

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“CULTIVO EXPERIMENTAL DE ALEVINES DE TILAPIA
(*Oreochromis niloticus*) EN SISTEMAS CON RECAMBIO DE AGUA Y
CON TECNOLOGÍA BIOFLOC”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO PESQUERO**

KATHERINE PATRICIA ZAPATA LOVERA

LIMA – PERÚ

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“CULTIVO EXPERIMENTAL DE ALEVINES DE TILAPIA
(*Oreochromis niloticus*) EN SISTEMAS CON RECAMBIO DE
AGUA Y CON TECNOLOGÍA BIOFLOC”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO PESQUERO**

Presentada por:

KATHERINE PATRICIA ZAPATA LOVERA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Anibal Verástegui Maita
PRESIDENTE

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas
PATROCINADOR

Mg.Sc. Beatriz Angeles Escobar
CO-PATROCINADOR

M.Eng. María Miglio Toledo.
MIEMBRO

Mg. Sc. Elsa Vega Galarza
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi pequeño Francisco, por ser el hombrecito que con sus interminables sonrisas alegran mis días e impulsa mi mejor versión de ser.

A mi abuelo Hugo, por enseñarme que necesitamos apostar en grande para que nuestros más grande sueños se materialicen, y a mi abuelo Máximo, por inculcar la educación desde que tengo uso de razón.

Katherine Z.L.

AGRADECIMIENTO

Con el tiempo entendí que en la vida se cuenta con una serie de retos que buscan ser cumplidos, uno de estos es el presente trabajo de investigación; el cual no se vería realizado, de no ser por la colaboración y participación de los siguientes:

A Dios, por guiarme durante todo este camino y brindarme las herramientas necesarias para que este reto se vea realizado.

A mi familia, por no perder la esperanza de ver concretado un objetivo más en mi vida profesional y siempre brindarme el apoyo para salir adelante ante situaciones adversas.

Al PROCYT-CONCYTEC, por el financiamiento del proyecto titulado “Nuevas alternativas de producción de alevines machos de tilapia (*Oreochromis niloticus*): tratamientos no hormonales y uso de tecnología de bioflocs”.

A mi asesora, maestra, formadora y amiga Mg.Sc. Jessie Vargas, por la paciencia, confianza en mí y apoyo constante durante todo este tiempo.

A mi maestra y amiga Ing. Elsa Vega Galarza, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios en el descubrimiento de mi pasión por la acuicultura.

A los miembros de jurado, por la dedicación de tiempo y aporte de conocimientos en mi desarrollo profesional y en la realización de la presente investigación.

A Wilfer, Jairo y Raquel, por el apoyo incondicional durante el desarrollo de la etapa experimental.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	Aspectos generales de la tilapia.....	3
2.1.1	Producción de la tilapia a nivel mundial y nacional.....	3
2.1.2	Etapas de alevinaje de la tilapia	5
2.1.3	Cultivo de alevines de tilapia	6
2.1.4	Indicadores de manejo productivo	8
2.1.5	Parámetros físicos y químicos de la calidad de agua requeridos	9
2.2	Tecnología biofloc (SBF).....	9
2.2.1	Parámetros físicos y químicos del SBF.....	10
2.2.2	Cultivo de la tilapia en tecnología biofloc.....	12
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1	Lugar y período de ejecución	13
3.2	Etapas	13
3.2.1	Etapas pre-experimental.....	13
3.2.1.1	Obtención de alevines	13
3.2.1.2	Manejo del biorreactor para la formación del biofloc.....	14
3.2.1.3	Acondicionamiento de las unidades experimentales.....	16
3.2.1.4	Preparación del alimento	17
3.2.2	Etapas experimentales.....	17
3.2.2.1	Fase I: Inversión sexual.....	17
3.2.2.2	Fase II: Precria	18
3.2.2.3	Manejo de los peces	18
3.2.2.4	Renovación de agua	18
3.2.2.5	Relación C:N del sistema biofloc.....	19
3.2.2.6	Medición de los parámetros productivos	19
3.2.2.7	Medición de los parámetros de calidad de agua.....	20
3.3	Diseño y análisis estadístico.....	21

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1.	Parámetros físicos y químicos de la calidad del agua en sistemas con recambios de agua y sin tecnología biofloc (control), y sin recambio de agua y con tecnología biofloc (SBF).....	22
4.1.1	Temperatura.....	22
4.1.2	Oxígeno disuelto	25
4.1.3	pH.....	26
4.1.4	Alcalinidad total	28
4.1.5	Sólidos sedimentables y turbidez	30
4.1.6	Compuestos nitrogenados disueltos	33
4.1.7	Ortofosfatos.....	39
4.2.	Comparación del comportamiento productivo de alevines de tilapia durante la fase de inversión sexual, en sistemas con recambio de agua (Control) y con tecnología biofloc (SBF).....	41
4.2.1.	Crecimiento y supervivencia.....	42
4.2.2.	Tasas de conversión alimenticia (TCA).....	46
4.2.3.	Análisis de la influencia del sistema con cero recambio de agua y con tecnología biofloc en la fase de inversión sexual de los alevines de <i>Oreochromis niloticus</i>	48
4.3.	Comparación del comportamiento productivo de alevines de tilapia durante la fase de precria, en sistemas con recambio de agua (Control) y con tecnología biofloc (SBF).....	51
4.3.1.	Crecimiento y supervivencia.....	52
4.3.2.	Tasa de conversión alimenticia	57
4.3.3.	Análisis de la influencia del sistema con cero recambio de agua y con tecnología biofloc en la fase de precria de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i>	58
V.	CONCLUSIONES	60
VI.	RECOMENDACIONES.....	61
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
VIII.	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de los centros de producción de alevines de tilapia.....	5
Tabla 2: Parámetros productivos durante la etapa de alevinaje de tilapia.....	8
Tabla 3: Parámetros de la calidad del agua para los alevines de tilapia.....	9
Tabla 4: Parámetros de calidad del agua de la tecnología biofloc.....	12
Tabla 5: Parámetros de la calidad del agua del biorreactor de biofloc.....	15
Tabla 6: Equipos y metodología para el control de la calidad de agua	20
Tabla 7: Promedio y desviación estándar de la calidad del agua en sistemas con recambios de agua y tecnología biofloc en el cultivo de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i>	23
Tabla 8: Concentración promedio semanal (mg.l^{-1}) de NAT y amoníaco.....	34
Tabla 9: Parámetros productivos de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.....	41
Tabla 10: Resumen estadístico del peso promedio de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , en la fase de inversión sexual.	42
Tabla 11: Parámetros productivos de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.....	51
Tabla 12: Resumen estadístico del peso promedio semanal de los alevines de <i>Oreochromis</i> <i>niloticus</i> , durante la fase de precría.....	52
Tabla 13: Resumen estadístico del peso promedio de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción nacional de tilapia hasta el año 2018	4
Figura 2: Producción de alevines de tilapia.....	7
Figura 3: Tanque biorreactor para la formación del biofloc.....	14
Figura 4: Distribución aleatoria de las unidades experimentales	16
Figura 5: Promedio y desviación estándar de la temperatura del agua (°C).....	22
Figura 6: Promedio y desviación estándar de las concentraciones de oxígeno disuelto (mg.l ⁻¹).....	25
Figura 7: Promedio y desviación estándar del pH del agua de cada tratamiento	27
Figura 8: Promedio y desviación estándar de la alcalinidad total (mg CaCO ₃ .l ⁻¹).....	29
Figura 9: Valores de sólidos sedimentables (SS) y turbidez (T) del tratamiento SBF.....	30
Figura 10: Coloración del tratamiento SBF (izquierda) y el tratamiento control (derecha)....	32
Figura 11: Promedio y desviación estándar semanal del NAT (mg.l ⁻¹) de ambos tratamientos	33
Figura 12: Promedio y desviación estándar semanal del (a) nitrato y (b) nitrito (mg.l ⁻¹) ...	37
Figura 13: Promedio y desviación estándar semanal del fosfato (mg.l ⁻¹)	39
Figura 14: Curva de crecimiento de alevines <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.....	42
Figura 15: Supervivencia de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.	43
Figura 16: Tasas de crecimiento de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.....	44
Figura 17: Relación del peso promedio (g) y la densidad de carga (Kg.m ⁻³) de los alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.....	45
Figura 18: Porcentaje de la longitud de los alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual (der.: SBF, izq.: control)	46
Figura 19: Tasa de conversión alimenticia del cultivo de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de inversión sexual.	47
Figura 20: Relación entre el peso promedio de los alevines de tilapia y la concentración de nitrógeno amoniacal total en el tratamiento SBF	49

