



IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA PISCICULTURA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DEL GUAMUEZ, DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, COLOMBIA

**Bayron Favián Sisa Ibarra
Pedro José Palacios Palacios**

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2019

IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA PISCICULTURA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DEL GUAMUEZ, DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO, COLOMBIA

**Bayron Fabián Sisa Ibarra
Pedro José Palacios Palacios**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Asesor:
Ph.D. Henry Reyes Pineda

Línea de Investigación:
Biosistemas Integrados
Grupo de Investigación: CIMAD

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2019

Dedicatoria

Este esfuerzo lo dedico principalmente a Dios y a la Virgen María, por ser inspiradores y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis Padres Miguel Palacios y Rosalba Palacios, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado escalar un peldaño más en mi vida.

A Lizbeth Esther Cantillo Estrada por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida y a mi hija Sara Sofia inspiración de mi trabajo y esfuerzo.

A mis hermanos, hermanas, sobrinos y en especial a mis ahijados Miguel Ángel y Juan José y a mi amado sobrino Miguel Palacios Zamora que desde el cielo me ha acompañado en este duro camino de la vida.

Pedro José Palacios Palacios

Dedicatoria

A Dios, por haberme permitido culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis hijos Fabiana y Thiago por ser la motivación y la inspiración más grande de superación.

A mi esposa Jacqueline por todo su apoyo, paciencia y comprensión durante este proceso de aprendizaje.

A mis padres por el ejemplo que me han dado y enseñado que con Perseverancia y empeño se logran las metas trazadas.

Bayron F. Sisa Ibarra

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al profesor Henry Reyes Pineda por sus aportes, apoyo y recomendaciones.

A la Universidad de Manizales, al programa de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente y sus profesores que durante su desarrollo se esforzaron por impartir conocimiento y enseñanzas para la formación de profesionales y mejores personas.

Al profesor Yemall Alexander Maigual Enríquez por sus consejos y orientaciones acertadas.

A los socios de la Asociación de Piscicultores de Valle del Guamuez, ASOPEZ, en especial a Marcia Guerrero y Alejandro Ardila.

Agradecer a las personas que compartieron su conocimiento durante el desarrollo de la maestría e hicieron posible su terminación.

Resumen

La tecnología del biofloc (BFT) presenta una opción ambientalmente responsable para el incremento en los volúmenes de producción de animales exóticos. El trabajo evaluó el desempeño productivo de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en BFT, relación C/N 20:1, en tres sistemas: T1, convencional en estanque; T2, estanque cubierto por geomembrana y T3: tanque circular en geomembrana. El peso y talla inicial fue: T1: 5,90±0,09g; T2: 5,96±0,15g; T3: 5,76±0,30g y talla T1: 7,56±0,09cm; T2: 7,57± 0,16cm; T3: 7,61±0,24cm. Para GP, FCAA y TCS hubo diferencias estadísticas entre T1 y T2, T3 con valores T1: 12,88±10,61kg y T2: 15,83±12,09kg, T3: 16,84±11,77kg; T1: 1,87±10,66 y T2: 1,69±10,51, T3: 1,66±0,58; T1: 0,037±0,007g/día y T2: 0,039±0,008g/día, T3: 0,04±0,011 respectivamente. Supervivencia fue superior al 98%. El BFT es una alternativa viable para tilapia roja, con baja mortalidad y óptimos resultados productivos, además, de generar impacto ambiental menor.

Palabras clave: Biofloc, Sistemas productivos, Piscicultura, Tilapia roja, Impacto Ambiental, Cero descarga.

Abstract

The Biofloc Technology (BFT) represents an environmentally responsible option for increasing production in volume of exotic animals. The experiment evaluated the productive performance of Red Tilapia (*Oreochromis sp*) in BFT, C/N ratio 20:1, in three systems: T1, conventional in pond; T2, pond covered by geomembrane and T3: circular tank in geomembrane. The initial weight and size was: T1: $5.90 \pm 0.09\text{g}$; T2: $5.96 \pm 0.15\text{g}$; T3: $5.76 \pm 0.30\text{g}$ and T1: $7.56 \pm 0.09\text{cm}$; T2: $7.57 \pm 0.16\text{cm}$; T3: $7.61 \pm 0.24\text{cm}$ respectively. The variables of WG, FCR and SGR, had statistical differences between T1 and T2, T3 with T1 values: $12.88 \pm 10.61\text{kg}$ and T2: $15.83 \pm 12.09\text{kg}$, T3: $16, 84 \pm 11.77\text{kg}$; T1: 1.87 ± 10.66 and T2: 1.69 ± 10.51 , T3: 1.66 ± 0.58 ; T1: $0.037 \pm 0.007\text{g / day}$ and T2: $0.039 \pm 0.008\text{g / day}$, T3: 0.04 ± 0.011 respectively. Survival was greater than 98%. The BFT is a viable alternative for red tilapia, with low mortality and optimal productive results, in addition, to generate lower environmental impact.

Keywords: Biofloc, Production systems, Fish farming, Red tilapia, Environmental impact, Zero discharge.

Contenido

Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de abreviaturas	XV
1. Introducción	17
2. Objetivos	22
2.1 Objetivo General	22
2.2 Objetivos Específicos	22
3. Pregunta de investigación	23
4. Justificación	24
5. Marco teórico	26
5.1 Marco Legal para la actividad acuícola.....	26
5.2 Marco Legal para la concesión de aguas y vertimientos	27
5.3 Generalidades de la especie Tilapia Roja (<i>Oreochromis sp</i>)	27
5.4 Sistemas de cultivo para tilapia	28
5.5 Sistemas de cultivo Semi-intensivo	29
5.6 Sistemas de cultivo Intensivo	29
5.7 Sistemas de cultivo Súper-Intensivo.....	29
5.8 Generalidades de la Tecnología Biofloc (BFT)	29
5.9 Oxígeno Disuelto.....	32
5.10 Relación Carbono: Nitrógeno	32
5.11 Papel de los compuestos nitrogenados en la BFT	33
5.12 Ruta de los compuestos nitrogenados en la BFT	34
5.12.1 Intensidad luminosa.....	36
5.12.2 Temperatura	37
5.12.3 pH.....	37
5.12.4 Cargas electroquímicas	38
5.12.5 Perfil de sólidos en un cultivo con Biofloc	38
5.13 Uso de la BFT en el cultivo de tilapia.....	38
6. Metodología	41
6.1 Tipo de investigación.....	41

6.2	Unidad de análisis: Municipio del Valle del Guamuez.	41
6.2.1	Localización	41
6.2.2	Unidad de trabajo	43
6.2.3	Desarrollo metodológico	43
6.3	Diseño experimental y análisis estadístico	44
6.4	Descripción de las unidades experimentales:	45
6.5	Formulación de hipótesis	46
6.6	Variables de estudio	47
6.6.1	Ganancia de Peso	47
6.6.2	Sobrevivencia.....	47
6.6.3	Factor de conversión alimenticia aparente	47
6.6.4	Tasa de crecimiento simple	47
7.	Discusión y análisis de resultados	48
7.1	Partida del sistema biofloc	48
7.2	Volumen de biofloc y concentración de sólidos suspendidos	51
7.3	Evaluación de los parámetros productivos para tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>)...55	55
7.3.1	Peso y talla inicial para tilapia roja.....	55
7.3.2	Evaluación para la variable ganancia de peso.....	56
7.3.3	Evaluación de la variable sobrevivencia	58
7.3.4	Evaluación de la variable Factor de conversión Alimenticia Aparente (FCAA)59	59
7.3.5	Evaluación de la variable tasa de crecimiento simple	60
7.4	Evaluación de la calidad físico-química del agua de cultivo utilizada en el experimento.....	61
7.4.1	Evaluación de los parámetros temperatura y pH del agua.....	61
7.4.2	Evaluación de los parámetros de concentración y saturación de oxígeno disuelto del agua.....	64
7.4.3	Evaluación de los compuestos nitrogenados: NAT, nitrito y nitrato.....	66
7.4.4	Concentración de alcalinidad, dureza y turbiedad	69
8.	CONCLUSIONES.....	74
9.	RECOMENDACIONES.....	76
10.	Bibliografía.....	77

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Alevino de tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>)	28
Figura 2: Esquema general de la tecnología biofloc	31
Figura 3: Residuos generados por los peces.....	34
Figura 4: Localización geográfica del municipio de Valle del Guamuez	42
Figura 5: Sonda y kits para análisis de la calidad del agua.....	44
Figura 6. Unidades productivas utilizadas en el experimento	46
Figura 7: Protocolo para el desarrollo de la tecnología biofloc en el sistema propuesto	50
Figura 8: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 1	52
Figura 9: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 2	52
Figura 10: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 3	53
Figura 11: Cono de Imhoff para la determinación de volumen de floc	54
Figura 12: Zooplancton presente en los tratamientos T2 y T3	55
Figura 13: Fitoplancton y zooplancton presente en los tratamientos T2 y T3.....	55
Figura 14: Ejemplar de tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>) siembra (arriba) y muestreo final (abajo).....	57
Figura 15: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 1.....	62
Figura 16: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 2.....	62
Figura 17: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 3.....	63
Figura 18: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 1	64
Figura 19: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 2	65
Figura 20: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 3	65
Figura 21: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T1 durante el experimento.....	68
Figura 22: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T2 durante el experimento.....	68
Figura 23: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T3 durante el experimento.....	69
Figura 24: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T1.....	70
Figura 25: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T2.....	70
Figura 26: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T3.....	71

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Sustancias adicionadas para la partida del biofloc en los tratamientos T2 y T3..	49
Tabla 2. Resumen estadístico para volumen de biofloc y sólidos suspendidos	51
Tabla 3. Valores de peso y talla de los organismos en la siembra de tilapia roja	56
Tabla 4. Resumen estadístico de ganancia de peso durante el experimento	56
Tabla 5. Resumen estadístico de sobrevivencia durante el experimento	58
Tabla 6. Resumen estadístico para la variable FCAA	59
Tabla 7. Resumen estadístico del TCS-Peso durante el experimento	60
Tabla 8. Resumen estadístico del TCS-Talla durante el experimento	60
Tabla 9. Resumen estadístico de Temperatura y pH durante el experimento	61
Tabla 10. Resumen estadístico para OD y Saturación de oxígeno.....	64
Tabla 11. Resumen estadístico para NAT, nitrito y nitrato.....	66
Tabla 12. Resumen estadístico de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento	69
Tabla 13. Ventajas y desventajas del cultivo convencional y biofloc en el experimento realizado con tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>).	¡Error! Marcador no definido.

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>BTF</i>	Tecnología Biofloc
<i>FCCA</i>	Factor de Conversión Alimenticia Aparente
<i>FCR</i>	Feed Conversion Ratio
<i>IVF</i>	Índice de Volumen de Flóculos
<i>NAT</i>	Nitrógeno Amoniacal Total
<i>OD</i>	Oxígeno Disuelto
<i>SGR</i>	Specific Growth Rate
<i>SS</i>	Sólidos Sedimentables
<i>SST</i>	Sólidos Suspendidos Totales
<i>SSV</i>	Sólidos Suspendidos Volátiles
<i>TCS</i>	Tasa de Crecimiento Simple
<i>WG</i>	Weight gained

1.Introducción

La producción de la acuicultura en el mundo ha crecido de manera constante a una tasa media anual del 3,2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. El consumo aparente mundial de pescado per cápita aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 19,2 kg en 2012. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014).

En un contexto nacional la producción piscícola, ha tenido un crecimiento promedio anual del 12% desde 1990, siendo las tilapias las más producidas con un 65 %, seguido por cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con un 21 %. El 66% del volumen total de producción proviene de cultivos semi-intensivos en estanques en tierra y el 34% de cultivos intensivos en jaulas flotantes. (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2013).

El aumento de la producción de peces en Colombia, como en el resto del mundo, ha generado crecientes problemas, el principal de ellos la eutrofización por descargas de nutrientes, componentes orgánicos e inorgánicos (amonio, fósforo, materia orgánica, carbono orgánico disuelto y sólidos suspendidos), los que son responsables de la polución, nitrificación y enterramiento de comunidades bentónicas en los ecosistemas receptores (Martínez et al., 2010). El segundo conflicto que genera la piscicultura en Colombia es el uso de grandes volúmenes de agua con producciones irregulares y relativamente bajas por unidad de volumen, aspecto ambientalmente adverso que unido a la pérdida creciente de oferta de agua nacional vuelven los sistemas piscícolas extremadamente frágiles (Collazos y Arias, 2015). Sumado a ello, los altos costos de los alimentos concentrados (70% de los costos totales de producción) y la falta de conciencia y sensibilización social en el manejo y conservación de las fuentes hídricas abastecedoras.

Toda esta problemática del sector piscícola, tiene una agravante más: el cambio climático, que ocasiona efectos negativos por el incremento de la temperatura atmosférica, los cambios en los regímenes hidrológicos y la disminución de materias primas para la elaboración de concentrados.

En el departamento del Putumayo, la producción piscícola es de 892,6 ton/año, para lograr este nivel de producción se requiere un espejo de agua de 80,89 hectáreas, bajo un sistema de producción semi-intensivo (Diagnóstico Piscícola, 2012).

El 61% de los piscicultores del departamento del Putumayo, emplean sistemas de producción semi-intensivo, exigente en calidad y cantidad de agua y áreas amplias de cultivo (Diagnóstico Piscícola, 2012). Además, por ser un sistema abierto facilita la fuga de especies ícticas foráneas como las tilapias que pueden representar un peligro para el frágil equilibrio de los ecosistemas acuáticos amazónicos. De acuerdo a la AUNAP (2014), en este tipo de sistemas de cultivo se usa fertilización inorgánica y se hacen recambios de agua de máximo 15 %/día. Se emplean alevinos monosexo con una densidad final de 2 - 5 peces/m² para obtener 400 gr en 6-7 meses de cultivo, con una mortalidad de hasta el 20% y una producción de 15 a 40 ton/ha/año. Según Velasco et al., (2012), la actividad por sí misma representa un impacto negativo en los cuerpos de agua receptores, particularmente en donde la producción sea mayor a 10 ton/año, principalmente por el aporte de aguas enriquecidas con sólidos suspendidos y disueltos, partículas orgánicas, sustancias nutritivas y compuestos ya sean orgánicos o inorgánicos, liberación de excretas, restos de alimento y medicamentos. Bajo estos indicadores, es ineludible la investigación e implementación de alternativas o tecnologías limpias en el sector piscícola donde se optimice el recurso agua y se disminuya la contaminación al medio ambiente.

De acuerdo al Diagnóstico Piscícola (2012), El 59% de los sistemas de cultivo semi-intensivos en el departamento del Putumayo, se abastecen de agua proveniente de arroyos y afloramientos, el 33% toma el agua de quebradas, las cuales se presentan en abundancia por las diferentes partes del departamento y generalmente son las más

accesibles debido a su cercanía a los predios donde la piscicultura se lleva a cabo y el 8% la toma de los ríos. Estas fuentes de agua abastecedoras están cada vez más contaminadas, principalmente por las inadecuadas prácticas de uso y ocupación que se hace en los diferentes ecosistemas. Es así como el desarrollo de cultivos limpios y la ganadería hace que se incremente la probabilidad de erosión del suelo y por ende la sedimentación hacia los cuerpos de agua, lo que repercute en las modificaciones de los cauces naturales y se incremente la probabilidad de inundaciones. Asimismo la tala de bosques hace que se disminuya de manera sensible el tiempo de retención hidráulico y los tiempos de concentración sean menores debido a la impermeabilización del suelo por la eliminación de la cobertura vegetal, ocasionando un aumento de la escorrentía superficial y por ende un incremento de sólidos disueltos y suspendidos en el cuerpo de agua.

