. Ghent University.178 p
- Luo, G., Qi, G., Chaohui, W., Wenchang, L., Dachuan, S., Li Li, H. y Tan. (2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture* 422-423.
- Maraví, R. (2017). Influencia del sistema biofloc sobre la actividad enzimática digestiva y los parámetros productivos de juveniles de Paiche (*Arapaima gigas*). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/1910>
- McIntosh, B., Samocha, T., Jones, E., Lawrence, A., Mckee, D., Horowitz, S., Horowitz, A. (2000). The effect of a bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with low-protein diet on outdoor tank system and no water exchange. *Aquacultural Engineering*; 21: 215-27
- Meza, M., Botero, M., (2007). La cachama blanca *Piaractus brachypomus*, una especie potencial para el mejoramiento genético. *Rev Colomb Cienc Pecu*; 20 (1): 79-86
- Murray, R., Spiegel y Larry J. y Stephens. (2009). Estadística. 4ta edición. Mc Graw-Hill. México, D.F
- Narvaez, F. y Recalde, A. (2004) Evaluación de un promotor de crecimiento (oxitetraciclina) en la fase de levante de cachama blanca (*piaractus brachypomus*).

- Trabajo de grado Zootecnista. Pasto, Colombia. Universidad de Nariño, Facultad de ciencias pecuarias, Programa de Zootecnia. p. 25.
- Novoa, D. (2002). Los recursos pesqueros del eje fluvial Orinoco-Apure: presente y futuro. Instituto Nacional de la Pesca y Acuicultura-INAPESCA-. Ministerio de Agricultura y Tierra. República bolivariana de Venezuela. Caracas. 141 pp
- Ortega, (S.f). Producción comercial de alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y sábalo (*Brycon melanopterus*) en la región amazónica. Santa Martha, Colombia.
- Ogell, E., Outa, N., Obiero K., Kyule D. y Munguti, J. (2021). The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development, Scientific African, Volume 14, e01053, ISSN 2468-2276, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053>.
- Piedrahita, R. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture 226:35-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- PNIPA, (2016). Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (2016), Estudio de pre inversión a nivel del Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura PROG-19-2014-SNIP. Lima- Perú. Pag 167. 384
- PNIPA, (2018). Plan Regional de Acuicultura de la Región Madre de Dios 2019 – 2024, Gerencia Regional de Desarrollo Económico – Gobierno Regional Madre de Dios; Dirección General de Acuicultura – Ministerio de la Producción. Madre de Dios, Perú.
- Poleo, G., Aranbarrio, J., Mendoxa, L. y Romero O. (2011). Cultivo de cachama blanca en altas densidades en dos sistemas cerrados. PesqAgropec Brasil, 46(4): 429437
- PRODUCE, (2019). Anuario estadístico pesquero y acuícola. La actividad productiva del sector en números. Ministerio de la producción, Perú 64p
- Ray, A., Seabm, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A. y Browdy, C. (2010). Characterization of microbial communities in minimal – exchange intensive aquaculture systems and de effects of suspended solids management Aquaculture 310:130-138.

- Rebaza, C., et al., (2002). Influencia de tres densidades de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachypomus*. Paco en segunda fase de alevinaje en estanques seminaturales. *Folia Amazónica* Vol 13 (1-2), 14 p.
- Rodríguez, V. (2012). Efecto de la restricción alimenticia y sobre el metabolismo energético y el crecimiento en juveniles de cachama blanca *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). Tesis en Salud y Producción animal. Universidad Nacional de Colombia
- Sahya, M. (2021). Estudio revisa y discute las implicaciones para la sostenibilidad, la mitigación del cambio climático y las adaptaciones. <https://www.globalseafood.org/advocate/efectos-del-cambio-climatico-en-la-produccion-acuicola/>
- Sandoval-Vargas, L., Jiménez-Amaya, M., Rodríguez-Pulido, J., Guaje-Ramírez, D., Ramírez-Merlano, J. y Medina-Robles, V. (2020) Aplicación de la tecnología biofloc en el cultivo de juveniles de *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): Efectos sobre el desempeño zootécnico y la calidad del agua. *Aquac Res*; 51 : 3865 - 3878 . <https://doi.org/10.1111/are.14734>
- Sastre, O., Hernández, G. y Cruz-Casallas, P. (2004). Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17 Supl: 11-16
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H. y Verreth, J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* 32, 379–401.
- Sierra-De la Rosa, J., Martínez-Pardo, X. y Mendoza-Rivera M. (2009). Evaluación del cultivo de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva en el sector camaronicultor colombiano. Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia – CENIACUA.
- Tresierra, A. y Culquichicón, Z. (1993). *Biología pesquera*. Editorial libertad. 1° Edición. Trujillo- PERÚ. 432 P
- Vásquez-Torres, W., Hernández-Arévalo, G., Gutiérrez-Espinosa, M. C., y Yossa, M. I. (2012). Effects of dietary protein level on growth and serum parameters in cachama