Figura 21: Curva de crecimiento de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.....	52
Figura 22: Alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> del tratamiento control (izquierda) y del tratamiento SBF (derecha) al finalizar la fase de precría.....	54
Figura 23: Supervivencia de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.	54
Figura 24: Tasas de crecimiento de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.....	55
Figura 25: Relación entre el peso promedio (g) y la carga (Kg.m^{-3}) de los alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.....	56
Figura 26: Tasa de conversión alimenticia del cultivo de alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> , durante la fase de precría.	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Concentraciones de Bicarbonato de sodio (g) a adicionar para corregir la alcalinidad, al inicio de cada fase experimental.....	73
Anexo 2: Porcentaje de amonio no ionizado en agua dulce a diferentes valores de pH y los valores promedios de N-NH ₃ , N-NH ₄ ⁺ y NAT en mg.l ⁻¹ , de la experimentación.	74
Anexo 3: Parámetros productivos de crecimiento de la Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) durante la fase de Inversión Sexual.....	75
Anexo 4: Parámetros productivos de crecimiento de la Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) durante la fase de Precría.	75
Anexo 5: Contenido proteico del floc del tratamiento SBF en la fase de inversión sexual y precría.....	76
Anexo 6: Fotografía de heces con presencia de consumo de alimento balanceado y floc..	76
Anexo 7: Análisis estadístico de los parámetros productivos de la experimentación.	76

RESUMEN

La investigación evaluó el cultivo experimental de tilapia *Oreochromis niloticus* en dos sistemas: (i) cero recambio de agua y tecnología biofloc (SBF), y (ii) recambio de agua al 20% (Control), durante la fase I de inversión sexual (400 alevines por tanque con pesos promedios de 0.012 ± 0.001 g) y la fase II de precría (100 alevines por tanque con pesos promedios de 0.128 ± 0.001 g), en 28 y 35 días respectivamente. Se empleó un diseño completamente al azar con dos tratamientos (Control y SBF), cada uno con cuatro repeticiones distribuidos en ocho tanques de 0.03 m^3 . Se administró una dieta comercial de 46.5% de proteína a tasas alimenticias del 30% (fase I) y 15% (fase II), asimismo, se adicionó melaza (carbono orgánico) y bicarbonato de sodio (carbonatos) al inicio de cada fase. Semanalmente se monitorearon los parámetros productivos de los peces y parámetros de la calidad del agua. En la fase I, los alevines de tilapia cultivados en el tratamiento SBF obtuvieron los mejores valores productivos (supervivencia: 67.25%, biomasa: 34.540 g, T.C.: 0.004 g.día^{-1} , T.C.E.: $8.501\%.\text{día}^{-1}$, menor tasa de conversión alimenticia: 3.082), debido a la producción de sólidos sedimentables (hasta 24 ml.l^{-1}), que a través de los compuestos bioactivos propios del biofloc, confirió resistencia a los peces ante las variaciones de la alcalinidad total y compuestos nitrogenados tóxicos. Por el contrario, en la fase II, los alevines de tilapia cultivados en el tratamiento control obtuvieron mejores valores productivos (supervivencia: 94.67%, biomasa: 442.700 g, T.C: 0.130 g.día^{-1} , T.C.E: $10.203\%.\text{día}^{-1}$), por efecto de los recambios diarios de agua que disminuyeron las concentraciones de compuestos nitrogenados tóxicos, lo cual favoreció en el crecimiento de los peces. Durante ambas fases, el tratamiento SBF mantuvo una relación C:N baja (6.72), ocasionando que las bacterias heterótrofas no asimilen adecuadamente el NAT, lo cual se evidencia con la decreciente producción del *floc*.

Palabras claves: *Oreochromis niloticus*, tecnología biofloc (SBF), parámetros productivos, calidad del agua, inversión sexual, precría.

ABSTRACT

This study evaluated the experimental rearing of *Oreochromis niloticus* fingerling into two systems: (i) without water exchange and biofloc technology (SBF), and (ii) with 20% water exchange (control), during the sexual inversion (400 fish per tank average weight: 0.012 ± 0.001 g) and precría phase (100 fish per tank average weight: 0.128 ± 0.001 g), in 28 and 35 days respectively. For this, a completely randomized design was used with two treatments (Control and SBF) of four replicates each one, distributed in eight tanks of 0.03 m^3 . It was fed a commercial diet of 46.5% protein at food rates of 30% (phase I) and 15% (phase II), likewise, molasses (organic carbon) and sodium bicarbonate (carbonates) were added at the beginning of each phase. Weekly, were monitored the productive parameters of the fish, as well as parameters of the water quality. In phase I, the tilapia fry reared in the SBF treatment obtained the best productive values (survival: 67.25%, biomass: 34.540 g, T.C.: $0.004 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$, T.C.E.: $8.501 \text{ \%}\cdot\text{day}^{-1}$, lower feed conversion rate: 3.082) due to the production of sedimentable solids (up to $24 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$), which, through the bioactive compounds of the biofloc, conferred resistance to fish against variations of total alkalinity and toxic nitrogen compounds. On the contrary, in phase II, tilapia fry reared in the control treatment obtained better productive values (survival: 94.67%, biomass: 442.700 g, T.C.: $0.130 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1}$, T.C.E.: $10.203 \text{ \%}\cdot\text{day}^{-1}$), as a result of daily water changes that decreased concentrations of toxic nitrogen compounds, which favored the growth of fish. During both phases, the SBF treatment maintained a low C:N ratio (6.72), causing the heterotrophic bacteria not to properly assimilate the TAN, which is evidenced by the decreasing production of the *floc*.

Key words: *Oreochromis niloticus*, biofloc technology (SBF), productive parameters, water quality, sexual inversion, precría.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad sostenible que contribuye a la seguridad alimentaria y nutrición, con el abastecimiento del 44.14 por ciento del consumo de recursos hidrobiológicos a nivel mundial (FAO, 2016). Dentro de este rubro, el cultivo de la tilapia es considerado uno de los más representativos, ya que es una buena fuente proteica de bajo costo y de alta calidad alimentaria en países vías de desarrollo (Dinesh et al., 2017).

La acuicultura de la tilapia en el Perú, representada principalmente por la especie *Oreochromis niloticus*, se ha visto beneficiada por su adaptabilidad en regiones propicias para su cultivo, su rápido período de crecimiento y al desarrollo de nuevas tecnologías de bajos costos de producción y/o amigables al medio ambiente; es por ello que se ubica en el cuarto puesto de las especies acuícola más producidas durante el 2018, con un volumen de producción de 3,074 toneladas, el cual se centró en los departamento de Piura, San Martín y Lima (PRODUCE, 2019).

El desarrollo de la acuicultura de esta especie se centra en la producción formal de alevines provenientes de 16 centros acuícolas (San Martín: 8, Lima: 3, Piura: 2, Cajamarca: 3) los cuales realizan la obtención de semilla por reproducción natural y/o asistida (colecta manual) en sistemas extensivos, desarrollados en estanques de tierra, semiextensivos, desarrollados en hapas, e intensivos, desarrollados en tanques revestidos de geomembrana con sistema de recirculación de agua (Hanley, 1991). Sin embargo, el inadecuado manejo productivo y los residuos generados de esta actividad, tales como las heces y el alimento altamente proteico no consumido, conllevan a las altas tasas de mortalidad durante esta etapa, y al deterioro ambiental de nuestros recursos hídricos y de los espacios geográficos destinados para esta actividad.

Esta problemática descrita, apunta hacia el desarrollo de los sistemas superintensivos, tal como, el sistema con cero recambio de agua llamado sistema o tecnología biofloc (SBF), el cual busca un equilibrio de la calidad del agua, a través de la asimilación del nitrógeno generado “*in situ*” por los microorganismos heterotróficos, reducir la tasa de conversión alimenticia y aumentar las densidades de cultivo (Emerenciano et al., 2011).

Además, considerando que esta tecnología ha brindado beneficios en la mejora productiva, tales como el mejoramiento de las tasas de conversión alimenticia, minimización del uso de harina de pescado en la alimentación y mayor aprovechamiento de los nutrientes, durante la producción de juveniles y adultos de tilapia (Avnimelech, 2007, Azim & Little, 2008, Crab et al., 2009, Widanarni et al., 2012, Hargreaves, 2013, López et al., 2015); resultando atractivo, conocer las ventajas que podría brindar el sistema biofloc en la producción de alevines de tilapia en el Perú, la cual comprende dos fases de cultivo, las cuales son: la inversión sexual y la precría.