En este contexto problemático, no se puede descartar las consecuencias a corto, mediano y largo plazo que pueden generar los efectos del cambio climático en el sector piscícola del departamento del Putumayo. Es probable que a causa del recalentamiento atmosférico ocurran cambios que podrían repercutir en las actividades de piscicultura tanto en ambientes lénticos como lóticos, ya sea por fuertes lluvias o por veranos prolongados (fenómeno de la Niña y Niño).

En promedio el Departamento podrá aumentar precipitaciones en un 6,7% sobre el valor actual. Particularmente los municipios de Sibundoy, Colón, Santiago, Orito, Valle del Guamuez y San Miguel, podrán presentarse aumentos de hasta un 20%. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA, 2015).

Por lo tanto, el hecho que se incrementen las lluvias por efectos de fenómenos como la Niña, ocasionan graves inundaciones, las cuales han afectado los cultivos piscícolas provocando daños a la infraestructura, la economía regional y el ecosistema acuático amazónico por la fuga de especies exóticas como las truchas (originarias de América del Norte) y las tilapias (Originarias del África). Si bien, la fuga de individuos de las instalaciones acuícolas es un fenómeno casi inevitable en circunstancias normales y representa un problema persistente, la posibilidad de que un gran número de individuos

cultivados penetre en los ecosistemas acuáticos debido a los efectos destructores de las inundaciones es mucho mayor. Esta situación puede causar fuertes perturbaciones ambientales y sus eventuales repercusiones negativas en la biodiversidad serían mucho más agudas, como alteraciones genéticas y el aumento de las infecciones parasitarias de las poblaciones silvestres (Rosenberg, 2008). Es viable en el departamento del Putumayo la implementación de sistemas cerrados amigables con el medio ambiente en el sector piscícola para evitar fugas de las especies, disminuir la carga contaminante para la obtención de beneficios económicos, sociales y ambientales.

Por efecto del fenómeno del niño, se presentan veranos prolongados, producto del calentamiento global, que han ocasionado la disminución drástica de los caudales de importantes fuentes hídricas que abastecen a dichos proyectos. Esta situación ha conllevado a disminuir los volúmenes de producción por unidad de área e incluso a restringir el cultivo en épocas de verano. Al acentuarse el calentamiento global, se prevé un déficit de agua que podría limitar no solo la producción acuícola, si no otro tipo de actividades agropecuarias, especialmente la ganadería y la agricultura, porque se dará prevalencia al uso del agua para el consumo humano.

En el marco del calentamiento global una de las problemáticas más preocupantes para el sector piscícola, no solo del departamento del Putumayo, sino de todo el mundo, es la disminución de harina y aceite de pescado que es materia prima esencial para la fabricación de alimento concentrado. Tacon, Hasan y Subasinghe (2006) estimaron que en 2003 el sector consumió 2,94 millones de toneladas de harina de pescado en todo el mundo (53,2 por ciento de la producción mundial de harina de pescado), y que esas cifras equivalían al consumo de 14,95 a 18,69 millones de toneladas de pez forraje, especialmente pelágicos pequeños. De este modo, las pesquerías representan una de las principales fuentes de insumos para la acuicultura, no obstante se ha predicho que la productividad biológica en el Atlántico septentrional disminuirá en el 50 por ciento y que, a nivel mundial, la productividad del océano bajará un 20% (Schmittner, 2005). Un ejemplo es la disminución de los desembarques de sardina peruana y anchoa por el impacto de El fenómeno del Niño. Estas variaciones en la productividad de las

pesquerías limitarán la disponibilidad de materia prima transformable y sin duda incrementarán los costos de producción (el alimento concentrado representa el 70% de los costos de producción de un sistema de producción acuícola) repercutiendo en los beneficios económicos a tal punto que algunas actividades acuícolas serían inviables. Estas tendencias afectarán a la acuicultura ya que los ingredientes esenciales de los piensos serán siempre más escasos y caros; y por consiguiente el cultivo de peces carnívoros, como la trucha tenderá a desaparecer.

Finalmente, las predicciones del calentamiento global sobre la biodiversidad no son nada alentadoras. El estudio de Thomas et al. (2004) menciona que bajo las concentraciones actuales de gases de invernadero, al menos una de cada cinco especies de la Tierra estaría destinadas a extinguirse. Bajo esta apreciación es muy preocupante para el sector piscícola del departamento del Putumayo, la extinción de especies con posible potencial acuícola. En la cuenca del río Putumayo, existen más de 1.300 especies ícticas (Duque y Trujillo, 2011), de las cuales solo son de amplio cultivo la cachama blanca (*P. brachypomus*), sábalo amazónico (*B. melanopterus*), y bocachico amazónico (*P. nigricans*). Esta evidente pérdida de biodiversidad, afectará la posibilidad de desarrollar paquetes tecnológicos que viabilicen el cultivo de otras especies de la cuenca amazónica con potencial para el desarrollo de proyectos acuícolas y de conservación con un importante impacto social y ambiental.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Estandarizar el proceso para la implementación de la tecnología Biofloc (BFT) como una alternativa de desarrollo sostenible para los productores piscícolas de tilapia roja del Municipio del Valle del Guamuez, Departamento del Putumayo.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar la tecnología Biofloc (BFT) con el sistema de producción convencional de los productores piscícolas del municipio de Valle del Guamuez.
- Estimar la Conversión alimenticia, ganancia de peso y sobrevivencia del cultivo en los diferentes tratamientos de la investigación.
- Analizar la calidad fisicoquímica del agua empleada en las unidades experimentales.

3.Pregunta de investigación

¿Cuál es el proceso para estandarizar la tecnología Biofloc como una alternativa de desarrollo sostenible para los productores piscícolas de tilapia roja del Municipio del Valle del Guamuez, Departamento del Putumayo?

La BFT es una alternativa para la piscicultura en el departamento del Putumayo, porque se considera eco-eficiente, que funciona en sistema cerrado, donde se aprovecha los residuos de los alimentos y materia orgánica con el uso de comunidades microbianas, se logra disminuir la contaminación de fuentes hídricas receptoras, los costos de alimentación y por ende obtener beneficios económicos, sociales y ambientales. Además, resolvería el problema de uso excesivo de agua y la fuga de especies foráneas a ecosistemas acuáticos amazónicos altamente sensibles. En este sentido, se pretende comparar la BFT con los actuales sistemas de producción y se incluya a los productores piscícolas del departamento para generar espacios donde se haga transferencia de tecnología, cambio de la perspectiva productiva y ambiental e iniciativas donde se priorice el desarrollo económico, la sostenibilidad ambiental y el bienestar social del sector piscícola.

4. Justificación

La producción de la acuicultura en el mundo ha crecido de manera constante a una tasa media anual del 3,2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. El consumo aparente mundial de pescado per cápita aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 19,2 kg en 2012. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014).

En un contexto nacional la producción piscícola, ha tenido un crecimiento promedio anual del 12% desde 1990, siendo las tilapias, principalmente la tilapia roja (*Oreochromis sp*) las más producidas con un 65 %, seguido por cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con un 21 %. El 66% del volumen total de producción proviene de cultivos semi-intensivos en estanques en tierra y el 34% de cultivos intensivos en jaulas flotantes. (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2013).

En el departamento del Putumayo, la producción piscícola es de 892,6 ton/año, para lograr este nivel de producción se requiere un espejo de agua de 80,89 hectáreas, bajo un sistema de producción semi-intensivo (Gobernación del Putumayo, 2012). De los 13 municipios que conforman al departamento del Putumayo, el municipio de Valle del Guamuez, ocupa el tercer puesto en lo que respecta a producción piscícola.

Sin duda, el incremento de los índices de producción piscícola y el sistema productivo que actualmente impera en el departamento del Putumayo, especialmente en el municipio de Valle del Guamuez, ha ocasionado efectos adversos al ecosistema amazónico, por la ampliación de estanques, conllevando a la destrucción de bosques y humedales, la contaminación de fuentes hídricas receptoras del vertimiento, proliferación de enfermedades, escapes de especies ícticas foráneas a ecosistemas acuáticos. A esto se suma, los altos costos que representa el alimento concentrado (más del 70% de los costos totales), ocasionando baja rentabilidad del cultivo y de los ingresos de los productores piscícolas.

De acuerdo con Martínez et al. (2010), una de las estrategias para enfrentar esta problemática, es utilizar sistemas con una mayor “eficiencia”; esto significa, hacer un

mejor uso de los recursos, bienes y servicios que ofrece el ambiente natural, y emplear en menor medida energía y materiales exógenos al sistema (como lo es el alimento suplementario). En este sentido Timmons, Ebeling, Wheaton, Sommerfelt y Vinci (2002), mencionan que en las últimas décadas dentro del sector acuícola, se han diseñado una serie de tecnologías ecoeficientes de producción para el cultivo de diversos organismos acuáticos, orientados a disminuir la utilización del agua y del espacio, aumentando considerablemente la densidad de cultivo. Un ejemplo interesante, es la denominada tecnología biofloc, la cual consiste en el desarrollo de flóculos microbianos formados a partir de una alta relación Carbono: Nitrógeno en el agua, con poco o nulo recambio de agua, por evaporación y alta oxigenación (Avnimelech, 2012).

Existen muchas investigaciones que se han desarrollado desde los años sesenta en torno a la BFT, sin embargo su aplicación en sistemas de cultivos acuícolas ha iniciado hace poco, con la característica de ser una alternativa viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. De acuerdo, al Diagnóstico Pesquero y Acuícola que presentó la AUNAP en el año 2014, en Colombia, esta tecnología se encuentra en una fase experimental, razón por la cual no existen reportes de piscicultores que la estén aplicando. Según Collazos y Arias (2015), se requieren experimentos más apropiados a las condiciones del País, donde se evalúen los costos de producción, los beneficios ambientales y los índices de rentabilidad de la aplicación de esta tecnología.

5. Marco teórico

5.1 Marco Legal para la actividad acuícola

El Decreto 2811 de 1974 “dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente” define la acuicultura como el cultivo de organismos hidrobiológicos con técnicas apropiadas, en ambientes naturales o artificiales, y en ambientes controlados

El Decreto 1681 de 1978 reglamenta, especialmente en los temas de manejo de las especies hidrobiológicas y su aprovechamiento y la protección y fomento de los recursos hidrobiológicos y de su medio ambiente, que comprende el desarrollo de la acuicultura, la regulación de la repoblación y la introducción y trasplante de especies hidrobiológicas (Ministerio de Agricultura, 1978a).

Tratándose de recursos pesqueros y de conformidad con lo dispuesto en los artículos 40 y 45 de la Ley 13 de 1990 y el Artículo 46 y 50 del Decreto 2256 de 1991, la autoridad pesquera no podrá autorizar la introducción al país de ovas embrionadas, larvas, post-larvas, alevinos y reproductores de estas mismas especies, salvo que tal autorización haya sido acordada previa y conjuntamente con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Ministerio de Agricultura, 1991, 1990).

En todo caso, las especies que se introduzcan deberán tener como único fin la realización de actividades piscícolas y/o acuícolas debidamente autorizadas por parte de la autoridad pesquera la cual exigirá la implementación de medidas de bioseguridad relacionadas con el manejo y control de los establecimientos piscícolas y acuícolas existentes y las que llegaran a establecerse posteriormente, dando cumplimiento a lo señalado en la Resolución 2079 del 28 de diciembre de 2017 expedida por la AUNAP” (Ministerio de Agricultura, 2017) .

5.2 Marco Legal para la concesión de aguas y vertimientos

El Decreto 1541 de 1978 reglamenta los procedimientos para otorgar concesiones de aguas superficiales y subterráneas en aguas continentales, para obtener los permisos de ocupación de cauces y para realizar el control de vertimientos (Ministerio de Agricultura, 1978b).

El Decreto 3930 de 2010 dice que toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la respectiva autoridad ambiental competente el respectivo permiso de vertimientos y define vertimiento como la "Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (Ministerio de Ambiente, 2010).

5.3 Generalidades de la especie Tilapia Roja (*Oreochromis sp*)

Según Castillo (2006), las Tilapias son peces endémicos originarios de África y el Cercano Oriente, en donde se inicia la investigación a comienzos del siglo XIX, aprovechando sus características y adaptabilidad se consideraron ideales para la piscicultura rural, especialmente en la República Democrática del Congo Belga (extinto Zaire); a partir de 1924 se intensifica su cultivo en Kenia, sin embargo fue en el Extremo Oriente, en Malasia en donde se obtuvieron los mejores resultados y se iniciara su progresivo cultivo en el ámbito mundial. Las Tilapias han sido introducidas en forma acelerada hacia otros países tropicales y subtropicales en todo el mundo, cultivándose en 85 países en todo el mundo (Figura 1), y el 98% de toda la producción se realiza fuera del ambiente normal de las tilapias, recibiendo el sobrenombre de las "gallinas acuáticas", ante la "aparente facilidad de su cultivo" soportado en la rusticidad para su manejo, alta adaptabilidad a diferentes condiciones del medio, en algunos casos aún las más extremas, fácil reproducción, alta resistencia a enfermedades, alta productividad, generalmente herbívoras aunque aceptan todo tipo de alimentos tanto naturales como

artificiales, incluyendo los producidos por intermedio de la fertilización orgánica o química lo que las convierte en peces omnívoros.

Figura 1: Alevino de tilapia roja (*Oreochromis* sp)



Fuente: Archivo personal

Algunos registros demuestran que la especie se desempeña bien en pH entre 6.5 a 9.0, con dureza y alcalinidad total entre 50-350 y 100 a 200 mg/L CaCO_3 respectivamente (Saavedra, 2006). La tilapia es una especie tropical que prefiere vivir en aguas someras, no sobrevive a temperaturas inferiores a 12°C ni superiores a 42°C , las temperaturas ideales de cultivo varían entre $26 - 32^\circ\text{C}$. Es de hábito omnívoro, lo que le permite aprovechar una amplia gama de alimentos (Sklan et al., 2004); pueden digerir eficientemente los carbohidratos dietéticos (Boscolo et al., 2002) y tiene una mayor capacidad para digerir proteína de origen vegetal. El crecimiento y sobrevivencia de la tilapia se han reportado con valores óptimos de NH_3 entre 0.01 a 0.2mg/L, mientras que, valores cercanos a 2 mg/L se consideran críticos (Kubitza, 2011). Se considera como rango de tolerancia valores entre 0.6 a 2.0 mg/L.

5.4 Sistemas de cultivo para tilapia

Los sistemas de producción de tilapia varían desde sencillos a muy complejos; los sistemas de manejo sencillo se caracterizan por poco control sobre la calidad del agua, el valor nutricional del alimento y por producciones bajas. Los sistemas de cultivo tradicionales son: Semi-intensivo, Intensivo y súper intensivo.

5.5 Sistemas de cultivo Semi-intensivo

De acuerdo a la AUNAP (2013), en este tipo de cultivo es necesaria la fertilización inorgánica, recambios de agua máximos de 15 %/día. Se emplean alevinos monosexo con una densidad final de 2 – 5 animales/m² para obtener 400 gr en periodo de cultivo de 6-7 meses, mortalidad de hasta el 20% y producción de 15 a 40 ton/ha/año. Se requiere amplias áreas de producción para que el cultivo sea rentable. Es el sistema de cultivo más empleado por los piscicultores del municipio de Valle del Guamuez, el cual requiere un área mínima rentable de espejo de agua es de 0.5 has.

5.6 Sistemas de cultivo Intensivo

En este sistema se pueden utilizar estanques excavados, de concreto o jaulas flotantes. En estanques, Las densidades oscilan entre 100,000 a 300,000 peces/ha, se utiliza alimento concentrado de 25 a 30% de proteína. El alimento se suministra a razón de 2-4% de la biomasa/día y generalmente, la tasa máxima de alimentación no debe exceder los 80 a 120 Kg/ha/día. Hay disponible aireación mecánica de emergencia que se inicia cuando la concentración de oxígeno disuelto baja hasta el 10% de saturación. La producción total anual, varía de 5,000 a 12,000 Kg/ha. En Jaulas flotantes, las cuales pueden tener un volumen de 5 m³ o más. Se puede sembrar hasta 600 tilapias/m³ y las producciones esperadas oscilan entre 50-300 Kg/m³.