- (*Piaractus brachypomus*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 25(3), 450–461
- Vicuña, O. (2010). *Piaractus brachypomus* (Cachama blanca). Peces nativos de agua dulce del sur de interés para acuicultura: una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Latino America. 2010. P 94
- Vinatea, L. (2011). Cultivos intensivos, oxigenación y bioflocs. En memoria taller acuícola. (SLA) Machala, Ecuador. 2011.
- Wasielesky, W. et al., (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 258,p 39
- Wei, W., Shao-An L. y An-li W. (2016). The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs, Aquaculture, Volume 465, Pages 88-93, ISSN 0044-8486
- Xu, WJ., y Pan LQ (2012). Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. Aquaculture 356-357:14
- Yousif, O. (2002). The effects of stocking density, water exchange rate, feeding frequency and grading on size hierarchy development in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Emir. J. Agric. Sci. 14:45-53.
- Zapata, P. (2016). Retención proteica y lipídica corporal de juveniles de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) cultivados en sistemas biofloc a diferentes relaciones C:N. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Acuicultura. Lima Perú. P-82.
- Zárate, B. (2008). Silvícolas, sirigueros y agentes estatales. El surgimiento de una sociedad transfronteriza en la Amazonia de Brasil, Colombia y Perú. 1880-1932, Unibiblos, Bogotá.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Calculo de la adición de la fuente de carbono

C: N: 12

Ecuación 1: $\Delta \text{Carbohidrato} = [\Delta N \times (C: N)] \times \%C-1$

%C: 0.22 (Melaza)

%C: 0.31 (Azúcar)

%C: 0.46 (Almidón)

Ecuación 2: $\Delta N = Q \text{ Feed} \times \%N \text{ Feed} \times \%N \text{ Excreción}$

QFeed: Cantidad de alimento

%NFeed: Cantidad de aporte de nitrógeno en el sistema

%NExcreción de amoniaco en el agua: 0.5

(Avnimelech, 2009)

Anexo 2: Recubrimiento del Área del módulo de cultivo biofloc



Anexo 3: Distribución de las mangueras difusoras o planos



Anexo 4: Sistema de tuberías de desagüe central





Anexo 5: Información nutricional NUTRAK 40 %

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
BRASIL
 ESTABELECIMENTO REGISTRADO
 AC-06171-9
 ALIMENTAÇÃO ANIMAL

NUTRAK AQUA ALEVINOS 40% (2 a 4 mm)
 CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO: Ración para Peces GAMITANA (*colossoma macropomum*) y PACO (*piaractus brachipomus*)
 INDICACIONES DEL PRODUCTO: Ración NUTRAK AQUA ALEVINO 40% (2 a 4 mm) es recomendado para la alimentación de peces en la fase de alevinaje, cultivados en sistemas intensivos.
 FORMA FISICA DE APRESENTACION DEL PRODUCTO: Estruido

MODO DE EMPLEO DEL PRODUCTO: Dar la ración en la proporción de 2% a 5% del peso vivo total de los alevinos divididos en 3 comidas al día, siguiendo siempre el mismo período del estanque y horario de alimentación.
COMPOSICIÓN BÁSICA DEL PRODUCTO: Harina de Sangre de bovino 29,48%, Maíz Molido 24,99%, Quirera de Arroz 24,82%, Harina de vísceras de Pollo 15,51%, Harina de Saja 1,65%, PREMIX Vitamínico Mineral 0,50%, Propionato de Calcio 0,05%, Aditivo (Etoxiquina).