En ese sentido, la presente investigación tiene por objetivo principal, la evaluación del cultivo experimental de alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* empleando dos sistemas estáticos: uno con recambio de agua diario (20 por ciento) y otro con tecnología biofloc (cero recambio de agua), ello implicará (i) evaluar la influencia de los parámetros físicos y químicos de la calidad del agua sobre el comportamiento productivo de los alevines de tilapia cultivados bajo los dos sistemas, durante las fases de inversión sexual y precría, y (ii) comparar el comportamiento productivo de alevines de tilapia durante la fase de precría y la fase de inversión sexual, en sistemas con recambio de agua y con tecnología biofloc.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales de la tilapia.

2.1.1 Producción de la tilapia a nivel mundial y nacional.

Los inicios de la producción de la tilapia datan de los años cincuenta, donde tuvo gran importancia debido a su aporte proteico durante la segunda guerra mundial (Nogueira, 2003), seguido de varias investigaciones realizadas en el Congo, en temáticas relacionadas a su alto índice reproductivo, su alta tolerancia a una inadecuada calidad del agua, su amplia variedad de alimentos para consumir y su fácil comercialización (Beltrán - Álvarez et al., 2009, citados Gómez et al., 2011, Fávero et al., 2010). Años más tarde, más de cien países la han introducido en su acuicultura, con la finalidad de incrementar sus volúmenes de producción para asegurar la sostenibilidad y rentabilidad de la acuicultura (Atwood 2003 citado en Ruiz et al., 2006, Baltazar, 2007).

Hoy en día, la tilapia es el cuarto pez más cultivado a nivel mundial, siendo antecedido por las carpas y salmones (El-Sayed, 2006), destacándose principalmente la especie *Oreochromis niloticus* que representa alrededor del 70 por ciento de la tilapia cultivada (Nogueira, 2003) debido a su amplia resistencia frente a diversos factores medioambientales, su conocido paquete tecnológico, su rápido crecimiento y su alta producción de alevines a lo largo del año (Luchini, 2006, Costa & Fróes, 2012). Esto ha permitido alcanzar una producción mundial de 6.4 millones de toneladas provenientes de países como China, Indonesia, Egipto, Bangladesh, Vietnam, Filipinas, Brasil, Tailandia, Colombia y Uganda, durante el 2016 (FAO, 2016).

En el Perú, se inició la producción de tilapia durante los años sesenta, pero no se obtuvieron buenos resultados (Moscoso, 2001). Años más tarde, a fines de los años ochenta, se evaluó

la posibilidad de introducir el cultivo de la tilapia en departamentos que contaban con reservorios y/o embalses, lo cual permitió el desarrollo de esta actividad en la zona costera del norte peruano (Nogueira, 2003, Baltazar, 2010).

De acuerdo con lo indicado por el Ministerio de Producción, la producción de tilapia en el 2018 representó el 2.75 por ciento de la producción acuícola nacional con un volumen de 3,074 toneladas, lo que le ha permitido situarse como la cuarta especie acuícola más producida a nivel nacional (figura 1), la cual se viene desarrollando principalmente en los departamentos de Piura, San Martín, Lima, Lambayeque y Cajamarca.

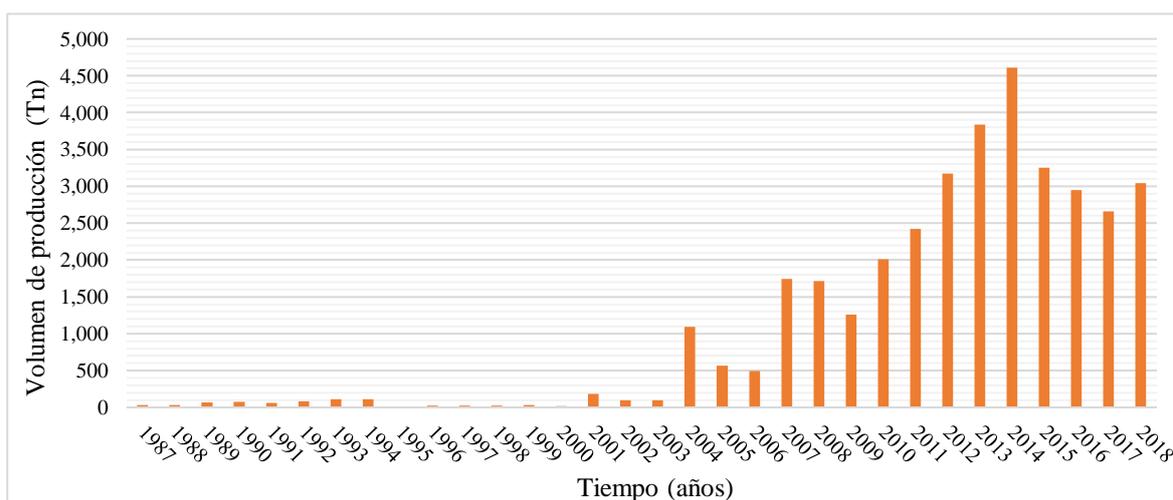


Figura 1: Producción nacional de tilapia hasta el año 2018

Fuente: PRODUCE (2019)

El crecimiento de la producción acuícola de esta especie se debe a diversos mecanismos y/o factores como la presencia del fenómeno del Niño, por efecto de las altas temperaturas en el recurso hídrico. De igual modo, el impulso del Plan de Desarrollo Acuícola ha potencializado esta actividad mediante el uso de nuevas tecnologías, estrategias de marketing y el cuidado del medio ambiente (PRODUCE, 2013), y por último la aprobación y el desarrollo de los Planes de Manejo de la tilapia en ambientes artificiales en los departamentos de San Martín, Cajamarca, Huánuco, Junín y Amazonas (PRODUCE, 2019).

Cabe mencionar que, en esta actividad, los semilleros de tilapia juegan un papel fundamental, ya que son los encargados y responsables de abastecer el material biológico a nivel nacional. En Perú, existe un total de quince (15) centros de producción de alevines de

tilapia formales situados en los departamentos de San Martín, Piura, Cajamarca y Lima (Catastro acuícola, 2019). De estos, sólo siete (07) cuentan con la respectiva habilitación sanitaria, pese que es una obligación establecida en el Reglamento de la Ley General de Acuicultura del Perú, para este tipo de infraestructura.

Tabla 1. Centros de producción de alevines de tilapia

Departamento	Ubicación	Formal	Habilitado
Piura	Lancones	01	01
Piura	Castilla	01	00
San Martín	Rioja	01	01
San Martín	Moyobamba	02	01
San Martín	Morales	01	01
San Martín	Banda de Shilcayo	03	02
San Martín	Uchiza	01	00
Lima y provincias	Vegueta	01	01
Lima y provincias	Huacho	01	00
Lima y provincias	Lima	01	00
Cajamarca	San Ignacio	01	00
Cajamarca	Jaén	01	00
Total		15	07

Fuente: PRODUCE (2019)

Estos productores de alevines distribuyen a nivel nacional, en (12) doce departamentos productores de tilapia, los cuales son Piura, Lambayeque, Ancash, Lima, Ica, Tacna, Cajamarca, San Martín, Junín, Amazonas, Ucayali y Huánuco, en donde se concentran un total de 793 establecimientos acuícolas formales, acorde lo referido en el Catastro acuícola del Ministerio de la Producción (2019).

2.1.2 Etapa de alevinaje de la tilapia.

Según Cantor (2007), la etapa de alevinaje de la tilapia se inicia con la absorción del saco vitelino y la aceptación del alimento balanceado, la cual abarca tallas que van de 0.5 a 1 cm (aproximadamente 0.01 g) hasta los 5 cm de longitud (aproximadamente 5 g), durante dos meses de cultivo. Esta etapa abarca la realización de dos fases, las cuales buscan (i) atribuir

características masculinas a los alevines a través del uso de hormonas, llamado fase de inversión sexual, y (ii) obtener mejores tasas de crecimiento bajo una buena adaptación a las condiciones ambientales, resistencia a enfermedades y disminución de la variabilidad de tamaño, llamado fase de precría (El-Sayed, 2006).