5.7 Sistemas de cultivo Súper-Intensivo

Este sistema se realiza en recintos donde es posible manejar densidades hasta de 600 animales/m³. En este caso, los peces dependen exclusivamente del alimento artificial, por lo tanto éste debe contener un alto porcentaje de proteína (30-40%). En este sistema de cultivo se enmarca la tecnología biofloc (BFT).

5.8 Generalidades de la Tecnología Biofloc (BFT)

El trabajo clave que dio inicio al estudio de la tecnología fue el de Azam et al., 1983, citado por Arias y Collazos, 2015; en el que se hace un acercamiento al papel y la dinámica que cumplen los microorganismos en un sistema acuático natural, en este

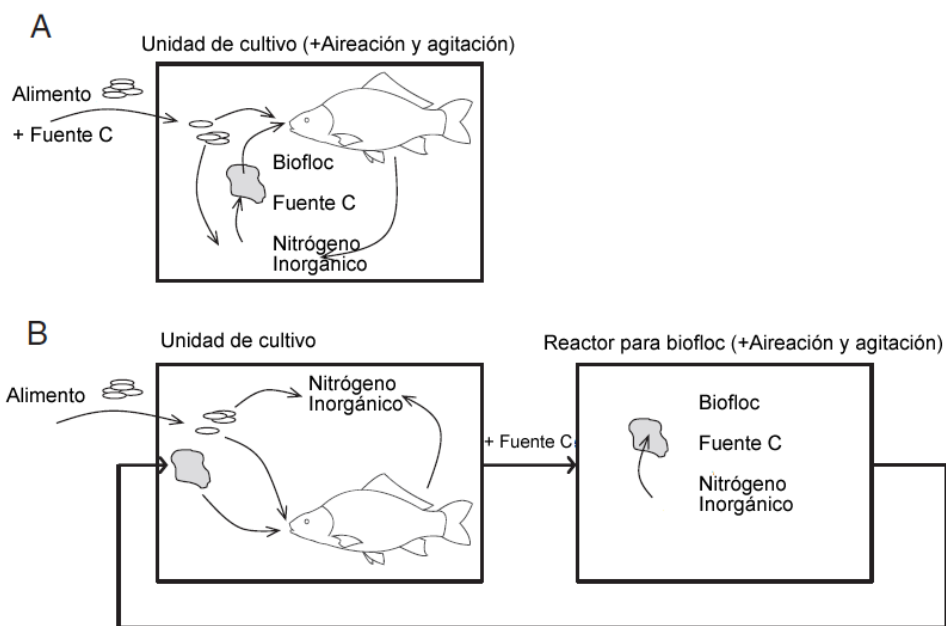
sentido estos autores plantean el aprovechamiento por el “microcosmos acuático”, del carbono dispuesto en el agua en condiciones ricas en nitrógeno, comprobando que las bacterias fijan carbono como fuente de energía y aprovechan el nitrógeno para la síntesis de proteínas.

Las explicaciones dadas a las interacciones de ese pequeño cosmos en ambientes acuáticos naturales dio inicio a investigaciones que buscaban contrarrestar la acumulación de compuestos nitrogenados especialmente amonio y nitritos en los sistemas de producción de especies acuáticas, así nació el concepto de biofloc, como el de una comunidad constituida de microorganismos asociados entre sí en un sustrato suspendido o flotante que responde a una dinámica de malla trófica que se inicia en heterótrofos capaces de fijar carbono desde las sustancias y partículas orgánicas en el agua y cuya densidad se sitúa entre 10 y 1.000 millones de células microbianas/cm³ (Burford et al., 2004).

La Tecnología Biofloc (BFT) es una forma de producción en acuicultura súper-intensiva, que se desarrolla dinámicamente en la actualidad pues resulta que es capaz de enfrentar retos propios de la actividad, como el aumento de la biomasa por volumen de agua y la utilización cada vez más reducida de agua, el desafío en concreto es producir más en menos volumen de agua y al menor costo ambiental posible, es decir en el marco de los paradigmas de sostenibilidad (Avnimelech, 2009). Aunque falta mucho por conocer, el hecho que la BFT trate conceptualmente los residuos como una oportunidad de producción in situ, lo hace una alternativa posible y amigable con los ecosistemas porque al tiempo que economiza agua y recicla nutrientes, descarga pocos contaminantes (Wasielesky, Atwood, Stokes y Browdy, 2006).

En la figura 2 se presentan dos tipos de adecuaciones para la implantación de BFT en acuicultura (Crab, Defoirdt, Bossier, & Verstraete, 2012).

Figura 2: Esquema general de la tecnología biofloc



Fuente. Modificado de Crab (2012)

En el modelo A, la integración de biofloc es realizada dentro de la unidad de cultivo mediante el uso de alimentos artificiales con un contenido relativamente bajo de nitrógeno y / o la adición de una fuente de carbono. El biofloc consume residuos inorgánicos de nitrógeno junto con la fuente de carbono, lo que produce biomasa microbiana que los animales pueden utilizar como alimento. Por su parte, B, se basa en el uso de una unidad separada conocida como reactor para biofloc. Los efluentes del tanque de cultivo se introducen en el reactor, donde se agrega una fuente de carbono para estimular el crecimiento del biofloc. El agua del reactor puede recircularse al tanque de cultivo y / o el biofloc pueden recolectarse y usarse como alimentación suplementaria (Crab, Defoirdt, Bossier, & Verstraete, 2012).

Esta tecnología consiste en ofrecer condiciones fisicoquímicas óptimas al agua de cultivo, para que las comunidades microbianas estén en un equilibrio constante, de tal manera que sirvan de alimento a la especie cultivada, desplacen microorganismos patógenos y reciclen nutrientes aprovechando sólidos suspendidos, principalmente aquellos con compuestos nitrogenados como el alimento concentrado que los peces no

consumen y las excretas de los mismos (Martínez et al., 2010, Avnimelech, 2009). Para desarrollar esta tecnología se deben tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos básicos:

5.9 Oxígeno Disuelto

Es muy importante mantener una aireación continua y homogénea en el sistema, para garantizar suministro suficiente de oxígeno (mayor a 6 mg/L) necesario para el metabolismo y la respiración de los microorganismos y los peces. A su vez es importante para mantener una adecuada actividad metabólica de las células dentro de los flóculos aerobios como en la estructura del flóculo. A concentraciones mayores de oxígeno disuelto en la columna de agua, flóculos mayores y más compactos serán formados. El mantener el biofloc en suspensión evita que estos flóculos se decanten e impide la formación de procesos microbianos anaeróbicos los cuales deterioran la calidad del agua, pudiendo generar compuestos tóxicos o auspiciar la presencia de microorganismos patógenos. Bioflocs con Índice de Volumen de Flóculos (IVF) más altos se forman a concentraciones bajas de OD, por tanto para evitar que los flóculos se sedimenten rápidamente en las zonas de turbulencia baja, el IVF debe ser superior a los 200 mL/g (Collazos y Arias, 2015; Martínez et al., 2010).

5.10 Relación Carbono: Nitrógeno

Los microorganismos que conforman el biofloc, requieren una fuente de carbono orgánico e inorgánico para poder crecer y producir su biomasa. La fuente de carbono orgánico más empleada en esta tecnología es la melaza (Ballester et al., 2010), mientras que la fuente de nitrógeno proviene del alimento no consumido y de la excreción propia de la especie de cultivo, el cual es necesario para producir la proteína que se requiere para el crecimiento y la multiplicación celular. (Collazos y Arias, 2015; Martínez, et al., 2010; Avnimelech, 2009). La relación C:N que se debe manejar en el sistema puede variar dependiendo de las condiciones específicas del cultivo, especialmente relacionado con la temperatura, el pH y la especie cultivada. De este modo, las relaciones C:N han

variado entre autores reportando tasas de 10:1 (Azim y Little, 2008), 15:1 (Monroy, De Lara, Castro M., Castro MG., y Emerenciano, 2013) y 20:1 (Avnimelech, 2009).

5.11 Papel de los compuestos nitrogenados en la BFT

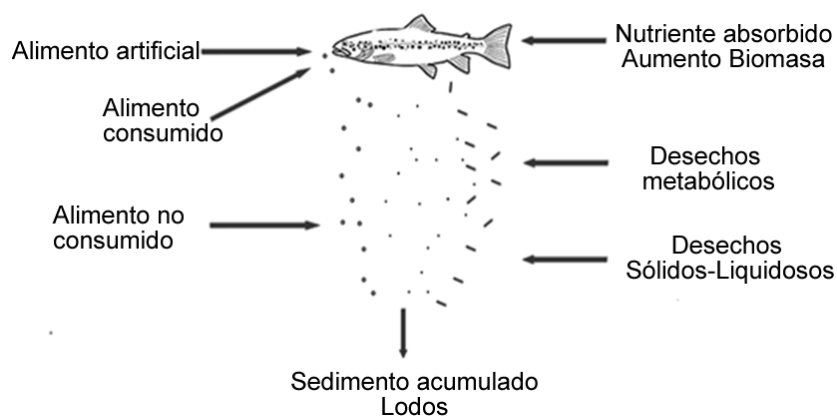
Como se sabe todos los sistemas de producción piscícola generan desperdicios (constituidos por material sólido, alimento no consumido, heces y materiales solubles como fósforo y nitrógeno), y productos de excreción (de los peces en cultivo), en especial esto es cierto cuando se usa grandes raciones para la alimentación, agudizándose con el aumento de la biomasa que demanda más alimento (Sagratzki et al., 2004; Ge-lineau et al., 1998).

El N puede estar presente en los ambientes acuáticos en formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio ionizado (NH_4^+), amonio no ionizado (NH_3), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), nitrógeno molecular (N_2), nitrógeno orgánico disuelto (péptidos, purinas, aminas, aminoácidos) y como nitrógeno orgánico particulado (Hernández y Vargas, 2003), de todas estas formas de nitrógeno, los nitratos y el amonio son los más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal de N biodisponible para la generación de cadenas tróficas, siendo que el amonio (NH_3) y el nitrito (NO_2) son tóxicos para los peces y se convierten en un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia de estos en cultivo, así removerlo o transformarlo en nitrógeno no tóxico es esencial cuando se pretende aumentar la biomasa del sistema y disminuir los riesgos (Avnimelech, 2009; Ebeling y Timmons, 2006; Hargreaves, 1998).

Los niveles de proteína del concentrado suministrado normalmente en acuicultura oscilan entre el 20 y 45%, del cual aproximadamente el 16% es nitrógeno (Craig y Helfrich, 2002), y de este cerca del 75% es aportado al medio de cultivo por excreción y alimento no consumido (Craig et al, 2012; Avnimelech, 2009; De Schryver, 2008; Piedrahita, 2003; Hargreaves, 1998). El metabolismo del alimento ingerido termina con la formación de amonio ionizado y no ionizado que es excretado principalmente por las branquias al agua, la suma de estas formas de amonio $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ se le denomina Nitrógeno Amoniacal Total (NAT), en cultivos de peces la forma no ionizada NH_3 es altamente tóxica y la concentración letal varía entre especies en un rango de 1 - 2 mg/L,

agudizándose cuando la concentración de oxígeno es baja (Avnimelech, 2009), el aumento del amonio no ionizado depende también del aumento del pH, de la temperatura y de la salinidad (Ebeling et al., 2006; Timmons et al., 2002), en presencia de microorganismos fotoautótrofos las concentraciones de NH_3 aumentan en horas de la tarde cuando el pH y la temperatura están en niveles altos y el CO_2 es mínimo.

Figura 3: Residuos generados por los peces



Fuente. Lekang (2013)

5.12 Ruta de los compuestos nitrogenados en la BFT

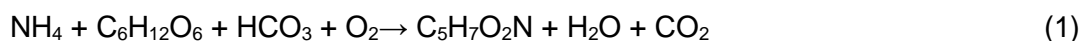
La BFT busca maximizar el potencial de los procesos microbianos dado a que la variedad de bacterias en un contenedor, son capaces de degradar las diferentes formas de nitrógeno incluidas las más nocivas para los peces (Avnimelech, 2009).

Tres grupos de microbiota de remoción de los compuestos nitrogenados del agua son ampliamente conocidas, todas ellas en diferente grado pueden interactuar en sistemas biofloc, así: asimilación por algas, oxidación por bacterias quimioautótrofas y asimilación por bacterias heterotróficas (Ray y Lotz, 2014); a las cuales si se les suma otros organismos como zooplancton, hongos y nematodos, todos abundantes por la casi infinita capacidad reproductiva que poseen, los cuales en conjunto consiguen el control casi absoluto de los desechos del nitrógeno (Monroy-Dosta et al., 2013; Wilén et al., 2008; Jorand et al., 1995).

Tanto en ambientes acuáticos naturales como en cultivo, los organismos relacionados con el ciclo del nitrógeno recuperan los nutrientes volcados a las aguas, disminuyendo los compuestos nitrogenados tóxicos al degradar los restos de alimento no consumido, las excretas y heces (Moss, 2002), siendo los mayores productores acuáticos (hasta el 70% de la productividad total de cualquier cuerpo de agua) (Crab et al., 2010), manteniendo las calidades de las mismas (Tzachi et al., 2012; Ebeling et al., 2006), sirviendo de alimento a la gigantesca red trófica que nace de ellos y que termina nutriendo los peces en cultivo (Abreu et al., 2007) y controlando los patógenos (De Schryver et al., 2008, Crab et al., 2007). El conjunto de toda las formas vivas asociadas y relacionadas con un sin número de partículas orgánicas e inorgánicas con las que forman películas en las paredes de los contenedores o aglomerados amorfos suspendidas en la columna de agua (biofloc), los cuales se mantienen unidos por una matriz de mucosidad que es secretada por las propias bacterias y los microorganismos filamentosos que los componen y por atracción electrostática (Avnimelech et al., 2008, De Schryver et al., 2008).

La BFT entonces en la práctica consiste en el manejo de las comunidades microbianas, ello es lo que determina el éxito del sistema basado en la transformación de los compuestos nitrogenados en el agua, asunto que según Ebeling et al., (2006), se consigue de diferentes maneras, como se presenta a continuación:

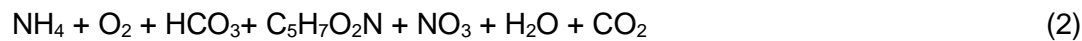
Las bacterias heterotróficas presentan la siguiente reacción metabólica que incluyen la descomposición del amonio para transformarlo en biomasa bacteriana (Ecuación 1):



El balance estequimétrico de las reacciones anteriores indicará que para remover 1 g de amonio, el consumo de carbohidratos será igual a 15,2 g, alcalinidad = 3,6 g y oxígeno = 4,7 g, produciendo sólidos en suspensión volátiles (SSV) = 8 g y $\text{CO}_2 = 9,7$ g. Dicho en otros términos por cada gramo de NAT producido en un tanque de cultivo, es necesario añadir aproximadamente ≈ 20 gramos de carbohidrato (C:N de 20:1) (Avnimelech, 1999), una consecuencia directa de la adición de carbohidratos para lograr estas proporciones

es el aumento de la demanda de oxígeno disuelto, atribuido a las reacciones químicas propias de las bacterias heterótrofas (Schveitzer et al., 2013).

Para las bacterias quimioautotróficas, las reacciones de metabolismo incluyen la descomposición del amonio (NH_3) en nitrito (NO_2^-) y después en nitrato (NO_3^-), para finalmente a través de reacciones anaeróbicas por proceso de des-nitrificación, en nitrógeno atmosférico (N_2):



El balance de las anteriores reacciones indicará que para transformar 1 gramo de amonio, el consumo de alcalinidad = 7,0 g; oxígeno = 4,2 g y se produce SSV = 0,2 g; CO_2 = 5,9 g y NO_3 = 0,98 g.