POSIBLES SUSTITUTOS: Harina de pescado, Harina de carne y huesos de Bovino, Salvado de Trigo, Sorgo, Aceite de Pollo, Salvado de Gluten de Maíz, Salvado de Arroz, Mijo, Aceite de Pescado, Germen de Maíz, Harina de Chicharrón Porcino, Harina de Plumaz.

NIVELES DE GARANTIA: Humedad (máx) 120g/kg, Proteína Bruta (mín) 400g/kg, Extracto etéreo (mín) 42,48g/kg, Fibra bruta (Máx) 46,95g/kg, Cenizas (máx) 200,00g/g, Calcio (mín) 13,73g/kg, Calcio (máx) 20,00g/kg, Fósforo (mín) 10,000mg/kg, Acido Fólico (mín) 1,22ng/kg, Acido Pantoténico (mín) 25,50mg/kg, Biotina (mín) 0,60mg/kg, Cobalto (mín) 0,13mg/kg, Cobre (mín) 10,00mg/kg, Colina (mín) 0,50g/kg, Hierro (mín) 0,07g/kg, Yodo (mín) 0,40mg/kg, Manganeso (mín) 19,00mg/kg, Niacina (mín) 24,50mg/kg, Selenio (mín) 0,35mg/kg, Vitamina A (mín) 10,000,00UI/kg, Vitamina B1 (mín) 6,00mg/kg, Vitamina B12 (mín) 19,00mcg/kg, Vitamina B2 (mín) 12,75mg/kg, Vitamina B6 (mín) 9,50mg/kg, Vitamina C (mín) 0,20g/kg, Vitamina D3 (mín) 2,550,00UI/kg, Vitamina E (mín) 105,00UI/kg, Vitamina K3 (mín) 2,55mg/kg, Zinc (mín) 0,11g/kg.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO: Almacenar en lugar seco, ventilado, protegido del sol, alejados de productos tóxicos y evitar el contacto directo del con el piso.
PERIODO DE VALIDEZ: 120 días
 Producto Exento de Registro en el Ministerio de Agricultura, Ganadería y abastecimiento
 USO EXCLUSIVO PARA ACUICULTURA - INDUSTRIA BRASILEIRA
 USO PROHIBIDO EN LA ALIMENTACION PARA RUMINANTES - INDUSTRIA BRASILEIRA
 IMPORTADO POR: MULTISERVICIOS PIRARUCU SAC
 JR. ANTONIO ACOSTA MZA. G LOTE. 3 BAR. LA COLONIA MADRE DE DIOS - TAUAMAMU - INAPARI

FAB: 06/08/2019
VAL: 04/12/2019
LOTE: 00018
25kg
 FABRICADO POR: NUTRAK IND. E COM. DE ALIMENTOS PARA ANIMAS IMP. E EXP. LTDA CNPJ: 34.703.835/0001-20, RUA MONTE SIAO LOTE 24 ROSALINDA - RIO BRANCO AC, (68) 3221-2177

REGISTRO SANIPES
RSP0254INT
 INDUSTRIA BRASILEIRA

Anexo 6: Formato de toma de datos de los parámetros de calidad de agua

N° de Geomembrana:

Fecha	Hora	Oxígeno disuelto (mg/L)	Porcentaje de saturación (% S)	Temperatura (°C)	Potencial de hidrogeno (pH)	Volumen Floc (ml)	Alimento balanceado (kg)	Adición de azúcar (g)	Observaciones
-------	------	-------------------------	--------------------------------	------------------	-----------------------------	-------------------	--------------------------	-----------------------	---------------

Anexo 7: Adaptación de alevines de *P. brachypomus* para la siembra



Anexo 8: Volumen de Floc al inicio de la experimentación



Anexo 9: Vista de zooplancton y fitoplancton en la composición del floc, objetivo 10X.