La primera fase, llamada inversión sexual, se ha venido promoviendo durante las tres últimas décadas a través del desarrollo del cultivo monosexo, método más común y exitoso utilizado para producir tilapia masculina, el cual se centra en la administración oral de la hormona 17α -metiltestosterona (Beardmore et al., 2001 citado en El-Sayed et al., 2012). Dicha hormona se incorpora generalmente en la alimentación larvaria en cantidades de 30 a 60 mg de hormona por cada kilogramo de pienso, siendo suministrado a los alevines durante los primeros 28 días y/o alcanzar tamaños mayores a 14 mm (Castro et al., 2004, Popma & Green, 1990).

La segunda fase, conocida como precría, comprende la crianza de alevines invertidos con pesos que van desde 1 g hasta los 5 g a densidades relativamente bajas, las cuales van desde 100 a 150 peces por m^2 , con un porcentaje de recambio de agua diario entre el 20 al 40 por ciento y con aireación constante (Díaz et al., 2014, NICOVITA, 2007).

2.1.3 Cultivo de alevines de tilapia.

La etapa de alevinaje es primordial en el cultivo de tilapia, ya que requiere de una fuente de proteína alta para cubrir las necesidades alimenticias y nutricionales del pez, así como una adecuada calidad de agua para su viable desarrollo y evitar situaciones de estrés que desencadenan altas mortalidades (Kubitza, 1999).

El cultivo de alevines de tilapia se ha desarrollado en diversos sistemas de cultivos, yendo desde lo más artesanal hasta lo más tecnificado, dado a los principales problemas que se originan durante esta etapa inicial, tales como el manejo durante la eclosión, manejo productivo y de la calidad del agua, aspectos alimenticios, ausencia de controles preventivos y la presencia de patógenos que ocasionan enfermedades (FAO, 2015). Es por esta razón, que durante los últimos años se viene apostando por la tecnificación de la actividad.

La obtención de alevines se realiza de dos maneras (figura 2), (i) una que involucra la incubación, eclosión y absorción del saco vitelino de los alevines (llamada reproducción natural) y (ii) otra que involucra solo la incubación (llamada reproducción asistida).

En la primera se colecta los alevines después de 10 a 15 días de iniciada la incubación bucal, los alevines ya absorbieron el saco vitelino y están listos para la inversión sexual; mientras que, del otro modo se colecta a los 5 días de la incubación bucal, luego de ello, los huevos son llevados a salas de eclosión o también llamada en ingles *hatchery*, para realizar la eclosión y absorción del saco vitelino (FAO, 2009).

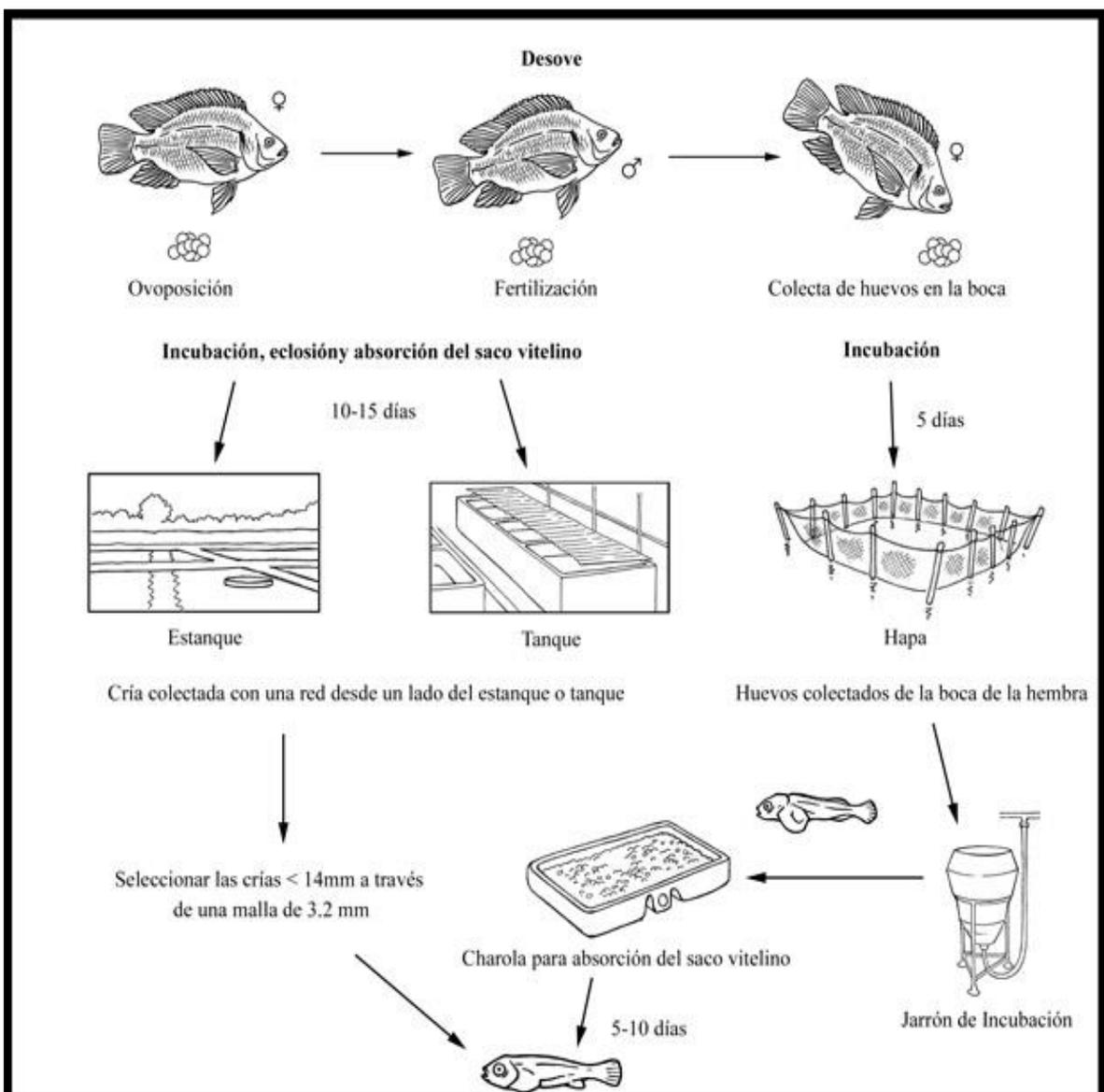


Figura 2: Producción de alevines de tilapia

Fuente: FAO (2009)

Posterior a ello, los alevines de tilapia son trasladados a estanques o hapas para realizar la inversión sexual y la precría en sistemas de cultivo semi-intensivo o intensivo (Castro et al., 2004). En el cultivo semi-intensivo se siembra alevines en hapas o jaulas flotantes en ambientes naturales de flujo abierto, tales como lagunas, lagos y ríos, a bajas densidades (1 a 3 peces/m²), alimentados con una dieta balanceada altamente proteica con rangos que van del 28 al 35 por ciento de proteína bruta (FAO, 2009, Ekasari et al., 2010).

En cambio, el cultivo intensivo busca solucionar los principales problemas medioambientales que surgen a causa de las masivas producciones acuícolas por efecto de las altas producciones de residuos orgánicos y nutrientes en los efluentes, generados por peces muertos, heces, la orina y el alimento no consumido. Dentro de este grupo se centran los sistemas de recirculación de agua (por sus siglas en inglés RAS), los cuales trabajan a densidades de siembra de 10 a 15 peces/m²) y alimentan con dietas balanceadas que van del 40 al 50 por ciento de proteína (Hanley, 1991).

2.1.4 Indicadores de manejo productivo.

Actualmente se cuenta con varias investigaciones de los parámetros productivos de la tilapia durante la etapa de alevinaje, debido a que estos valores influyen directamente en el costo-beneficio de esta actividad (Ogello et al., 2014). Los parámetros productivos que principalmente se reportan son: tasa de crecimiento absoluto (TC), tasa de crecimiento específico (TCE), tasa de conversión alimenticia (TCA) y supervivencia (S); de los cuales, los dos primeros expresan la ganancia de peso diario y la velocidad de crecimiento del pez, respectivamente (Jones, 2002). De acuerdo ello, se detalla lo siguiente en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros productivos durante la etapa de alevinaje de tilapia.