El análisis de las dos reacciones anteriores muestra que las bacterias quimioautotróficas nitrificantes presentes en el biofloc requieren menos carbohidratos para la transformación y remoción de nitrógeno, con la consecuente disminución en la demanda de oxígeno (Avnimelech, 2006; Ebeling et al., 2006), en este sentido la relación C:N sería de 20:10: 1 (Avnimelech, 2012b, Wasielesky et al., 2006), (Wasielesky, Atwood, Stokes, & Browdy, 2006) siendo que las dos vías (bacterias autótrofas y heterótrofas) para la eliminación de nitrógeno son diferentes en términos de la utilización del sustrato, la biomasa bacteriana que generan y los subproductos que producen, sin embargo debido a la menor velocidad de reproducción de las bacterias nitrificantes, se necesita la presencia de bacterias heterótrofas especialmente en los primeros días de cultivo para asegurar el secuestro y la reducción de amoníaco producido. Las bacterias quimioautotróficas necesitan alrededor de 30 días para su establecimiento en el tanque de cultivo (Timmons y Ebeling, 2010).

5.12.1 Intensidad luminosa

La intensidad luminosa está relacionada con las características de las comunidades que se van a asociar a las biopelículas o bioflóculos. Sistemas expuestos directamente a la

luz solar propiciarán la proliferación de microalgas y otros organismos autótrofos, mientras que en condiciones de obscuridad o poca intensidad luminosa, habrá mayores posibilidades de que se desarrollen bacterias heterótrofas, hongos (Martínez, et al., 2010).

5.12.2 Temperatura

El efecto de la temperatura es complejo. Wilen et al. (2000), citados por Martínez et al., 2010, encontraron que la defloculación ocurre mayormente a bajas temperaturas (4 °C), en comparación con temperaturas más altas (18-20°C), probablemente debido a una menor actividad microbiana. Krishna y Van Loosdrecht (1999), citados por Martínez et al., 2010, reportan que temperaturas tan altas como 30–35 °C resultan en un abultamiento de los flóculos debido a la excesiva producción de polisacáridos extracelulares. Esto puede hacer que pierdan flotabilidad y precipiten al fondo.

La temperatura puede tener un efecto muy significativo en el crecimiento y estructura de los bioflóculos y biopelículas, al propiciar el desarrollo y asociación de organismos que sean tolerantes a dichas temperaturas, así como en el metabolismo de los microorganismos presentes. Por lo general, temperaturas más elevadas implican una mayor actividad bacteriana, lo que se traduce en mayor biomasa y consumo de metabolitos nitrogenados. Sin embargo, a temperaturas elevadas hay también mayor excreción por parte de dichos microorganismos.

5.12.3 pH

Para Martínez, et al., 2010, los cambios en el pH son determinantes para la estabilidad de la comunidad microbiana presente en los flóculos. El pH óptimo dependerá también de la especie que se esté cultivando. Para algunos salmónidos un pH de 4.2–5.0 puede ser letal o al menos ocasionar serios problemas. Es necesario considerar también que el pH está directamente relacionado con la alcalinidad, la cual para la mayoría de acuacultivos se recomienda mantener arriba de 50-100 mg de CaCO₃.

5.12.4 Cargas electroquímicas

Para que la promoción y el uso de microorganismos en acuicultura tengan éxito, es necesario que estos organismos unicelulares sean capaces de adherirse a sustratos, así como adherirse unos a otros y formar agregados. Sin embargo, algunos tipos de organismos poseen cargas electroquímicas negativas, y tienden a repelerse, evitando la formación de agregados o flóculos. Según Avnimelech (2009), es recomendable agregar iones de calcio o aluminio para disminuir estas fuerzas de repulsión y con ello promover una floculación estable.

5.12.5 Perfil de sólidos en un cultivo con Biofloc

El perfil de sólidos en un contenedor con biofloc es sin duda el indicador de calidad más propio del sistema. Diferentes tipos de sólidos existen en un tanque con biofloc, los más comunes y fáciles de determinar y con los cuales se puede administrar el cultivo son los sólidos sedimentables (SS), otros son los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) (Avnimelech, 2009), así como el índice volumétrico de sólidos ($SS \times 1000 / SST$) (Pasco, 2015). 100 ml/L de SS en cultivo de tilapia es a juicio de Avnimelech, 2009, un indicativo de buena calidad del biofloc. Para *Rhamdia quelen* los mejores resultados en cuanto a sobrevivencia y crecimiento de pos-larvas y alevinos se consiguieron en concentración de SST de 200 mg/L (Poli et al., 2015), en tanto que para *Ictalurus punctatus*, los mejores resultados de su cultivo se encuentran en 790 mg/L (Green, 2015). Teniendo en cuenta la práctica de adición a los cultivos de carbohidratos y cal hidratada y que estos en conjunto con las raciones aumentan la concentración de SST, es necesario regularlos y controlarlos, con sedimentadores, por ejemplo como lo plantea Ray et al., (2010).

5.13 Uso de la BFT en el cultivo de tilapia

Hace más de 30 años, Steve Serling descubrió el potencial de la tecnología biofloc en la cría de tilapia y desde entonces se han llevado a cabo múltiples estudios al respecto (Newman, 2011). Tanto en ambientes naturales como en sistemas acuícolas, los microorganismos desempeñan un papel fundamental como productores y consumidores

de oxígeno disuelto, reciclando nutrientes y produciendo alimento para organismos mayores. Ogello et al. (2014), realizaron una revisión detallada del uso de BFT en cultivo de tilapia, resaltando los resultados de Avnimelech et al. (1999), al evaluar tilapias alimentadas con una dieta control de 30% de proteína bruta y una dieta sólo a base de biofloc, no presentó diferencia significativa y concluyeron que la dieta a base de proteína microbiana puede ser utilizada con éxito en el alimento para diferentes especies de tilapia. Esta revisión destaca que los peces en BTF se alimentan constantemente, debido a que producción microbiana es un proceso continuo. Según Avnimelech (2009), la utilización de proteínas se eleva del 15-25% (estanques convencionales) a 45% en cultivos BFT, debido probablemente, al reciclaje de proteína. Azim y Little (2008) evaluaron el uso de la tecnología biofloc en cultivo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), la producción neta de pescado fue 45% más alta en este sistema en comparación al control sin biofloc. Avnimelech (2007) evaluó la asimilación de los biofloc por parte de 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. Sierra-De la Rosa et al. (2009) Evaluaron el cultivo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp*), en sistemas biofloc en agua marina y obtuvieron valores similares de crecimiento (500 g/226 días; 2.1 g/día), supervivencia (70%), con mejor factor de conversión alimenticia (1.5); sugieren 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. El uso de biofloc para la piscicultura de tilapia ha conseguido incrementar las producciones de 2,0 kg/m² (cultivos semi-intensivos), a valores cercanos a 20 kg/m² (Hargreaves, 2013), hasta 30 kg/m² (Avnimelech, 2012).

Los reportes de larvicultura y alevinaje en sistemas de biofloc en especies de peces son escasos, para tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) Ekasari et al., (2015), citado por Arias y Collazos, 2015; obtuvieron sobrevivencias > 98 %, con larvas producidas y cultivadas en biofloc (C/N 10), que con larvas en sistemas sin biofloc (sobrevivencias < 95 %); de igual manera las larvas cultivadas en biofloc fueron más resistentes y obtuvieron mejores sobrevivencias al ser confrontadas a pruebas de suspensión en

medio con *Streptococcus agalactiae* (10⁷ UFC/ml), por 6 horas y pruebas de estrés a altas salinidades (35 g/L NaCl), (sobrevivencia del 80% y 70 % respectivamente).

6. Metodología

La implementación de la tecnología Biofloc surgió como una iniciativa de solución a la problemática actual presentada en el sector piscícola en el Municipio del Valle del Guamuez, con la cual se pretendió mediante investigación cuantitativa realizar la evaluación, comparación, análisis e implementación de una tecnología sostenible y amigable con el medio ambiente y conlleve a mejorar el sistema de producción de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en el municipio del Valle del Guamuez, Departamento del Putumayo, Colombia.

6.1 Tipo de investigación

Experimental, que analizó la implementación de la tecnología Biofloc, como una alternativa sostenible para la piscicultura en el municipio de Valle del Guamuez, Departamento del Putumayo, Colombia.

6.2 Unidad de análisis: Municipio del Valle del Guamuez.

6.2.1 Localización

El municipio Valle del Guamuez está ubicado en el sur occidente de departamento del Putumayo, frontera con la república del Ecuador; limita al norte con el municipio de Orito, al oriente con el municipio de Puerto Asís, al occidente con Orito y con el departamento de Nariño, y al sur con el municipio de San Miguel y la república del Ecuador. Tiene una extensión de 885 km², posee una altura promedio de 280 msnm. Geográficamente se

encuentra localizado a 00°25" de latitud norte y 76°54" de longitud oeste. La temperatura oscila entre 27°C y 40°C, y tiene una pluviosidad de 4.000 mm/año. El casco urbano de la Hormiga se encuentra localizado en las coordenadas geográficas 00° 25 30" de latitud norte, y 76° 54 20" de longitud oeste.

El municipio Valle del Guamuez hace parte del corredor fronterizo Colombo Ecuatoriano considerado en tránsito y transporte con el Ecuador. La posición ventajosa del municipio como zona de frontera, permite promover el desarrollo integral entre las dos naciones. Hace parte de la cuenca de los Ríos Putumayo y San Miguel, y del tránsito entre el piedemonte y la llanura amazónica. (Plan de desarrollo Valle del Guamuez 2016-2019 "Participando Tú decides").

Según el PBOT, 2003 el municipio se encuentra ubicado a 150 kilómetros de distancia de la capital del departamento Putumayo, Mocoa. Pertenece a la Subregión piedemonte amazónico, que además la conforman los municipios de Puerto Asís, Orito y San Miguel; hace parte de la gran reserva forestal de la Amazonía, sus tierras son relativamente fértiles, en ellas hay predominio de bosque tropical húmedo con paisaje selva, en cuanto a su relieve; hacia el noroccidente del municipio el nivel del mar empieza a ascender debido al inicio del piedemonte, y en el resto del territorio predominan lomeríos y valles que se combinan con los mesones, terrazas bajas (Tb) y várzeas, estas últimas localizadas en las riberas de los ríos.

Figura 4: Localización geográfica del municipio de Valle del Guamuez



6.2.2 Unidad de trabajo

El trabajo se realizó en las instalaciones de la Asociación de Piscicultores de Valle del Guamuez, ASOPEZ, con permiso de concesión de aguas (0,0018 m³/s) y vertimiento de líquidos (0,00144 m³/s) mediante resolución DTP No 0649/2016 expedido por CORPOAMAZONIA.

6.2.3 Desarrollo metodológico

Se implementó el siguiente diseño metodológico:

- **Duración:** El proyecto de investigación tuvo una duración de nueve (9) meses, desde la instalación de las unidades experimentales de cultivo, hasta la obtención y análisis de los resultados.
- **Animales y muestreos:** Fueron utilizados alevinos de tilapia roja con una talla mínima de longitud total de 5 cm. Se usaron 500 alevinos por unidad productiva y se sembraron a una densidad de 0,4 kg/m³. Los muestreos se realizaron cada 20 días, tomando como muestra el 5% del total de los animales cultivados, a los cuales se midió el peso y la talla.
- **Alimento y alimentación:** Se utilizó alimento concentrado comercial con porcentaje de proteína de 32% a razón de 10% de la biomasa.
- **Medición de parámetros fisicoquímicos:** Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos según recomendaciones de Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1998). Se realizaron mediciones para monitorear la calidad del agua durante los 90 días de experimento. Se realizó el monitoreo continuo de los parámetros temperatura, OD, saturación de oxígeno y pH se utilizó la sonda multiparamétrica HANA HI 98196. Amonio, nitritos y nitratos, alcalinidad, dureza fueron medidos una vez por semana con una Test Kit Model FF- 1^a (HACH, Cat, N°. 2430-02), Test Kit, Model NI-14 (Figura 5). Turbidez fue mediada con turbidmetro Hach DR890. El recambio diario de agua para compensar las pérdidas por evaporación fue de 1,8% mínimo, también utilizado para evitar la acumulación excesiva de floc y sólidos sedimentables, que al aumentar (>500

ml/L) afectan no solo en el consumo de alimento en los peces cuanto en la calidad del agua en las unidades productivas.

Figura 5: Sonda y kits para análisis de la calidad del agua



Fuente: Autoría propia

6.3 Diseño experimental y análisis estadístico

La investigación se realizó bajo condiciones controladas, donde se comparó la BFT bajo dos sistemas, con el sistema de producción tradicional, evaluando las variables ganancia de peso, factor de conversión alimenticia, tasa de crecimiento simple y sobrevivencia de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en la fase de levante.

Para ello se utilizó un diseño experimental DCA (Diseño Completamente al Azar) con submuestreo anidado, el cual contempla tres tratamientos, cada uno con tres unidades experimentales o réplicas, de la siguiente manera:

El T1, tratamiento testigo: Sistema de cultivo semi-intensivo (tradicional).

El T2, Tecnología Biofloc en estanques del cultivo revestidos con geomembrana.

El T3, Tecnología Biofloc en tanques circulares revestidos con geomembrana.

Se empleará el modelo estadístico presentado en la ecuación 3.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{j(i)} + \eta_{k(ij)} \quad (3)$$

Donde,

Y_{ijk} = Variable de respuesta en la i-ésima unidad experimental del j-ésimo tratamiento.

μ = Media general del experimento.

τ_{ij} = Efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} = Error experimental en la j-ésima replica contenida en el i-ésimo tratamiento.

η = Error de muestreo asociado a la K-ésima muestra

Se realizó la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Para la obtención de estos resultados se utilizó el software Statgraphics Centurion XV y Microsoft Excel 2013.

En caso de rechazo de la hipótesis nula, fue aplicado el Test de comparaciones múltiples de Tukey para determinar cuál o cuáles fueron mejores tratamientos desde el punto de vista estadístico.

Cada unidad experimental estuvo constituida por 500 alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en los diferentes sistemas de cultivo.

6.4 Descripción de las unidades experimentales:

T1, tratamiento testigo: Sistema de cultivo semi-intensivo (tradicional):

Se emplearon estanques de 7,5 m³ en tierra y se manejará una densidad de animales por metro cuadrado, recambio de agua del 10%

T2, tratamiento BFT en estanques del cultivo revestidos con geomembrana:

Se emplearon estanques de 7,5 m³ en tierra, revestidos de geomembrana y equipados con la tecnología Biofloc.

El T3, tecnología Biofloc en tanques circulares revestidos con geomembrana.

Se utilizó un tanque circular con capacidad de 7,5 m³. Este tanque tiene con una estructura metálica forrada con geomembrana o plástico de alto calibre para contener el peso del agua. Para controlar los niveles de agua se instaló en el centro del tanque un tubo de 4 pulgadas con codo móvil (Figura 6). Además, se instalaron dos unidades de aireación conformadas por blowers de 1hp de potencia, mediante los cuales se suministra el oxígeno necesario para la sobrevivencia del biofloc y los animales cultivados y evitar la acumulación de compuestos nitrogenados.

Figura 6. Unidades productivas utilizadas en el experimento



Fuente: Autoría propia

6.5 Formulación de hipótesis

Las siguientes hipótesis fueron planteadas evaluando las variables: ganancia de peso, factor de conversión alimenticia, tasa de crecimiento simple y sobrevivencia, por tratamiento.

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$: El efecto medio de los diferentes tratamientos sobre las variables evaluadas no presenta diferencias significativas.