G: Número de Geomenbrana

Anexo 10: Análisis estadístico de la investigación

Tratamientos	Parámetros						
	Peso (g)	Talla (cm)	GPD (g. día-1)	Capacidad de carga (kg. m-3)	TEC (%/d)	FCA	S (%)
Tratamiento 1							
Biometría 1	6.2	3.0	-	-	-	-	100
Biometría 2	16.6	7.4	0.1	0.7	1.14		100
Biometría 3	30.2	11.5	0.3	1.3	1.67		100
Biometría 4	87.8	27.4	0.9	3.8	2.79	0.87	99.2
Tratamiento 2							
Biometría 1	5.93	3.0	-	-	-	-	100
Biometría 2	17.48	7.4	0.1	1.3	1.04		100
Biometría 3	31.19	12.7	0.3	2.2	1.75		100
Biometría 4	81.19	20.6	0.8	5.8	2.76	0.85	100

Pruebas de normalidad				
	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estadístico	gl	Sig.
Peso Inicial	Tratamiento 1	,111	309	,000
	Tratamiento 2	,089	321	,000
Talla Inicial	Tratamiento 1	,091	309	,000
	Tratamiento 2	,087	321	,000
Peso Final	Tratamiento 1	,121	221	,000
	Tratamiento 2	,086	300	,000
Talla Final	Tratamiento 1	,120	221	,000
	Tratamiento 2	,065	300	,004

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad^b				
	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estadístico	gl	Sig.
GPD	Tratamiento 1	,385	3	,000
	Tratamiento 2	,292	3	,000
CA	Tratamiento 1	,241	3	,000
	Tratamiento 2	,362	3	,000
BIOMASA	Tratamiento 1	,378	3	,000
	Tratamiento 2	,352	3	,000
TCE	Tratamiento 1	,293	3	,000
	Tratamiento 2	,250	3	,000
K	Tratamiento 1	,285	3	,000
	Tratamiento 2	,360	3	,000
S	Tratamiento 2	,385	3	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors
b. S es constante cuando Tratamiento 1. Se ha omitido.

Anexo 11: Matriz de correlación entre los parámetros de calidad de agua para el tratamiento 1

Parámetros	Temp (°C)	OD (mg.L-1)	pH	%S	Solid. Sed.	NAT	NO2	NO3	Alcalinidad
Temp (°C)	1.000	-0.549	0.062	-0.541	0.611	0.051	-0.175	0.087	0.043
OD (mg.L-1)	-0.549	1.000	0.303	0.975	-0.603	0.068	0.043	0.460	
pH	0.062	0.303	1.000	0.264	-0.148	-0.037	0.094	0.143	0.782
%S	-0.541	0.975	0.264	1.000	-0.634	0.120	0.002	0.569	-0.222
Solid. Sed.	0.611	-0.603	-0.148	-0.634	1.000	-0.493	0.368	0.600	0.394
NAT	0.051	0.068	-0.037	0.120	-0.493	1.000	-0.495	0.318	-0.310
NO2	-0.175	0.043	0.094	0.002	0.368	-0.495	1.000	-0.029	0.158
NO3	0.087	0.460	0.143	0.569	0.600	0.318	-0.029	1.000	-0.030
Alcalinidad	0.043	-0.088	0.782	-0.222	0.394	-0.310	0.158	-0.030	1.000

Anexo 11: Matriz de correlación entre los parámetros de calidad de agua para el tratamiento 2

Variables	Temp (°C)	OD (mg.L-1)	pH	%S	Solid. Sed.	NAT	NO2	NO3	Alcalinidad
Temp (°C)	1.000	-0.529	0.006	0.526	0.507	0.067	0.300	0.020	0.108
OD (mg.L-1)	0.529	1.000	0.364	0.982	0.739	0.166	0.372	0.026	-0.173
pH	0.006	0.364	1.000	0.354	0.224	0.102	0.281	0.001	0.703
%S	0.526	0.982	0.354	1.000	0.759	0.244	0.446	0.046	-0.290
Solid. Sed.	0.507	-0.739	0.224	0.759	1.000	0.324	0.438	0.399	0.437
NAT	0.067	0.166	0.102	0.244	0.324	1.000	0.463	0.344	-0.309
NO2	0.300	-0.372	0.281	0.446	0.438	0.463	1.000	0.430	0.049
NO3	0.020	0.026	0.001	0.046	0.399	0.344	0.430	1.000	-0.079
Alcalinidad	0.108	-0.173	0.703	0.290	0.437	0.309	0.049	0.079	1.000