Parámetro	Fuente		
	Espejo (2012)	Labib & Ha (2012)	Abdel-Tawwab et al. (2010)
TC (g.día ⁻¹)	0.25	0.42	0.14
TCE (%.día ⁻¹)	1.76	4.47	3.90
TCA	1.14	1.31	1.12
S (%)	75	83	79
Peso (g)	2.0 a 11	1.7 a 13	1.5 a 18

2.1.5 Parámetros físicos y químicos de la calidad de agua requeridos.

La calidad del agua en acuicultura resulta ser un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de los peces, este se describe a través de la dinámica de los parámetros físicos y químicos del agua (FONDEPES, 2004). La tilapia, no es ajeno a ello, y presenta ciertas ventajas por ser una de las pocas especies que se adapta fácilmente a diferentes condiciones de calidad de agua con amplias variaciones de temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, entre otros parámetros, permitiendo de este modo el adecuado y adaptable desarrollo de la acuicultura de esta especie (Kubitza, 1998). En la tabla 3, se detalla las condiciones favorables de los parámetros físicos y químicos de la calidad del agua requeridos para el cultivo de la tilapia durante la etapa de alevinaje.

Tabla 3. Parámetros de la calidad del agua para los alevines de tilapia.

Parámetro	Unidad	Valor		Fuente
		Mínimo	Máximo	
Temperatura	°C	27.0	32.0	Martínez (2006)
Oxígeno disuelto	mg.l ⁻¹	5.0	8.0	
pH	-	6.5	9.0	Flores (2013)
Alcalinidad Total	mg.l ⁻¹	50.0	150.0	Dos Santos et al. (2009)
Nitrógeno Amoniacal Total	mg.l ⁻¹	<0.1	-	
N-Nitritos	mg.l ⁻¹	<0.1	-	Luchini (2006)
N-Nitratos	mg.l ⁻¹	1.5	2.0	Martínez (2006)
Fosfatos	mg.l ⁻¹	0.15	0.2	

2.2 Tecnología biofloc (SBF).

La tecnología biofloc o también conocida como sistema biofloc (por sus siglas en inglés SBF), se desarrolló en 1970 en el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar con el cultivo de camarones. Posteriormente, a fines de los años ochenta e inicios de los noventa, Israel, Malasia, México y EE. UU. investigaron sobre el uso del SBF en el cultivo de tilapia *Oreochromis sp.* y langostino *Litopenaeus vannamei* (Avnimelech et al., 1986).

Esta tecnología se basa en la retención de residuos que permiten la formación de los flóculos, como alimento natural dentro del sistema, requiriéndose aireación y agitación constante en

la columna de agua y adición de fuente de carbono (sustrato de materia orgánica) para la descomposición aeróbica, manteniendo altos niveles de flóculos en suspensión microbiana (Avnimelech et al., 1986, Hargreaves, 2006); de modo que permita ser un medio práctico y de alto costo, para minimizar la concentración de nitrógeno inorgánico presente en este tipo de sistemas.

La composición de la tecnología biofloc se basa en la materia orgánica particulada y otros organismos como fitoplancton, bacterias libres y unidas que acompañan a la materia orgánica particulada, y herbívoros como los rotíferos, protozoos y copépodos; convirtiéndose en una buena fuente alimenticia disponible para el desarrollo del cultivo de peces y crustáceos (Avnimelech et al., 2008).

2.2.1 Parámetros físicos y químicos del SBF.

El desarrollo de la tecnología biofloc en acuicultura se ve directamente influenciado por el equilibrio de los parámetros físicos y químicos del agua de cultivo. De los parámetros más delimitantes, resalta los compuestos nitrogenados inorgánicos tóxicos (amoníaco NH_3 y nitrito NO_2^-), dado que son asimilados por bacterias a través del uso de fuente de reservas alcalinas y carbono orgánico (Boyd, 1998). La tecnología biofloc busca estabilizar los parámetros físicos y químicos del sistema, evitando amplias oscilaciones de pH y alcalinidad, altas concentraciones de compuestos nitrogenados disueltos tóxicos, tal como lo describe Azim et al. (2008).

La temperatura en este tipo de tecnología juega un papel determinante en el metabolismo microbiano, en la concentración de oxígeno disuelto en el agua y en el ciclo de nitrógeno del agua (Boyd, 1998). De acuerdo con lo descrito por Crab et al. (2009), se logró cultivar tilapia en SBF en invernaderos, a temperaturas que van de 14 °C hasta 20 °C en invierno; lográndose minimizar las concentraciones de nitrógeno tóxico disuelto debido a la influencia de la baja temperatura ambiental.

El oxígeno disuelto en la tecnología biofloc, busca suplir lo siguiente: (i) requerimiento de respiración de la especie, (ii) la demanda de oxígeno requerida para la actividad microbiana,

(iii) mantener en suspensión constante los flóculos para evitar la sedimentación y acumulo de sólido, que pueden desencadenar reacciones anaeróbicas (Avnimelech, 1999, Hargreaves, 2013, Ray et al., 2010).

El pH a diferencia de los otros dos parámetros descritos es el más importante a considerar y el más difícil de controlar (De Schryver et al., 2008), debido a su relación directa con los procesos bacterianos y en el desarrollo de los peces; es por ello por lo que, a través de la adición de una fuente de carbono inorgánico, como el bicarbonato, permite equilibrarlo a través de la estabilización de la alcalinidad (sistema buffer).

Con relación a la alcalinidad en el SBF, se relaciona directamente con el pH, a razón del efecto buffer que se ve afectado por los procesos biológicos y el crecimiento de bacterias heterótrofas (Collazos & Arias, 2015). La estabilidad de este parámetro se controla mediante la adición de fuentes carbonatadas, los cuales son requeridas durante la asimilación del nitrógeno amoniacal total, ante la adición de una fuente de carbono orgánico, y en la producción de sólidos (Ebeling et al., 2006, Zapata, 2016).

Asimismo, los sistemas biofloc se caracterizan por el aprovechamiento del nitrógeno para la formación de proteína microbiana (Burford et al., 2003), manteniendo en lo posible, concentraciones mínimas de nitrógeno amoniacal total (NAT) y nitrito (NO_2^-) (Avnimelech & Ritvo, 2003).

Por último, los sólidos en la tecnología biofloc representan la producción de proteína microbiana presente en este tipo de sistema; en específico, los sólidos sedimentables (SS) son los más vulnerables es por ello que se realiza el manejo de drenaje de estos, a fin de mitigar el efecto de los compuestos tóxicos generados y el desarrollo de los procesos anaeróbicos (De Schryver et al., 2008). En la tabla 4, se detalla algunos reportes de condiciones favorables de los parámetros físicos y químicos de la calidad del agua del cultivo de tilapias en sistemas biofloc.

Tabla 4 Parámetros de calidad del agua de la tecnología biofloc.

Parámetro	Unidad	Valores		Fuente
		Mínimo	Máximo	
Temperatura	°C	20.0	27.0	De Schryver et al. (2008)
Oxígeno disuelto	mg.l ⁻¹	6.0	-	Azim & Little (2008)
pH	-	6.5	-	Burford et al. (2003)
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ .l ⁻¹	50	100	Collazos & Arias (2015)
Nitrógeno amoniacal total	mg.l ⁻¹	-	1.0	Hari et al. (2006)
N-Nitritos	mg.l ⁻¹	-	0.5	Avnimelech et al. (2011)
N-Nitratos	mg.l ⁻¹	-	2.0	Hari et al. (2006)
Fosfatos	mg.l ⁻¹	-	40	Shnel et al. (2002)
Sólidos sedimentables	ml.l ⁻¹	-	60 – 70	Shnel et al. (2002)
		30	200	Avnimelech & Kochba (2009)

2.2.2 Cultivo de la tilapia en tecnología biofloc.

La tecnología biofloc hoy en día, se ha desarrollado en diferentes cultivos, yendo desde especies marinas hasta especies tropicales, tales como el langostino y la tilapia; ofreciéndoles una mayor disponibilidad de los nutrientes, mejoras en los índices productivos y en desarrollar una adecuada calidad de agua para el cultivo (Nahar et al., 2015). Este sistema les confiere numerosos beneficios que ya fueron descritos anteriormente.

Con respecto a la fase de alevinaje de la tilapia en cultivos biofloc, son muy pocos los estudios realizados, siendo esta investigación una de las primeras, la cual busca vincular el comportamiento productivo de los alevines durante las fases de inversión sexual y precría en tecnología biofloc.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar y período de ejecución.