H1: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$: Al menos un tratamiento presenta un efecto medio estadísticamente significativo diferente sobre las variables estudiadas.

6.6 Variables de estudio

La forma como fueron calculadas las variables productivas para la especie tilapia roja (*Oreochromis sp*) se presentan a continuación:

6.6.1 Ganancia de Peso

$$GP = \text{Peso}_{\text{Final}} - \text{Peso}_{\text{Inicial}} \quad (4)$$

6.6.2 Supervivencia

$$\% \text{ de supervivencia} = \frac{\text{Numero de animales sobrevivientes}}{\text{Numero de animales evaluados}} * 100 \quad (5)$$

6.6.3 Factor de conversión alimenticia aparente

$$FCAA = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado (kg)}}{\text{Ganancia de peso (kg)}} \quad (6)$$

6.6.4 Tasa de crecimiento simple

$$TCS(\%) = \frac{\text{Ln}(W_f) - \text{Ln}(W_i)}{T} * 100 \quad (7)$$

Dónde:

TCS (%): Porcentaje de crecimiento periodo evaluado (g/d)

Wf: Peso final (g)

Wi: Peso inicial (g)

T: Tiempo (día)

7. Discusión y análisis de resultados

7.1 Partida del sistema biofloc

Antes de empezar la maduración del biofloc se realizó pruebas a todo el sistema principalmente la aireación, adicional se realiza una toma de parámetros de calidad de agua, para confirmar si la concentración de oxígeno sería la correcta para abastecer el sistema.

Inicialmente se adiciona cloro granulado con una concentración de 0,5 g/L para la eliminación de cualquier tipo de organismo que pueda ser un potencial consumidor de biofloc y genere problemas sanitarios durante el cultivo, como también para la evaporación de dicho compuesto oxidante.

Para dar partida al sistema fue necesario tener una concentración de 10mg/L de N. Se realizaron los cálculos para la obtención de una relación C/N de 20:1. Fue adicionado melaza, concentrado molido, bicarbonato de sodio y sal. Al día siguiente con adición de agua de cultivo (estanque en producción), bicarbonato de sodio para corregir alcalinidad, cloruro de amonio (NH_4Cl) y melaza. Desde el arranque de los tratamientos se miden y se corrigen los parámetros de calidad de agua; dependiendo de ello se realiza el cálculo de la cantidad de carbono que se debe agregar.

Los alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp*) provinieron de la estación piscícola de “Aquamazonia” ubicada en el municipio de Villa Garzón (Putumayo) los cuales fueron medidos y pesados antes de colocarlos en las unidades experimentales respectivas. La

siembra se realizó 15 días después de preparado el biofloc al constatar el desarrollo del biofloc y estabilización de los parámetros físico-químicos del agua.

Los animales fueron alimentados con concentrado comercial con contenido de proteína del 32%. El propósito de la adicción del concentrado también es realizado con la finalidad de mantener los procesos biológicos quimioautotróficos controlados.

Para dar partida al sistema fue necesario mantener una concentración inicial de nitrógeno de 10mg/L. El concentrado con 32% de proteína logra mantener una relación C/N 9,8:1, similar al obtenido por Avnimelech et al., (2015). El faltante de carbono, 10,2 se logró mediante la adición de las sustancias para un volumen de 7,5 m³ de agua, presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Sustancias adicionadas para la partida del biofloc en los tratamientos T2 y T3

Ingrediente	Cantidad
Melaza (kg)	2,65
Bicarbonato de Sodio (kg)	375
Cloruro de Amonio (g)	15
Salinidad (ppm)	2
Agua inoculo 3% (L)	225

Una vez dada partida al sistema, la relación C/N fue calculada con la biomasa contenida en las unidades experimentales de los tratamientos T2 y T3.

El protocolo utilizado para las unidades experimentales con biofloc se presenta en la figura 7.

Para el mantenimiento de la relación C/N de 20:1 una vez introducidos los animales fue necesaria la adición diaria de 2,013kg de melaza según las ecuaciones a seguir:

$$\text{Carbono} = \text{Peso del alimento} * \% \text{Carbono alimento} * \text{Cantidad de materia seca} * 0,75$$

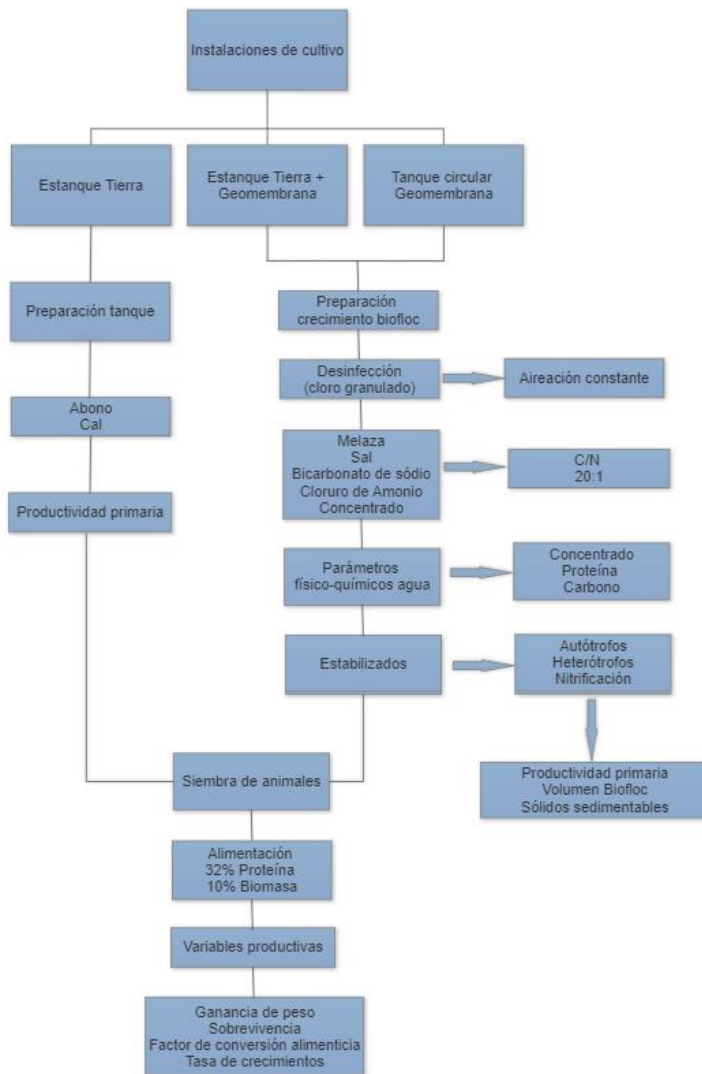
(7)

$$\text{Nitrogeno} = \text{Peso del alimento} * \% \text{Proteína alimento} * \% \text{N en la proteína} ** 0,75$$

(8)

Adición de carbohidratos a partir de los niveles de nitrógeno en el alimento (16 %) y la excreción (75 %).

Figura 7: Protocolo para el desarrollo de la tecnología biofloc en el sistema propuesto



Fuente: Autoria propia

7.2 Volumen de biofloc y concentración de sólidos suspendidos

El análisis de varianza para volumen de biofloc y sólidos suspendidos presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre el tratamiento control y los tratamientos T2 y T3, (Anexo A, B).

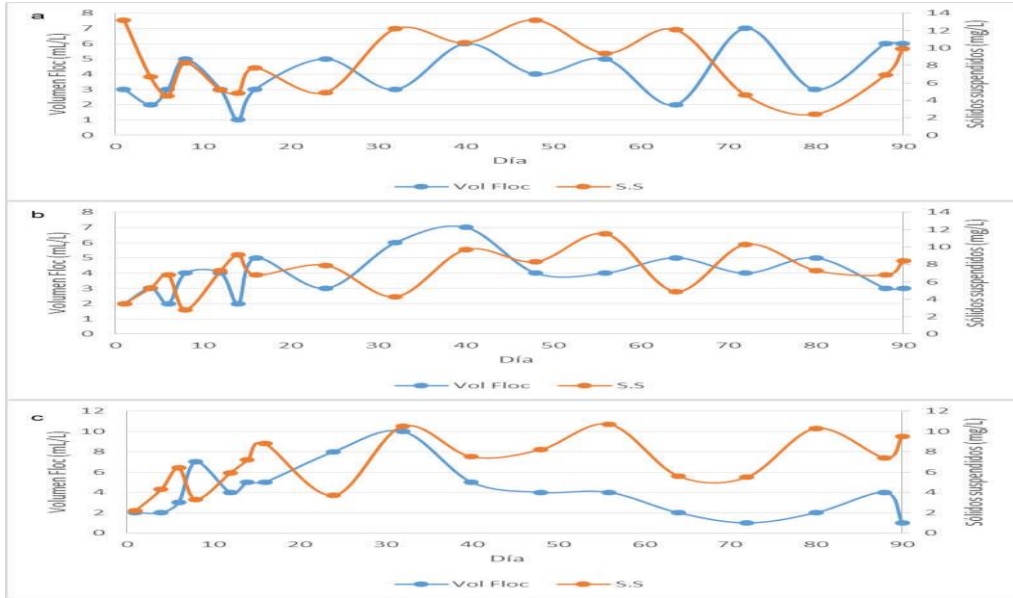
Si bien el tratamiento control no recibió aporte de una fuente de carbono externa, existe la presencia de productividad primaria en el entorno el cual puede considerarse un biofloc. Los tratamientos T2 y T3 presentaron mayor cantidad de flóculos debido a una calidad de agua más rica en nutrientes siendo este un mejor caldo de cultivo para el aumento del fitoplancton y el zooplancton que formara parte del biofloc. Por tanto el registro de sólidos sedimentables como parte del biofloc se pudo apreciar desde el inicio del experimento con un creciente aumento. La tabla 2 y las figuras 8 a 10 presentan los resultados de la concentración de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos durante el período de estudio.

Tabla 2. Resumen estadístico para volumen de biofloc y sólidos suspendidos

	Vol Biofloc			Sólidos suspendidos		
	T1 ^a	T2 ^b	T3 ^b	T1 ^a	T2 ^b	T3 ^b
Promedio	3,96	15,55	15,33	7,35	20,84	18,84
Desv.Estandar	1,90	6,76	6,29	2,81	10,21	7,62
Coef. Variación (%)	47,72	43,47	40,99	38,02	49,15	40,55

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 8: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 1



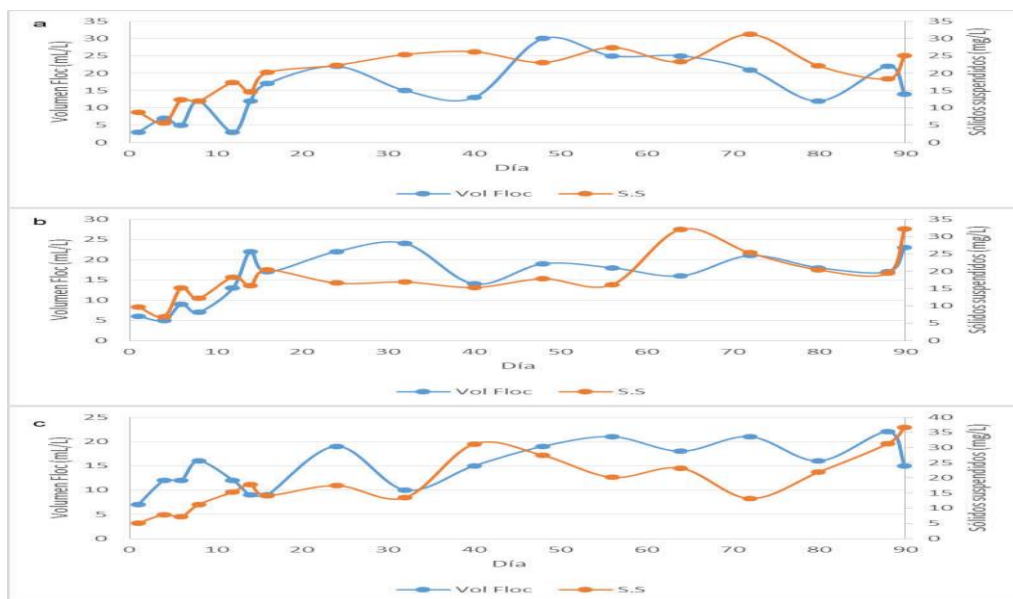
a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 9: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 2



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 10: Comportamiento de volumen de floc y sólidos suspendidos en el tratamiento 3



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Los valores de biofloc para el T1 tuvieron como máximas concentraciones de hasta 10 mg/L, situando su valor medio en 3,96 mg/L, valor que resulta siendo inferior a los tratamientos donde hubo un aporte de material carbonáceo y nitrogenado para alcanzar la relación carbono nitrógeno de 20:1, siendo que los valores medios del T2 y T3 son mayores a las máximas concentraciones encontradas durante el experimento del T1.

Para los tres tratamientos, los coeficientes de variación son elevados, mayores al 40% demostrando que los valores registrados, son distantes de los valores promedios. La rápida aglomeración en forma de flóculos de las diversas formas de vida contenidas en el agua natural, resulta siendo benéfica para los animales de hábitos alimenticios herbívoros, disminuyendo así el consumo de alimento artificial (Browdy et al. 2012; Collazos y Arias, 2015).

Los valores de sólidos suspendidos presentaron amplia variación respecto a su concentración en los tres tratamientos, ubicando su coeficiente de variación entre los 2 y los 45 mg/L. Por los aportes, principalmente de la melaza, el agua de T2 y T3 presentó mayor cantidad de sólidos suspensos. Un correcto manejo de estos materiales usando la

aireación, hace que concentraciones tan altas de estas partículas no sea perjudicial para la salud de los peces, teniendo en cuenta que en sistemas intensivos de producción es recomendable mantener concentraciones inferiores a los 25 mg/L para evitar el deterioro de la calidad del agua a través del consumo de oxígeno disuelto, principalmente para la degradación de materia orgánica (Avnimelech, 1999; Lekang, 2013; Luo, Avnimelech, Pan, & Tan, 2013a)

La figura 11 presenta la medición en cono imhoff para determinar el volumen de floc.

Figura 11: Cono de Imhoff para la determinación de volumen de floc



Fuente: Autoría propia

Se pudo constatar la presencia de diverso material en el agua de los tratamientos T2 y T3. (Cladóceros, ciliados, algas y rotíferos). Las figuras 12 y 13 muestran la variedad microbiana contenida en los biofloc.

Figura 12: Zooplancton presente en los tratamientos T2 y T3



Fuente: Autoría propia

Se puede verificar la presencia de cladóceros del género *Daphnia*, así como ciliados, comunes en los sistemas de producción basados en la tecnología biofloc.

Figura 13: Fitoplancton y zooplancton presente en los tratamientos T2 y T3



Al inicio se puede observar la poca presencia de algas diatomeas (a) y una reducida cantidad de algas verdes. Con el transcurrir del tiempo la población de algas clorofíceas aumentan, así como la aparición de rotíferos (b,c,d f) y de microcrustáceos (e).

7.3 Evaluación de los parámetros productivos para tilapia roja (*Oreochromis sp*)

7.3.1 Peso y talla inicial para tilapia roja

Según el análisis de varianza, el peso y talla inicial (Anexo C) no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$), como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de peso y talla de los organismos en la siembra de tilapia roja

	Peso inicial (g)			Talla final (cm)		
	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a
Promedio	6,0	6,0	5,8	7,6	7,6	7,6
Desv.Estandar	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2
Coef.Variación (%)	1,49	2,47	5,11	1,24	2,12	3,25

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

El resultado nos garantizó que una vez distribuidos los animales en las unidades experimentales, había homogeneidad en la población a ser estudiada.

7.3.2 Evaluación para la variable ganancia de peso

La variable ganancia de peso presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre sus tratamientos. El análisis de varianza es presentado en el anexo D. El resumen de las variables es presentado en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen estadístico de ganancia de peso total durante el experimento

Ganancia de Peso			
	T1 ^a	T2 ^b	T3 ^b
Promedio(kg)	12,88	15,83	16,84
Desv.Estandar	10,61	12,09	11,77
Coef.Variación (%)	82,33	76,37	69,86

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

La figura 14 muestra un ejemplar de tilapia roja (*Oreochromis sp*) en el momento de la siembra con aproximadamente 5,0 g y 7,0 cm en la parte superior. En la parte inferior, un ejemplar después de los 90 días de experimento, con aproximadamente 130 g y 22 cm.

Figura 14: Ejemplar de tilapia roja (*Oreochromis sp*) siembra (arriba) y muestreo final (abajo)



Fuente: Autoria propia

Los tratamientos T2 y T3 presentaron mejor aprovechamiento del alimento suministrado y el mesocosmos formado a partir de la implementación del biofloc. T2 con 2,95 kg y T3 con 3,95 kg en promedio, fue el aumento de biomasa con respecto al sistema tradicional de cultivo basado en el suministro únicamente de concentrado.

Tal como es observado en otros trabajos e investigaciones, el sistema de biofloc presenta mejores crecimientos, incluso que los sistemas de recirculación (Crab, Kochva, Verstraete, & Avnimelech, 2009; Lekang, 2013; Timmons, M.B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton, S. T. Summerfelt, 2002). Esto hace que la posibilidad para los piscicultores en zonas con dificultades socioeconómicas y ambientales, como es el bajo Putumayo, se apropien de la tecnología de producción en biofloc, no solo por sus altos rendimientos,

también como alternativa al sistema convencional de cultivo y la protección de los ecosistemas amazónicos.

7.3.3 Evaluación de la variable sobrevivencia

La variable sobrevivencia no presentó diferencias estadísticas significativas ($P>0,05$) entre sus tratamientos (Anexo E). El análisis de varianza es presentado en el anexo E. El resumen de las variables es presentado en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen estadístico de sobrevivencia durante el experimento

Sobrevivencia			
	T1^a	T2^a	T3^a
Promedio (%)	98,32	98,73	98,45
Desv.Estandar	1,02	0,37	0,46
Coef.Variación (%)	1,04	0,37	0,47

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p<0,05$)

La sobrevivencia durante los 90 días de experimento no presentó variaciones que significaran diferencias entre los tratamientos. Esta situación podría verse afectada si la densidad de cultivo fuese mayor. Se inició con densidades de siembra bajas ($0,4 \text{ kg/m}^3$) y se terminó con densidades de siembra de $7,8 \text{ kg/m}^3$ para T1, $9,0 \text{ kg/m}^3$ para T2 y 10 kg/m^3 en el T3. En estos casos la aireación suministrada por equipos permite mejorar la cantidad de organismos a producir. Los sistemas convencionales basan su producción en la reducida cantidad de equipos disponibles para la mejora tanto en los parámetros productivos, como la calidad de las aguas (Ebeling & Timmons, 2012; Van Rijn, 2013). Las sobrevivencias obtenidas son similares, con elevadas sobrevivencias en híbridos de tilapia con densidades de siembra de 16 kg/m^3 superiores al 90% (Crab et al., 2009).

7.3.4 Evaluación de la variable Factor de conversión Alimenticia Aparente (FCAA)

Los tratamientos T2 y T3 presentan un mejor aprovechamiento del alimento suministrado bajo la tecnología del biofloc respecto al tratamiento testigo donde no hay la formación de flóculos. Los resultados son presentados en la tabla 6 y Anexo F.

Tabla 6. Resumen estadístico para la variable FCAA

FCAA			
	T1^a	T2^b	T3^b
Promedio	1,8670	1,6887	1,6577
Desv.Estandar	0,6572	0,5141	0,5828
Coef.Variación (%)	35,20	30,44	35,16

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los resultados para el T2 y T3 para la variable FCAA son similares a los obtenidos por Al-Souti, Al-Sabahi, Soussi, & Goddard, (2012) cultivando tilapia roja en estanques circulares con valores entre 1,56 a 1,70, con la diferencia del uso menor de agua. David, Carvalho, Lemos, Silveira, & Dall'Aglio-Sobrinho, (2015) también presenta valores semejantes de FCAA, pero en jaulas flotantes. Tales valores representan el menor uso de alimento concentrado, aprovechando la capacidad filtradora de las tilapias. Sin embargo, difieren con otros resultados presentados por (Crab et al., 2009; Schryver, Crab, Defoirdt, Boon, & Verstraete, (2008), donde los FCAA para animales de similares pesos obtiene valores superiores a 2 utilizando cantidades similares de proteína en las raciones.

El poco lanzamiento de efluentes en la BTF, con altas cargas de nutrientes debido a las altas cantidades de proteína utilizada en la alimentación para acuicultura, así como el uso de sustancias químicas para la inducción al sexo de los organismos para obtener mayores y más rápidos crecimientos, da mayor eficiencia en el aprovechamiento tanto de área como uso del agua y protección de los mismos. La mejor asimilación de dichas raciones hace que el biofloc sea atractivo, visando la protección de la vida acuática (Maigual-Enriquez et al., 2019; Schaafsma & Groothuis, 2011).

7.3.5 Evaluación de la variable tasa de crecimiento simple

Para el ensayo realizado, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Anexo G) en cuanto a la variable peso y talla ($P < 0,05$). El resumen de las variables es presentado en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Resumen estadístico del TCS-Peso durante el experimento

Tasa de crecimiento simple - Peso			
	T1^a	T2^b	T3^b
Promedio (g)	0,0368	0,0390	0,0402
Desv.Estandar	0,0073	0,0082	0,0106
Coef.Variación (%)	19,90	21,10	26,44

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Tabla 8. Resumen estadístico del TCS-Talla durante el experimento

Tasa de crecimiento simple - Talla			
	T1^a	T2^b	T3^b
Promedio (cm)	0,0116	0,0128	0,0134
Desv.Estandar	0,0030	0,0025	0,0034
Coef.Variación (%)	25,36	19,25	25,59

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los valores son superiores a los obtenidos por Santos, Mareco, & Silva, (2013) en sistemas de recirculación para tilapia roja, las TCS son tres veces mayores para peso, demostrando la eficiencia del sistema con poco recambio de agua planteado en este trabajo. Los resultados difieren a los obtenidos por Mohamed, Abd-Allah, & Taman, (2003) para el T1 siendo que obtuvo una TCS para tilapia nilótica de 0,0155, los cuales

son dos veces inferior a los obtenidos en el sistema de biofloc. Hossain et al., (2017) utilizando un sistema basado en el consumo de fitoplancton obtuvo una TCS de 0,02, resaltando los valores cercanos al 4% para todos los tratamientos del presente trabajo.

Las variables productivas evaluadas en el experimento presentaron mejores resultados en los tratamientos T2 y T3 respecto al T1. Es una tecnología que puede adaptarse a las condiciones que ofrecen los cultivos en el bajo Putumayo. Esto reduciría el tiempo de cultivo, además que se tendría una reducción en el uso de alimentación exógena que representa alrededor del 70%, por la utilización de la productividad primaria, fitoplancton y zooplancton presente y abundante en el agua, como el poco desperdicio de nutrientes, por el desarrollo del ciclo biogeoquímico del nitrógeno en el mesocosmos que representa cada unidad experimental. La sobrevivencia se comportó igual entre los tratamientos, sin embargo los métodos de cultivo tradicional necesitan de la protección de las unidades para evitar la depredación tanto de alevinos como de adultos de la presencia de aves, batracios e insectos que pueden representar una pérdida económica.

7.4 Análisis de la calidad físico-química del agua de cultivo utilizada en el experimento

7.4.1 Evaluación de los parámetros temperatura y pH del agua

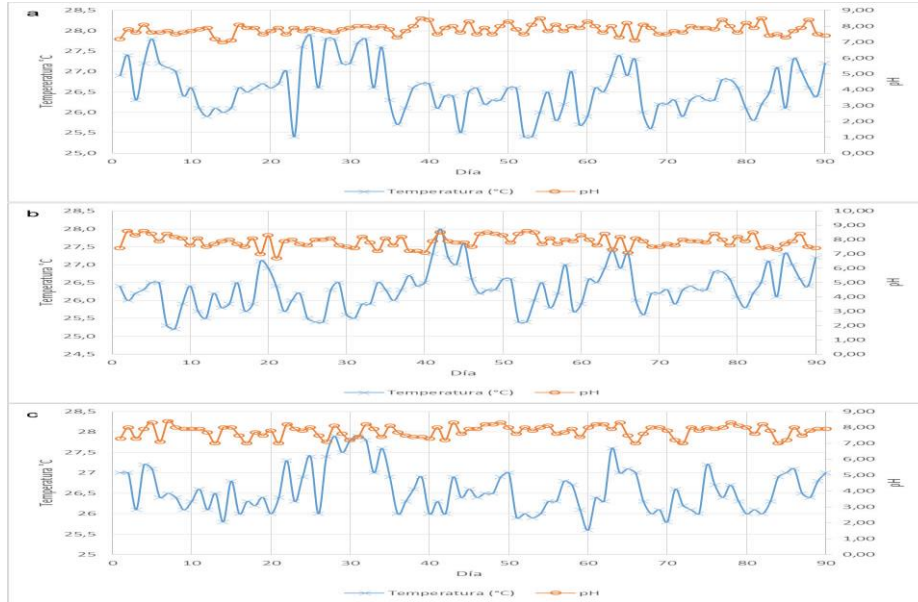
Los resultados de las variables temperatura y pH para los tres tratamientos (Anexos H e I) se presentan en la tabla 9 y figura 15 a 17.

Tabla 9. Resumen estadístico de Temperatura y pH durante el experimento

	Temperatura (°C)			pH		
	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a
Promedio	26,48	26,56	26,78	7,81	7,71	7,73
Desv. Estandar	0,56	0,72	0,81	0,37	0,44	0,51
Coef. Variación (%)	2,13	2,70	3,02	4,75	5,65	6,59

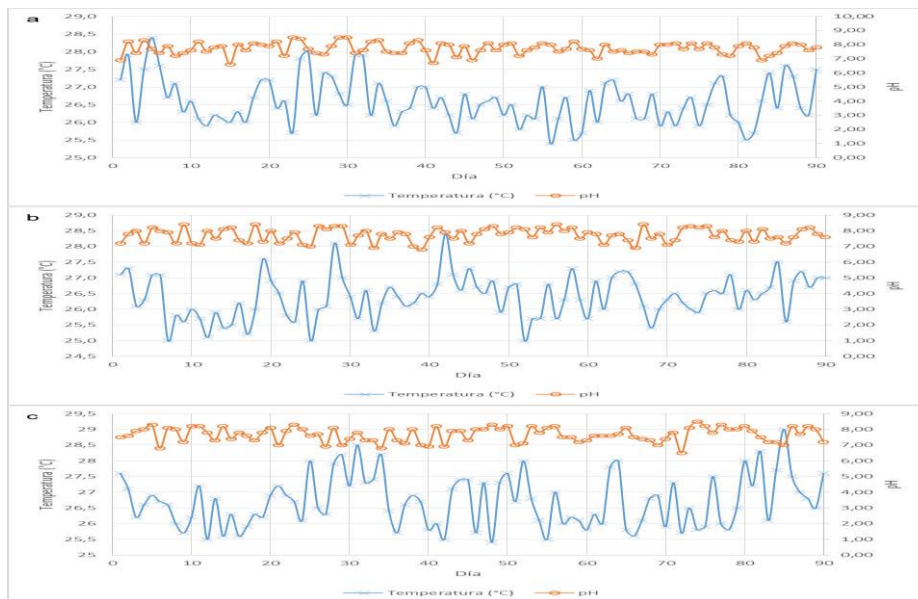
Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 15: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 1



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 16: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 2



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 17: Comportamiento de temperatura y pH en el tratamiento 3



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Los valores obtenidos de temperatura y pH están dentro de los rangos normales para el desarrollo adecuado de la tilapia roja, no presentando diferencias estadísticas significativas entre las unidades experimentales.

Tanto temperatura como pH también están dentro de los valores ideales para la eliminación biológica de nitrógeno. Si, bien los valores altos de pH y temperatura obtenidos a lo largo de todo el experimento podrían ser de especial cuidado, tanto los sistemas de aireación como el correcto manejo del sistema BFT lograron mantener una adecuada calidad en el agua, verificado en el desarrollo normal de los organismos de cultivo y favoreciendo también el crecimiento de organismos heterótrofos (Lekang, 2013; Luo et al., 2013b; Metcalf-Eddy et al., 2013).

7.4.2 Evaluación de los parámetros de concentración y saturación de oxígeno disuelto del agua

Los resultados de las variables concentración y saturación de oxígeno disuelto en los tres tratamientos se presentan en la tabla 10 y figuras 18 a 20.

Tabla 10. Resumen estadístico para OD y Saturación de oxígeno

	OD (mg/L)			OD Saturación (%)		
	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a
Promedio	6,73	6,76	6,83	86,35	85,58	86,36
Desv.Estandar	0,69	0,86	0,86	8,24	9,01	9,80
Coef. Variación (%)	10,21	12,68	12,55	9,54	10,52	11,35

Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Figura 18: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 1



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 19: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 2



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 20: Comportamiento de OD y saturación de oxígeno en el tratamiento 3



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

La concentración de oxígeno como la saturación del mismo en las unidades experimentales no presentó diferencias estadísticas significativas (Anexo J).

Los comportamientos fueron variables a lo largo de todo el experimento. Con concentraciones superiores a los 6 mg/L y saturación arriba del 80% en todos los tratamientos, se logró dar la cantidad suficiente de oxígeno, protegiendo la vida de los animales, en el caso del T1, T2 y T3, apoyar los procesos biológicos que son desarrollados en el sistema biofloc, el control en la degradación del material como el alimento no consumido, las heces excretadas por los animales y los procesos de la eliminación de los iones de amonio y nitrito en el agua durante el proceso de la nitrificación. Todos estos procesos consumen oxígeno del agua (Crab et al., 2012; Metcalf-Eddy et al., 2013; Schryver et al., 2008). Las concentraciones elevadas de oxígeno obtenidos, ayudados por el sistema de aireación también ayudan en la eliminación del biofloc más viejo por esfuerzo cortante o la misma condición hidrodinámica que generan las burbujas de aire en el agua.

7.4.3 Evaluación de los compuestos nitrogenados: NAT, nitrito y nitrato

Los resultados de las variables NAT, nitrito y nitrato (Anexo K, L y M) se presentan en la tabla 11 y figuras 21 a 23.