La etapa experimental de la presente investigación se realizó del 04 de noviembre del 2013 al 15 de enero del 2014, con una duración experimental efectiva de 63 días. Ambas etapas de investigación tuvieron lugar en el invernadero del Centro de Investigación Piscícola (CINPIS) perteneciente a la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), situada en el distrito de La Molina - Perú.

3.2 Etapas.

La presente investigación comprendió dos etapas: la pre-experimental y la experimental.

3.2.1 Etapa pre-experimental.

3.2.1.1 Obtención de alevines

Los alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* fueron colectados manualmente de la cavidad bucal de hembras reproductoras de tilapia, para ser trasladado a una pecera con abundante aireación (más de 8 mg.l⁻¹) con la finalidad de eclosionar y absorber el saco vitelino, durante 7 días. Luego de ello, se obtuvieron tres mil doscientos alevines de tilapia los cuales fueron colocados en recipientes con agua para la aclimatación y posterior manejo en las unidades experimentales de la investigación, de acuerdo con el protocolo establecido por Popma & Green (1990).

3.2.1.2 Manejo del biorreactor para la formación del biofloc

En un tanque circular de fibra de vidrio de 1600 litros de volumen, se acondicionó un biorreactor de biofloc para realizar la estabilización antes de ser transferido a las unidades experimentales (figura 3).



Figura 3: Tanque biorreactor para la formación del biofloc

Esta actividad consistió en formar y/o equilibrar los parámetros físicos y químicos del sistema biofloc en un tanque biorreactor, a través del suministro de alimento balanceado, residuos del cultivo de peces (alimento no consumido, heces y orina) y la adición de carbono orgánico (melaza) e inorgánico (bicarbonato de sodio), durante un mes previo al inicio del experimento. En el tanque biorreactor se cultivó juveniles de tilapias a una carga de 2 kg/m^3 , las mismas que fueron alimentadas con una dieta comercial de la marca *Aquatech* con contenido proteico del 40 por ciento, a una tasa alimenticia del 4.5 por ciento, tres veces al día durante toda la pre-experimentación.

Durante la pre-experimentación, se dio la estabilización del biofloc, el cual comprendió el manejo semanal del contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) del sistema, para lo cual se estableció mantener a una relación C:N de 10:1, esta fue determinada a partir de la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) del biofloc para posteriormente proceder

con el cálculo de la cantidad de carbono orgánico (melaza con 53 por ciento de carbono orgánico) a agregar al biorreactor, de acuerdo con lo realizado en la investigación de Mejía (2014).

Con respecto al manejo de la alcalinidad total del biorreactor de biofloc, se estableció trabajar con concentraciones por encima de 100 mg CaCO₃.l⁻¹ (Collazos & Arias, 2015), para ello semanalmente, se adicionó una fuente de carbono inorgánico (bicarbonato de sodio) con la finalidad de brindar la diferencia de carbonatos al biorreactor, desde la cuantificación de la alcalinidad semanal del biofloc y el volumen del biorreactor, de acuerdo con lo establecido por Loyless & Malone (1997) (Anexo 1).

La concentración de oxígeno disuelto del biorreactor se mantuvo por encima de los 5 mg.l⁻¹ (Martínez, 2006), para ello se adaptó un sistema de aireación constituido por un *Blower* marca *Sweetwater* de 1/3 HP y un sistema de tuberías de PVC de ½” de diámetro que unían a cuatro manguerillas de silicona de 1 cm de diámetro con sus respectivas piedras difusoras de cerámica, las cuales se colocaron equidistantemente en el fondo del tanque; con respecto a la temperatura, se instalaron tres calentadores marca *SOBO* de 300 *Watts* para mantener la temperatura del biofloc entre 24 y 28 °C (Widanarni et al., 2012).

En la tabla 5, se observa los valores de los parámetros de la calidad del agua del biorreactor de biofloc, previo al inicio de la etapa experimental.

Tabla 5. Parámetros de la calidad del agua del biorreactor de biofloc.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	24.40
Oxígeno disuelto	mg.l ⁻¹	8.45
pH	-	8.12
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ .l ⁻¹	104.00
N-Nitritos	mg.l ⁻¹	0.40
Nitrógeno amoniacal total (NAT)	mg.l ⁻¹	4.00
Sólidos sedimentables	ml.l ⁻¹	9.00

3.2.1.3 Acondicionamiento de las unidades experimentales

La distribución de los tratamientos en las unidades experimentales se realizó aleatoriamente en 08 tanques, tal como se observa en la figura 4.

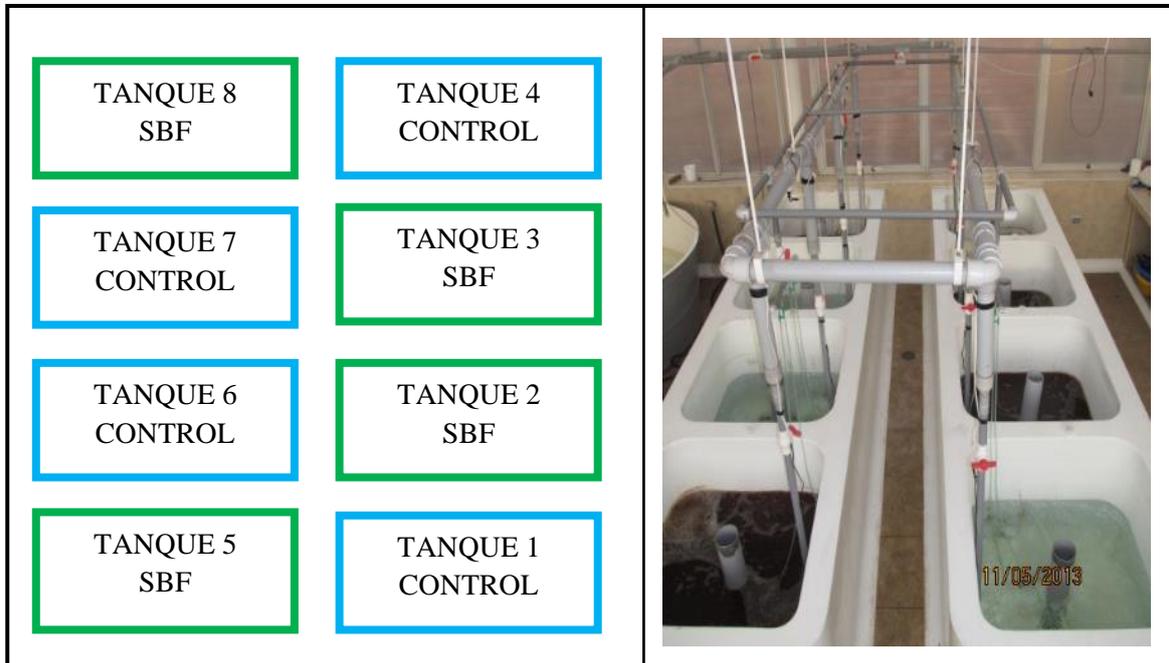


Figura 4: Distribución aleatoria de las unidades experimentales

De los ocho (08) tanques de cemento con volumen aprovechable de 300 litros, cuatro (04) se destinaron para el tratamiento control con recambios de agua, y los cuatro (04) restantes para el tratamiento con tecnología biofloc y sin recambio de agua.

Adicional a ello, se acondicionó una extensión del sistema de aireación procedente del *Blower* marca *SWEETWATER* de 1/3 HP y un sistema de tubería de 3/4" que se distribuyó en todos los tanques, instalándose tres manguerillas de silicona de 1/2" de diámetro unidas a piedras difusoras de cerámica; además se adicionó un calentador marca *SOBO* de 300 *Watts* para mantener la temperatura del agua alrededor de 28°C (Widanarni et al., 2012), en cada unidad experimental.

3.2.1.4 Preparación del alimento

En la fase I, se trabajó con alimento balanceado hormonado, para ello se elaboró a partir de una dieta balanceada comercial de la marca *Purina Tilapia* con contenido proteico del 46.5 por ciento.

La preparación del alimento hormonado se dio de acuerdo con lo indicado por Popma y Green (1990), empleando un kilo de alimento en polvo (500 micras de diámetro), 60 mg de hormona (17- α -metiltestosterona) diluida en 500 ml de alcohol (etanol al 95 por ciento). Luego de la mezcla y homogenización de los insumos, luego se culminó el proceso cuando la mezcla no presentó olor a alcohol. Posteriormente a su elaboración, el alimento hormonado se colocó en bolsas rotuladas para su refrigeración, a fin de no deteriorar a la hormona.

Para la fase II, se empleó el mismo alimento balanceado de la fase I (*Purina Tilapia* de 46.5 por ciento de proteína bruta), sin embargo, debido a que se trabajaría con peces de mayor tamaño se procedió a aumentar el tamaño del alimento de 500 micras a 2 mm de diámetro, dado que se trabajó con alevines de pesos por encima de 0.1 g. Para ello se procedió a reprocesar el alimento con agua caliente, hasta formar una masa uniforme, la cual luego, fue colocada en una máquina moladora con dardos de abertura de 2 mm de diámetro; posteriormente el alimento fue secado a 45 °C, para ser quebrado y tamizado hasta obtener partículas de alimento de 2 mm de tamaño.

3.2.2 Etapa experimental

3.2.2.1 Fase I: Inversión sexual

La fase I permitió atribuir características fenotípicas de masculinización a los alevines de tilapia, a través del uso de la hormona 17 α -metiltestosterona en el alimento, durante 28 días (Castro et al., 2004, Popma & Green, 1990). Para ello, en esta fase se sembró aleatoriamente 400 alevines en cada unidad experimental de 300 litros de volumen, equivalente a una densidad de carga de 1333 alevines/m³ (peso promedio de 0.012 \pm 0.001 g).

La alimentación fue diaria durante esta fase, a una tasa de alimentación del 30 por ciento de la biomasa estimada, con frecuencia alimenticia de cuatro raciones al día (09:00 h, 11:30 h, 14:00 h y 16:30 h), de acuerdo con lo sugerido por Popma & Green (1990).

3.2.2.2 Fase II: Precría

La fase II, llamada “Precría”, tuvo una duración de 35 días posteriores a la fase I, que corresponde a la etapa de levante en crecimiento de los alevines hasta alcanzar pesos entre los 20 a 30 g (El-Sayed, 2006). Para ello, se emplearon los alevines provenientes de la fase de inversión sexual, realizando un desdoble en cuanto al tamaño a fin de alcanzar una densidad de carga de 333 alevines/m³ (peso promedio de 0.128 ± 0.011 g).

La alimentación fue diaria, a una tasa de alimentación del 15 por ciento de la biomasa estimada, con frecuencia alimenticia de 3 raciones al día (09:00 h, 12:30 h y 16:00 h).

3.2.2.3 Manejo de los peces

Durante la etapa experimental se realizaron biometrías semanales para determinar el tamaño en centímetros (cm) y el peso en gramos (g) del 20 por ciento de la población de cada tanque. Se calculó la biomasa semanal al multiplicar el peso promedio de los peces muestreados por el total de número de peces, valor utilizado para ajustar la ración de alimento. Al final de cada fase experimental (28 y 35 días, respectivamente) se colectó el total de los alevines de tilapias *Oreochromis niloticus* sobrevivientes de cada unidad experimental, a la que se determinó el tamaño en centímetros (cm) y el peso en gramos (g).

3.2.2.4 Renovación de agua

En el tratamiento control se renovó el agua en un 20 por ciento del volumen total del agua a diario, buscando disminuir las concentraciones de compuestos nitrogenados y/o agentes biológicos (Avnimelech, 2007), a través del sifonéo del alimento no consumido y heces.

3.2.2.5 Relación C:N del sistema biofloc

En el tratamiento sin recambios de agua y con tecnología biofloc (SBF), al igual que en la estabilización del biofloc en el biorreactor, se procedió a manejar la relación C:N del biofloc a una relación de 10 a 1 (Mejía, 2014), previamente al inicio de cada fase experimental. Durante el desarrollo del experimento, no se suministró fuente de carbono orgánico, solo manteniendo la relación C:N ofrecido por el alimento, el cual es 6.72.

3.2.2.6 Medición de los parámetros productivos

Al finalizar cada fase experimental, se realizó el pesado de la población total de cada unidad experimental. Para ello se empleó una balanza marca *Denver Instrument Company* (aproximación de 0.001 g), la misma que permitió determinar el peso promedio final, la tasa de crecimiento absoluto (TC), la tasa de crecimiento específico (TCE), la tasa de conversión alimenticia (TCA), la tasa de supervivencia y la densidad de carga de los alevines de tilapias cultivados, los cuales son:

- $\text{Peso Final (g)} = \text{Biomasa Final (g)} / \text{Peces sobrevivientes};$
- $\text{Supervivencia (\%)} = \text{Cantidad de Peces Final} \times 100\% / \text{Cantidad de Peces Inicio};$
- $\text{Densidad de carga (Kg.m}^{-3}\text{)} = \text{Biomasa Final (Kg)} / \text{Volumen de la unidad experimental (m}^3\text{)} - \text{Jones (2002)};$
- $\text{Tasa de crecimiento absoluta (TC, g.día}^{-1}\text{)} = [\text{Biomasa Final (g)} - \text{Biomasa Inicial (g)}] / \text{Tiempo de cultivo (días)} - \text{Ricker (1979)};$
- $\text{Tasa de crecimiento específico (TCE, \% .día}^{-1}\text{)} = [\text{Ln (Peso final (g))} - \text{Ln (Peso inicial (g))}] \times 100\% / \text{Tiempo de cultivo (días)} - \text{Ricker (1979)};$
- $\text{Tasa de conversión alimenticia (TCA)} = \text{Alimento consumido (g)} / [\text{Biomasa Final (g)} - \text{Biomasa inicial (g)}] - \text{Hanley (1991)}.$

3.2.2.7 Medición de los parámetros de calidad de agua

Semanalmente, se colectó 500 ml de muestras de agua de cada unidad experimental, en botellas plásticas de 650 ml de capacidad debidamente rotulada. Posteriormente se llevaban al laboratorio de Limnología de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina para el control de los parámetros de calidad de agua (tabla 6).

Tabla 6: Equipos y metodología para el control de la calidad de agua.

Parámetro	Unidad	Método	Equipo/material	Frecuencia
Ortofosfato (PO ₄)	mg.l ⁻¹	Ácido ascórbico (HACH 8048)		
Nitrógeno amoniacal total (NAT)	mg.l ⁻¹	Nesslerización (HACH 8155)	Espectrofotómetro <i>HACH DR/2500</i> (365 a 880 nm ± 1nm)	Semanal
N- Nitritos (N-NO ₂)	mg.l ⁻¹	Diazotización (HACH 8507)		
N-Nitratos (N-NO ₃)	mg.l ⁻¹	Reducción de cadmio (HACH 8039)		
Alcalinidad	mg CaCO ₃ .l ⁻¹	Método volumétrico (Severiche et al., 2013)	-	
Turbidez	UNF	Ratio nefelométrico (90°) (USEPA 180.1)	Turbidímetro marca <i>LAMOTTE 2020</i>	
Temperatura	°C	sensor de temperatura	Oxímetro <i>YSI 550 A</i>	Diario
Oxígeno disuelto	mg.l ⁻¹	polarográfico		08:00 h 16:00 h
pH	-	Electrodo APHA 4500-H+ (B)	Oakton de mesa	
Sólidos sedimentables (SS)	ml.l ⁻¹	sedimentación (APHA 1998)	Cono de Imhoff marca <i>SCIENCEWARE</i>	Diario 10:00 h

3.3 Diseño y análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico MINITAB 17, iniciando con la prueba de normalidad de Anderson Darling ($p\text{-value} < 0.05$), de no cumplir, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Posteriormente, los datos normales de cada fase fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar (DCA), de encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey ($p\text{-value} < 0.05$) para la determinación de diferencias significativas entre los tratamientos. Para el caso de los valores expresados en porcentaje o que resultan ser cuantitativamente muy pequeños, fueron previamente transformados a través del artificio de Arcoseno.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros físicos y químicos de la calidad del agua en sistemas con recambios de agua y sin tecnología biofloc (control), y sin recambio de agua y con tecnología biofloc (SBF)

En la tabla 7 se presentan los valores promedios y desviaciones estándar de los parámetros físicos y químicos de la calidad del agua durante la primera fase experimental: Inversión Sexual, durante 28 días y la segunda fase experimental: Precría, durante 35 días, respectivamente. De los resultados obtenidos, se precisa lo siguiente:

4.1.1 Temperatura

Los valores promedios de temperatura obtenidos de ambos tratamientos durante las dos fases de experimentación no presentaron diferencias significativas ($p\text{-value}>0.05$). Sin embargo, si se evidencia mínimas oscilaciones entre ambas fases experimentales por efecto de la estacionalidad (inicio a finales de primavera y finalizó a mediados de verano), en la que se realizó el presente experimento, tal como se observa en la figura 5.