Tabla 11. Resumen estadístico para NAT, nitrito y nitrato

	NAT (mg/L)			Nitrito (mg/L)			Nitrato (mg/L)		
	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^b	T3 ^b
Promedio	5,3	5,3	5,4	0,3	0,4	0,4	7,1	7,8	7,8
Desv.Estandar	4,3	4,4	5,0	0,4	0,5	0,4	6,9	7,8	6,8
Coef. Variación (%)	80,9	82,6	93,5	119,2	130,8	114,8	97,7	100,0	87,6

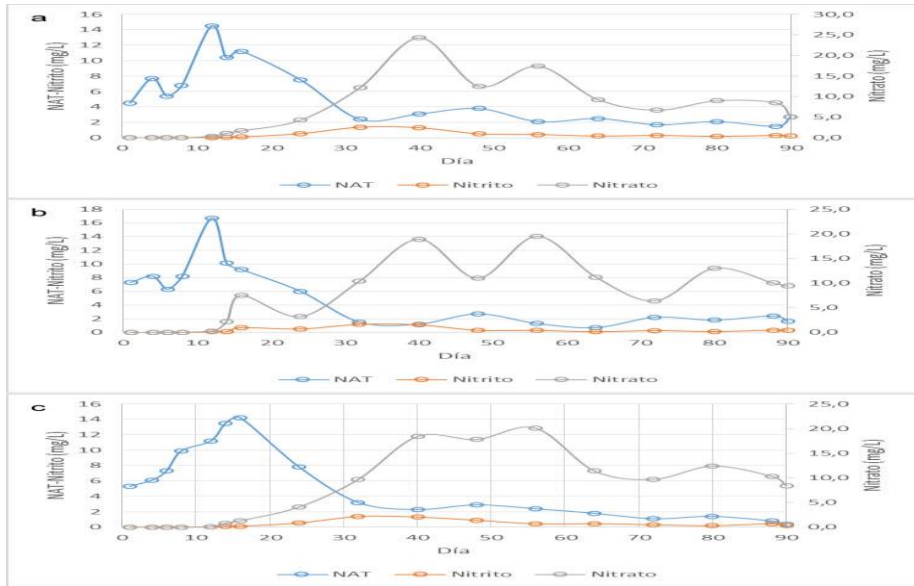
Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$)

Los valores obtenidos en la presente investigación difieren de otros estudios por haber sido manejado con bajas densidades de siembra. Sin embargo, el comportamiento de los compuestos nitrogenados es similar a otros estudios.

Presentan los mayores picos para todos los tratamientos alrededor de los 13-14 días después de haber inoculado las unidades experimentales, donde al día 15 de haber dado partida al sistema, se sembraron los animales en las unidades experimentales. El comportamiento inicial con presencia de concentraciones elevadas de NAT a los 5 días fue relatado por (Luo, Avnimelech, Pan, & Tan, 2013a), sin embargo el comportamiento de la presente investigación después de ese periodo fue diferente para el mismo parámetro. Hubo aumento considerable de la cantidad de NAT, debido a la maduración del mismo, así como el control del ion nitrito que podría resultar siendo un inhibidor de la eliminación de estos compuestos si no es controlado adecuadamente..

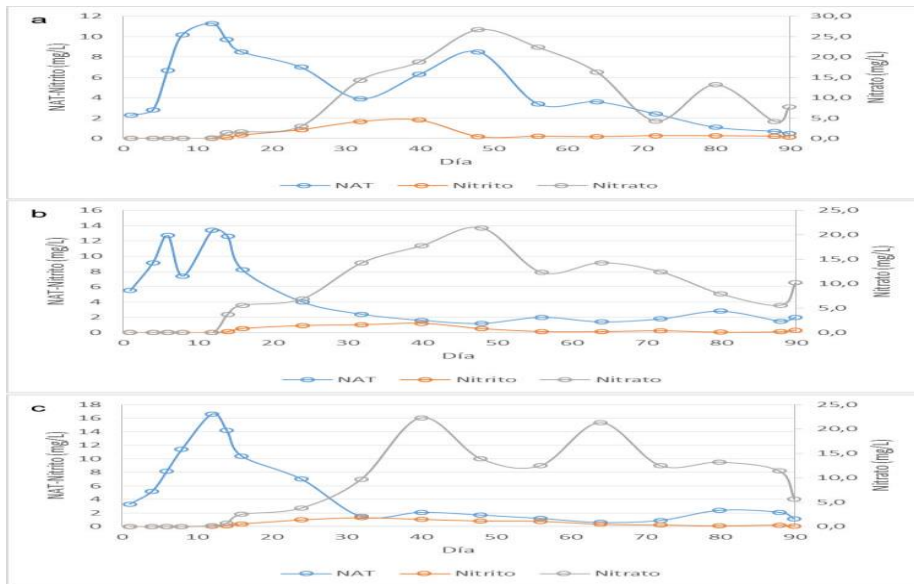
Para el mismo autor, el comportamiento de los iones nitrito y nitrato es similar a los resultados obtenidos con aumentos significativos de estos parámetros a partir de los 15 días. La disminución en la concentración de nitrito y el aumento de los nitratos se evidencian claramente en los tratamientos, mas, el tratamiento T3 presenta una diferencia estadística significativa de nitrato. Tal disminución puede ser provocada por una acción de bacterias quimioautotróficas realizando con mayor eficiencia el proceso de la nitrificación. Los tratamientos T1 y T2 presentan actividad de este tipo de organismos lo cual es reflejado en los valores de sobrevivencia altos que se obtuvieron, pero cinéticamente menos eficientes y teniendo en cuenta que la cantidad de fauna acuática que logro desarrollarse también ayuda en su eliminación (Crab, Avnimelech, & Defoirdt, 2007; Gray, 2010; Luo, Avnimelech, Pan, & Tan, 2013a; Metcalf-Eddy et al., 2013). La BFT es eficiente en el control de compuestos nitrogenados tóxicos, debido a la presencia y acción de las bacterias encargadas de la nitrificación, reduciendo el riesgo tanto para los organismos en cultivo como también disminuir el riesgo de eutrofización en los cuerpos hídricos receptores, resultando menos nocivos para el medio ambiente. (Luo et al., 2013a,b).

Figura 21: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T1 durante el experimento



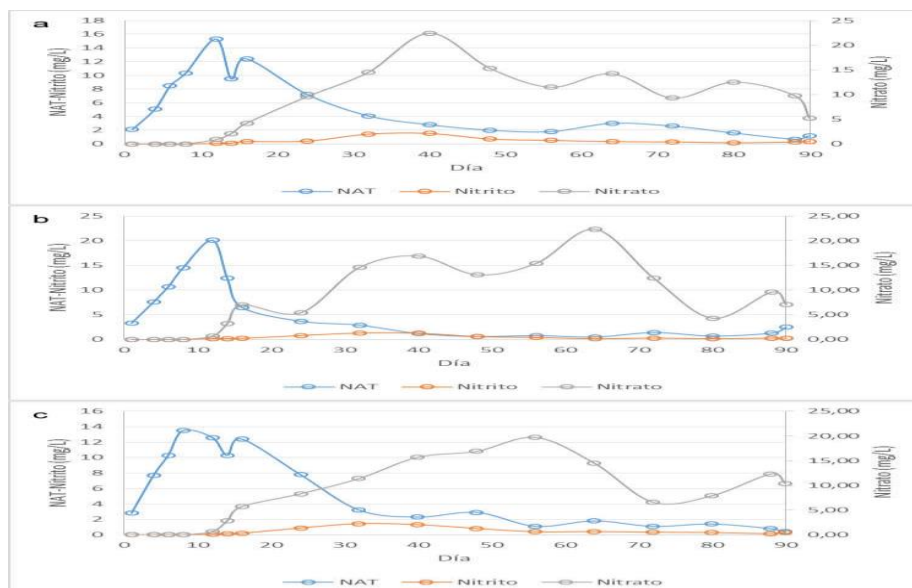
a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 22: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T2 durante el experimento



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 23: Comportamiento de NAT, nitrito y nitrato en T3 durante el experimento



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

7.4.4 Concentración de alcalinidad, dureza y turbiedad

Los resultados de las variables alcalinidad, dureza y turbiedad (Anexo N, O y P) se presentan en la tabla 12 y figuras 24 a 26.

Tabla 12. Resumen estadístico de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento

	Alcalinidad (mg/L)			Dureza (mg/L)			Turbiedad (uT)		
	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a	T1 ^a	T2 ^b	T3 ^b	T1 ^a	T2 ^a	T3 ^a
Promedio	128,8	136,3	134,2	93,1	105,0	109,8	200,2	201,9	202,2
Desv.Estandar	25,7	25,2	22,5	17,0	12,5	17,5	26,4	27,8	23,5
Coef. Variación (%)	20,0	18,5	16,7	18,3	11,9	15,9	13,3	14,4	11,7

Figura 24: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T1



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 25: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T2



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Figura 26: Comportamiento de alcalinidad, dureza y turbiedad durante el experimento en T3



a. Sistema convencional; b. BFT con estanque revestido con geomembrana; c. BFT con tanque circular en geomembrana

Los parámetros alcalinidad y turbiedad presentaron comportamientos similares en los tres tratamientos. La alcalinidad está relacionada con la nitrificación así como la dureza. En las figuras 24 a 26, se puede ver como es realizado el control de los compuestos nitrogenados a través de las concentraciones de estos parámetros. La turbiedad puede estar relacionada con los muestreos realizados debido a la captura de los animales y en sí de la misma presencia del biofloc y de los sólidos suspendidos (Lekang, 2013; Metcalf-Eddy et al., 2013; Rijn, Tal, & Schreier, 2006). Valores altos de turbiedad pueden acarrear problemas debido al hecho que en las partículas mayores, pueden servir de sustrato para organismos patógenos, mas, los valores de sobrevivencia pueden ser un indicador de la presencia de organismo heterótrofos encargados del consumo de dichos organismos.

Cabe resaltar que el mantenimiento adecuado de la alcalinidad en el lugar donde se pretende o se está cultivando organismos vivos como lo fue en este experimento, este parámetro también contribuye a la moderación en los cambios bruscos de pH, como

resultado de procesos fotosintéticos y respiratorios tal como el medio creado en los sistemas de biofloc.

La dureza aumenta debido a la disolución de los carbonatos en el agua principalmente de calcio y magnesio, causados por la baja de pH que genera la nitrificación. Tal acción resulta siendo benéfica tanto para los peces, eliminando la presencia del nitrito que es tóxico a bajas concentraciones, como el aumento en la concentración de nitrato que es la forma asimilable por los organismos fotosintetizadores. En el caso del sistema biofloc, tendrá un efecto benéfico sobre el crecimiento de las algas, las cuales son una importante fuente de proteína, reduciendo la cantidad de sustancias que pueden conllevar a un deterioro de la calidad del agua por el aumento de nutrientes y la eutrofización.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, los sistemas convencionales y de biofloc, el comportamiento de los parámetros físico-químicos del agua es similar para todos los tratamientos. Tal similitud podría estar relacionada con las bajas densidades de siembra utilizadas en los tratamientos, mas, dos parámetros mostraron comportamiento diferente: nitratos y dureza del agua, los cuales estarían indicando que la actividad biológica dentro del sistema de biofloc se está desarrollando. Estos dos parámetros indican que en los sistemas propuestos, la remoción por vía biológica del nitrógeno está sucediendo.

En la tabla 13 se realiza la comparación entre el cultivo convencional y la tecnología biofloc en el experimento realizado con tilapia roja (*Oreochromis sp*).

Tabla 13. Comparación entre cultivo convencional y biofloc en el experimento realizado con tilapia roja (*Oreochromis* sp).

Parámetro	TECNOLOGIA	
	Convencional	BFT
Superficie (m ²)	Grandes áreas	Pequeñas áreas
Instalación (\$)	Bajo	Alto
Densidad de siembra (kg/m ³)	Bajo	Alto
Volumen Agua	Grande	Bajo
Recambio de agua	Alto	Bajo (pérdidas por evaporación)
Generación de residuos sólidos y líquidos	Grande	Bajo
Control y protección ambiental	Poco	Alto
Personal Calificado	No	Si
Aireación	No	Si
FCAA	Alto	Bajo
Especies	Policultivo	Monocultivo
Escape de animales	Alto	Bajo
Partida del sistema	Simple	Compleja
Tasa de crecimiento	Bajo	Alto

8. CONCLUSIONES

La aplicación de la BFT para tilapia roja pudo ser desarrollada con éxito en las instalaciones de ASOPEZ, siendo estandarizada la técnica, esto se logró controlando las diferentes variables que hacen parte del proceso, creando un protocolo que permitirá la adopción e implementación de la misma entre los piscicultores del municipio del Valle del Guamuez.

Los parámetros ganancia de peso, tasa de crecimiento simple, conversión alimenticia fueron mejores en los sistemas con la implementación de la tecnología del biofloc respecto al sistema tradicional de cultivo en estanques de tierra. Según estas variables, hubo mejor aprovechamiento de la alimentación tanto exógena como productividad natural por parte de los animales en cultivo.

Los parámetros físico químicos del agua utilizada en las unidades experimentales fue estable y no presento variaciones entre los tratamientos, excepto nitratos y dureza del agua. La temperatura y pH se encontraron dentro de los rangos óptimos para el cultivo de la tilapia roja, reflejado en los altos valores de sobrevivencia y la no aparición de dificultades sanitarias durante el periodo del experimento.

El manejo de la BFT permite controlar la calidad del agua de las unidades productivas beneficiando tanto a los organismos en cultivo como al medioambiente al reducir la cantidad de residuos tanto sólidos como líquidos debido al menor volumen de agua utilizado durante el ciclo productivo, que en el sistema tradicional es difícil de realizar.

Mantener el cultivo bajo ciclo cerrado, y la utilización de pequeñas áreas permite al productor generar un bajo impacto en el medioambiente por mejor uso del suelo y evita el escape de especies exóticas como la tilapia roja, garantizando un adecuado manejo y conservación del ecosistema amazónico acuático.

9.RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda el uso de la BFT utilizando los estanques construidos en tierra con recubrimiento en geomembrana para reducir los costos de la implementación en las unidades productivas de los piscicultores, debido al similar comportamiento presentado en comparación con las unidades de cultivo en tanques circulares revestidos con geomembrana.

Replicar la experiencia realizada con la comunidad, mostrando las ventajas que trae el cultivo de la tilapia roja con BFT, como una alternativa amigable con el medio ambiente protegiendo el ecosistema amazónico circundante.

Evaluar diferentes relaciones carbono-nitrógeno para el cultivo de tilapia roja, para realizar ajustes al protocolo generado, con la intención de aumentar la cantidad de biomasa producida y reducir los costos de producción.

Estudiar el uso de esta tecnología de producción por parte de la comunidad con organismos acuáticos nativos que presentan riesgo de reducción de sus poblaciones, sean de consumo u ornamentales.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Souti, Ahmed, Jamal Al-Sabahi, Bassam Soussi, and Stephen Goddard. (2012). "The Effects of Fish Oil-Enriched Diets on Growth, Feed Conversion and Fatty Acid Content of Red Hybrid Tilapia, *Oreochromis Sp.*" *Food Chemistry* 133(3):723–27.
- American Public Health Association (APHA) (1998) Standard method for examination of water and wastewater, 20th edn. APHA, AWWA, WPCF, Washington, DC.
- Arias, F. (1999) El proyecto de investigación; Guía para su elaboración (3ra. Edición) Caracas-Venezuela, Editorial Espíteme.
- AUNAP. (2013). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://www.aunap.gov.co/wp.../04/25-Diagnostico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>.
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology – A practical Guide Book*. The World Aquaculture Society. 272. Páginas.
- Avnimelech, Y. (2012). *Biofloc Technology – A Practical Guide Book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 2nd. Edition.
- Avnimelech, Y. (2015). *Bioflocs Tehcnology-A practical Guide Book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. United States. 3rd Edition.
- Avnimelech, Yoram. (1999). "Carbon r Nitrogen Ratio as a Control Element in Aquaculture Systems." (February):227–35.
- Azim, M. y Little, D. (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. Páginas.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerciano, M., Abreu, L., Wasielesky, W. (2010). *Effect of practical diets with different protein levels on the performance of Farfantepenaeus paulensis juveniles nursed in zero wáter Exchange suspended microbial flocs intensive system*. *Aquaculture Nutrition*. 16, 163-172.
- Browdy, Craig L., Andrew J. Ray, John W. Leffler, and Yoram Avnimelech. (2012). "Biofloc-Based Aquaculture Systems." Pp. 278–307 in *Aquaculture Production Systems*, edited by J. H. Tidwell. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.

- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP, Bauman RH, Pearson DC. (2003) Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219:393–411.
- Castillo, L.F. (2006). *Tilapia Roja 2006: Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito*. Cali, Colombia.
- Collazos, F. y Arias, J. (2015). *Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión*. ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia. 19(1), 77-86. Páginas.
- Crab, Roselien, Malik Kochva, Willy Verstraete, and Yoram Avnimelech. (2009). "Aquacultural Engineering Bio-Flocs Technology Application in over-Wintering of Tilapia." 40:105–12.
- Crab, Roselien, Tom Defoirdt, Peter Bossier, and Willy Verstraete. (2012). "Biofloc Technology in Aquaculture: Beneficial Effects and Future Challenges." *Aquaculture* 356–357:351–56.
- Crab, Roselien, Yoram Avnimelech, and Tom Defoirdt. (2007). "Nitrogen Removal Techniques in Aquaculture for a Sustainable Production." 270:1–14.
- David, G. S., E. D. Carvalho, D. Lemos, A. N. Silveira, and M. Dall'Aglio-Sobrinho. (2015). "Ecological Carrying Capacity for Intensive Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Cage Aquaculture in a Large Hydroelectrical Reservoir in Southeastern Brazil." *Aquacultural Engineering* 66:30–40.
- Duque, E. y Trujillo, C. (2011). *Plan de Manejo para la Conservación de los Humedales del Corredor Fronterizo Puerto Vega-Teteyé, Puerto Asís, Putumayo-Colombia*. Mocoa, CORPOAMAZONIA-Universidad Nacional de Colombia. 44 pp.
- Ebeling, James M. and Michael B. Timmons. 2012. "Recirculating Aquaculture Systems." Pp. 245–77 in *Aquaculture Production Systems*, edited by J. H. Tidwell. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- FAO. (2014) - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>
- GOBERNACIÓN DEL PUTUMAYO (2012). *Diagnóstico Piscícola del Departamento del Putumayo*. Mocoa, Putumayo.
- Gray, N. F. (2010). "Micro-Organisms and Pollution Control." Pp. 93–116 in *Water Technology*. Elsevier.

- Hossain, Md Babul, Nahid Sultana, Parvin Noor, Selina Khan, Sharmin Akter Lisa, Mahmuda Begum, Nusrat Jahan Punom, Mst Khadiza Begum, Md Rakibul Hasan, and Mohammad S. Rahman. (2017). "Growth Performance and Fatty Acid Profile of Nile Tilapia." *Dhaka University Journal of Biological Sciences* 26(1):13–27.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.*
- Lekang, Odd Ivar. (2013). *Aquaculture Engineering*. 2nd ed. edited by WILEY-BLACKWELL. Oxford: WILEY-BLACKWELL.
- Luo, Guo Zhi, Yoram Avnimelech, Yun Feng Pan, and Hong Xin Tan. (2013a). "Inorganic Nitrogen Dynamics in Sequencing Batch Reactors Using Biofloc Technology to Treat Aquaculture Sludge." *Aquacultural Engineering* 52:73–79.
- Luo, Guozhi, Wenyan Liang, Hongxin Tanfl, Chen Yao, Nan Zhang, and Lu. (2013b). "Effects of Calcium and Magnesium Addition on the Start-up of Sequencing Batch Reactor Using Biofloc Technology Treating Solid Aquaculture Waste." *Aquacultural Engineering* 57:32–37.
- Maigual-Enriquez, Yemall Alexander, Amanda Alves Domingos Maia, Camilo Lenin Guerrero-Romero, Tsunao Matsumoto, Elidiane Cipriano Rangel, and Leandro Cardoso de Morais. (2019). "Comparison of Sludges Produced from Two Different Recirculating Aquaculture Systems (RAS) for Recycle and Disposal." *Aquaculture* 502:87–96.
- Martínez, C., Martínez, P., López, E., Campaña, T., Miranda, B., Ballester, E., Porchas., C., y Martínez-Córdova L. (2010). *Alimento Natural en Acuicultura: una revisión actualizada*. En: Cruz-Suarez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Nieto-López MG, Villarreal-Cavazos DA, Gamboa-Delgado J. (Eds). *Avances en nutrición Acuícola X - Memorias del X Simposio Internacional de Alimento natural en acuicultura: Nutrición Acuícola*, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Univ Autó Nvo León, Monterrey, México, 668-699. Páginas
- Metcalf-Eddy, George Tchobanoglus, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, Franklin L, and Burton. 2013. *Wasterwater Engineering Treatment and Reuse*. fourth. edited by I. Metcalf & Eddy. New York: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Agricultura, (2017). Resolución 2879 de 2017, AUNAP. Colombia.
- Ministerio de Agricultura, (1991). Decreto 2256 de 1991. Colombia.

- Ministerio de Agricultura, (1990). LEY No. 13 DEL 15 DE ENERO DE 1990. Colombia.
- Ministerio de Agricultura, (1978a). Decreto 1681 de 1978. Colombia.
- Ministerio de Agricultura, (1978b). Decreto 1541 de 1978. Colombia.
- Ministerio de Ambiente, V. y D.T., (2010). Decreto 3930 de 2010. Colombia.
- Mohamed, H. Bahnasawy, Gamal A. Abd-Allah, and E. Abdel-Baky Taman. (2003). "GROWTH PERFORMANCE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis Niloticus*) FINGERLINGS RAISED IN AN EARTHEN POND." *Archives of Polish Fisheries* 11(2):277–85.
- Monroy, D., De Lara, A., Castro, M., Castro, MG., y Emerenciano, C. (2013). *Composición y abundancia de comunidades microbianas*. *Rev Biol Mar Oceanogr*. 48(3), 511-520. Páginas.
- Poleo G, Aranbarrio JV, Mendoza L, Romero O. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados (2011). *Pesq Agropec Bras. Brasília* 46(4):429-437.
- Rijn, Jaap Van, Yossi Tal, and Harold J. Schreier. (2006). "Denitrification in Recirculating Systems : Theory and Applications." 34:364–76.
- Rosenberg, A. (2008). The price of lice. *Nature*, 451(3), 23–24
- Sampieri, R; Fernandes-Collado, C y Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGrawHill.Mexico. D.F. 882 p.
- Santos, Vander Bruno, Edson Assunção Mareco, and Maeli Dal Pai Silva. (2013). "Growth Curves of Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Strains Cultivated at Different Temperatures." *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 35(3):235–42.
- Schaafsma, Sara M. and T. G. G. Groothuis. (2011). "Sex-Specific Effects of Postnatal Testosterone on Lateralization in Cichlid Fish." *Animal Behaviour* 81(1):283–88.
- Schmittner, A. (2005). Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation. *Nature*, 434, 628–633.
- Schryver, P. De, R. Crab, T. Defoirdt, N. Boon, and W. Verstraete. (2008). "The Basics of Bio- FI Ocs Technology : The Added Value for Aquaculture." 277:125–37.
- Tacon, A., Hasan, M. y Subasinghe, R. (2006). Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications. *FAO Fisheries Circular*. No. 1018. Rome, FAO. 99 pp.

- Thomas, C., Cameron, A., Green, R., Bakkenes, M., Beaumont, L., Collingham, Y., Erasmus, B., Siqueira, M., Grainger, A. y Hannah, L. (2004). Extinction risks from climate. *Nature* 427,145–48.
- Timmons, M.B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton, S. T. Summerfelt, and B. J. Vinci. (2002). "Recirculating Aquaculture Systems." P. 769 in *Aquaculture Production Systems*, edited by J. H. Tidwell. Oxford: John Wiley & Sons, Inc.
- Van Rijn, Jaap. (2013). "Waste Treatment in Recirculating Aquaculture Systems." *Aquacultural Engineering* 53:49–56.
- Velasco, A., Calvario, M., Pulido, F., Acevedo, S., Castro, R. y Román, D. (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México. *Revista Académica Ingeniería*. 16(3), 165-174. Páginas.
- Wasielesky, Wilson, Heidi Atwood, Al Stokes, and Craig L. Browdy. (2006). "Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus Vannamei*." *Aquaculture* 258(1–4):396–403.

A. Anexo: Análisis estadística para la variable volumen biofloc.

Análisis de Varianza para Volumen de biofloc

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	4482,37	2	2241,18	474,28	0,0000
Replica(Tratamiento)	28,3529	6	4,72549		
Tiempo(Replica Tratamiento)	4367,53	144	30,3301	6,42	0,0124
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	8878,25	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	3,96078	0,304396	X
3	51	15,3333	0,304396	X
2	51	15,549	0,304396	X

B. Anexo: Análisis estadística para las variables sólidos suspendidos.

Análisis de Varianza para Sólidos suspendidos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	5410,53	2	2705,27	136,83	0,0000
Replica(Tratamiento)	118,622	6	19,7703		
Tiempo(Replica Tratamiento)	8282,47	144	57,5171	2,91	0,0874
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	13811,6	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	7,3451	0,622618	X
3	51	18,8392	0,622618	X
2	51	20,8412	0,622618	X

C. Anexo: Análisis estadística para las variables peso y talla Inicial.

Análisis de Varianza para peso inicial

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	1,58587	2	0,792933	0,82	0,4838
Replica(Tratamiento)	5,79173	6	0,965289		
Muestra(Replica Tratamiento)	391,042	216	1,81038	1,88	0,2173
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	398,42	224			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	75	5,75867	0,113448	X
1	75	5,904	0,113448	X
2	75	5,95733	0,113448	X

Análisis de Varianza para talla inicial

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,115289	2	0,0576444	0,07	0,9310
Replica(Tratamiento)	4,78107	6	0,796844		
Muestra(Replica Tratamiento)	284,989	216	1,31939	1,66	0,2730
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	289,885	224			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	75	7,556	0,103076	X
2	75	7,56533	0,103076	X
3	75	7,608	0,103076	X

D. Anexo: Análisis estadística para la variable ganancia de peso.

. Análisis de Varianza para Ganancia de Peso

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	101,754	2	50,8769	27,55	0,0009
Replica(tratamiento)	11,08	6	1,84667		
Muestreo(replica tratamiento)	4353,43	27	161,238	87,31	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	4466,26	35			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	12,8917	0,392287	X
2	12	15,8333	0,392287	X
3	12	16,8583	0,392287	X

E. Anexo: Análisis estadística para la variable sobrevivencia.

Análisis de Varianza para Sobrevivencia (%)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	1,08667	2	0,543333	2,31	0,1807
Replica(tratamiento)	1,41333	6	0,235556		
Muestreo(replica tratamiento)	13,94	27	0,516296	2,19	0,1658
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	16,44	35			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	98,3167	0,140106	X
3	12	98,45	0,140106	X
2	12	98,7333	0,140106	X

F. Anexo: Análisis estadística para la variable factor de conversión alimenticia aparente.

Análisis de Varianza para FCAA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,300556	2	0,150278	9,17	0,0150
Replica(tratamiento)	0,0983333	6	0,0163889		
Muestreo(replica tratamiento)	11,0775	27	0,410278	25,03	0,0003
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	11,4764	35			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	12	1,65	0,0369559	X
2	12	1,68333	0,0369559	X
1	12	1,85833	0,0369559	X

G. Anexo: Análisis estadística para las variables tasa de crecimiento simple peso y talla.

Peso

Análisis de Varianza para TCSP

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,0000707489	2	0,0000353744	17,81	0,0030
Replica(tratamiento)	0,000011915	6	0,00000198583		
Muestreo(replica tratamiento)	0,00255941	27	0,0000947928	47,73	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,00264207	35			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	0,0367833	0,0004068	X
2	12	0,0389833	0,0004068	X
3	12	0,0401667	0,0004068	X

Talla

Análisis de Varianza para TCST

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,0000707489	2	0,0000353744	17,81	0,0030
Replica(tratamiento)	0,000011915	6	0,00000198583		

Muestreo(replica tratamiento)	0,00255941	27	0,0000947928	47,73	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,00264207	35			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	12	0,0367833	0,0004068	X
2	12	0,0389833	0,0004068	X
3	12	0,0401667	0,0004068	X

H. Anexo: Análisis estadística para la variable temperatura

Análisis de Varianza para temperatura

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,145756	2	0,0728778	4,44	0,0656
Replica(Tratamiento)	0,0985333	6	0,0164222		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,244289	8			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	26,4833	0,073987	X
2	3	26,56	0,073987	X
3	3	26,7833	0,073987	X

I. Anexo: Análisis estadística para la variable pH.

Análisis de Varianza para pH

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,0184889	2	0,00924444	5,30	0,0572
Replica(Tratamiento)	0,0104667	6	0,00174444		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0289556	8			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	3	7,70333	0,0241139	X
3	3	7,73	0,0241139	X
1	3	7,81	0,0241139	X

J. Anexo: Análisis estadística para las variables concentración y saturación de oxígeno.

Análisis de Varianza para concentración de oxígeno disuelto

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,0126	2	0,0063	0,62	0,5703
Replica(Tratamiento)	0,0612	6	0,0102		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	0,0738	8			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	6,73333	0,0583095	X
2	3	6,76333	0,0583095	X
3	3	6,82333	0,0583095	X

Análisis de Varianza para concentración de saturación de oxígeno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	1,18082	2	0,590411	0,75	0,5120
Replica(Tratamiento)	4,724	6	0,787333		
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	5,90482	8			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	3	85,5833	0,512293	X
1	3	86,3467	0,512293	X
3	3	86,3567	0,512293	X

K. Anexo: Análisis estadística para la variable NAT.

Análisis de Varianza para NAT

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,285098	2	0,142549	1,20	0,3643
Replica(Tratamiento)	0,712549	6	0,118758		
Tiempo(Replica Tratamiento)	3026,93	144	21,0204	177,00	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	3027,93	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
2	51	5,26275	0,0482555	X
1	51	5,27255	0,0482555	X
3	51	5,35882	0,0482555	X

L. Anexo: Análisis estadística para la variable Nitrito.

Análisis de Varianza para Nitrito

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	0,048298	2	0,024149	1,51	0,2935
Replica(Tratamiento)	0,0956902	6	0,0159484		
Tiempo(Replica Tratamiento)	27,8352	144	0,1933	12,12	0,0022
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	27,9792	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	0,341961	0,0176837	X
2	51	0,352941	0,0176837	X
3	51	0,383922	0,0176837	X

M. Anexo: Análisis estadística para la variable Nitrato.

Análisis de Varianza para Nitrato

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	17,207	2	8,6035	9,16	0,0150
Replica(Tratamiento)	5,63371	6	0,938952		
Tiempo(Replica Tratamiento)	7433,12	144	51,6189	54,98	0,0000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	7455,96	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	7,05686	0,135686	X
2	51	7,76471	0,135686	X
3	51	7,77176	0,135686	X

N. Anexo: Análisis estadística para la variable alcalinidad.

Análisis de Varianza para Alcalinidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	1557,42	2	778,712	2,34	0,1777
Replica(Tratamiento)	1999,92	6	333,32		
Tiempo(Replica Tratamiento)	87319,8	144	606,387	1,82	0,2304
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	90877,1	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	128,765	2,5565	X
3	51	134,235	2,5565	X
2	51	136,333	2,5565	X

O. Anexo: Análisis estadística para la variable Dureza.

Análisis de Varianza para Dureza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	7523,69	2	3761,84	34,10	0,0005
Replica(Tratamiento)	661,873	6	110,312		
Tiempo(Replica Tratamiento)	36345,8	144	252,401	2,29	0,1469
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	44531,3	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	93,1471	1,47071	X
2	51	104,99	1,47071	X
3	51	109,843	1,47071	X

P. Anexo: Análisis estadística para la variable Turbiedad.

Análisis de Varianza para Turbiedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Tratamiento	122,052	2	61,0261	0,00	0,9954
Replica(Tratamiento)	79687,3	6	13281,2		
Tiempo(Replica Tratamiento)	101000,	144	701,386	1,00	0,5000
Residuo	0,0	0			
Total (corregido)	180809,	152			

Prueba de Tukey. 95% de confiabilidad

<i>Tratamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Media MC</i>	<i>Sigma MC</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	51	200,157	16,1374	X
2	51	201,863	16,1374	X
3	51	202,196	16,1374	X