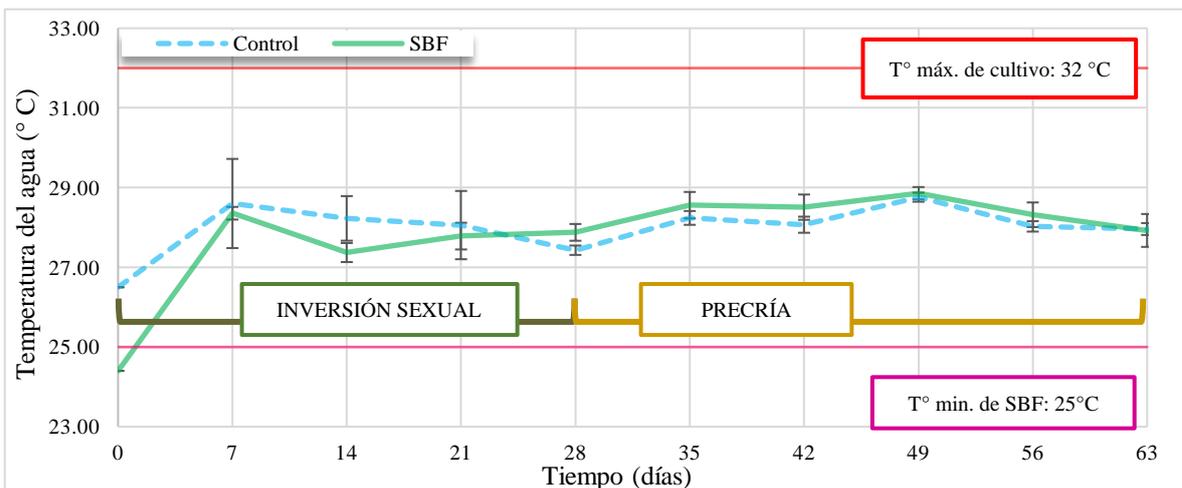


Figura 5: Promedio y desviación estándar de la temperatura del agua (°C)

Tabla 7: Promedio y desviación estándar de la calidad del agua en sistemas con recambios de agua y tecnología biofloc en el cultivo de alevines de *Oreochromis niloticus*.

Parámetro	Unidad	I Fase: inversión sexual			II Fase: precría		
		Control	SBF	<i>p-value</i>	Control	SBF	<i>p-value</i>
Temperatura	(°C)	27.76 ± 0.25 a	27.16 ± 0.14 a	0.106	28.17 ± 0.07 a	28.38 ± 0.21 a	0.109
Oxígeno disuelto	mg.l ⁻¹	7.68 ± 0.05 a	7.61 ± 0.05 a	0.050	7.01 ± 0.10 a	7.00 ± 0.01 a	0.927
pH	-	8.29 ± 0.02 a	8.21 ± 0.03 b	0.004	8.14 ± 0.02 a	7.96 ± 0.03 b	0.001
Sólidos sedimentables	mg.l ⁻¹	-	18.28 ± 3.44 a	-	-	26.58 ± 1.96 a	-
N-NH ₃	mg.l ⁻¹	0.144 ± 0.037 b	0.423 ± 0.070 a	0.001	0.094 ± 0.037 b	0.230 ± 0.070 a	0.001
N-NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	1.097 ± 0.359 b	3.933 ± 0.360 a	0.001	0.991 ± 0.359 b	2.080 ± 0.360 a	0.000
Nitrógeno amoniacal total (N-NH ₃ + N-NH ₄ ⁺) *	mg.l ⁻¹	1.241 ± 0.390 b	4.355 ± 0.386 a	0.000	1.085 ± 0.390 b	2.310 ± 0.386 a	0.001
N-NO ₂ *	mg.l ⁻¹	0.168 ± 0.041 a	0.151 ± 0.029 a	0.855	0.079 ± 0.041 a	0.076 ± 0.029 a	0.956
N-NO ₃ *	mg.l ⁻¹	17.701 ± 0.577 b	76.749 ± 0.871 a	0.001	17.728 ± 0.577 b	64.792 ± 0.871 a	0.001
PO ₄ *	mg.l ⁻¹	2.694 ± 0.411 b	11.667 ± 0.321 a	0.000	1.551 ± 0.411 b	7.895 ± 0.321 a	0.001
Turbidez	UNF	2.836 ± 0.558 b	122.34 ± 14.71 a	0.001	2.044 ± 0.254 b	144.100 ± 37.102 a	0.001
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ .l ⁻¹	74.40 ± 4.28 b	92.60 ± 4.68 a	0.001	73.33 ± 1.89 b	89.25 ± 0.96 a	0.000

Los tratamientos son: (i) Control, sistema con recambio de agua al 20% y sin tecnología biofloc, y (ii) SBF, sistema sin recambio de agua y con tecnología biofloc.

Los datos corresponden al promedio de cada fase ± desviación estándar.

Los resultados fueron analizados por ANOVA de una sola vía y comparados por la prueba de Tuckey (*p-value* < 0.05).

(*) Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

Durante la fase de inversión sexual, la temperatura tiende a iniciar con los valores más bajos de la experimentación (SBF: 24.40 °C, Control: 26.50 °C), esto se relaciona a lo mencionado anteriormente con respecto a la estacionalidad en la que se dio inicio el presente experimento. A partir de la segunda hasta la cuarta semana, este parámetro se estabilizó a valores promedios de 27.95 °C en el tratamiento SBF y 28.08 °C en el control. A diferencia de la fase de inversión sexual, la fase de precría mantuvo casi constante la temperatura durante las cinco semanas de experimentación con valores promedios de 28.38 °C en el tratamiento SBF y 28.17 °C en el control.

Como se evidencia, la temperatura tiende a aumentar con el transcurrir de los días por efecto de las estaciones, sin embargo, dada la realización del presente experimento en instalaciones de invernadero permitió obtener valores de temperaturas casi constantes tal como lo sugiere en su investigación Crab et al. (2009), además de ello, el uso de calentadores contribuyó a este fin, logrando obtener valores alrededor de 28°C en los sistemas de cultivo. Esto permitió contribuir directamente en los procesos fisiológicos de los peces, así como en el desarrollo de bacterias heterótrofas, el cual permite la formación de proteína microbiana en el sistema biofloc, y en el desarrollo de las bacterias nitrificantes, de acuerdo con lo reportado por Avnimelech (2009).

Asimismo, se hace mención que los valores de temperatura obtenidos para ambos tratamientos durante ambas fases experimentales (Fase I: Control: 27.76 °C, SBF: 27.16 °C; Fase II: Control: 28.17 °C, SBF: 28.38 °C) se encuentran dentro del rango de temperaturas aceptables para el crecimiento y desarrollo del cultivo de tilapia durante la etapa alevinaje, el cual va desde los 27 °C hasta los 32 °C, de acuerdo a lo reportado por Martínez (2006).

En relación al tratamiento SBF, los valores obtenidos en ambas fases, se encontraron dentro del rango establecido por Azim & Little (2008), el cual determinó que a temperaturas entre los 26 °C y 30 °C, se da el óptimo desarrollo de las bacterias heterótrofas, en conjunto con la producción de sólidos sedimentables de hasta 50 ml.l⁻¹ (Avnimelech, 2009), sin embargo, también se contribuye con la alta producción de compuestos nitrogenados tóxicos para los peces, los cuales pueden ocasionar tasas de mortalidad por encima del 30 por ciento (Boyd, 1998).

En ese sentido, los valores de temperatura registrados durante las dos fases experimentales permitieron identificar a este parámetro físico como una variable independiente del experimento, que se mantuvo estable y acorde a los establecido en la metodología propuesta.

4.1.2 Oxígeno disuelto

Según los resultados estadísticos obtenidos en la tabla 7 y en la figura 6, las concentraciones de oxígeno disuelto del agua de cada fase experimental no presentaron diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento SBF (Fase I: Control 7.68 mg.l⁻¹, SBF 7.61 mg.l⁻¹, y Fase II: Control 7.01 mg.l⁻¹, SBF 7.00 mg.l⁻¹) (*p-value*>0.05).

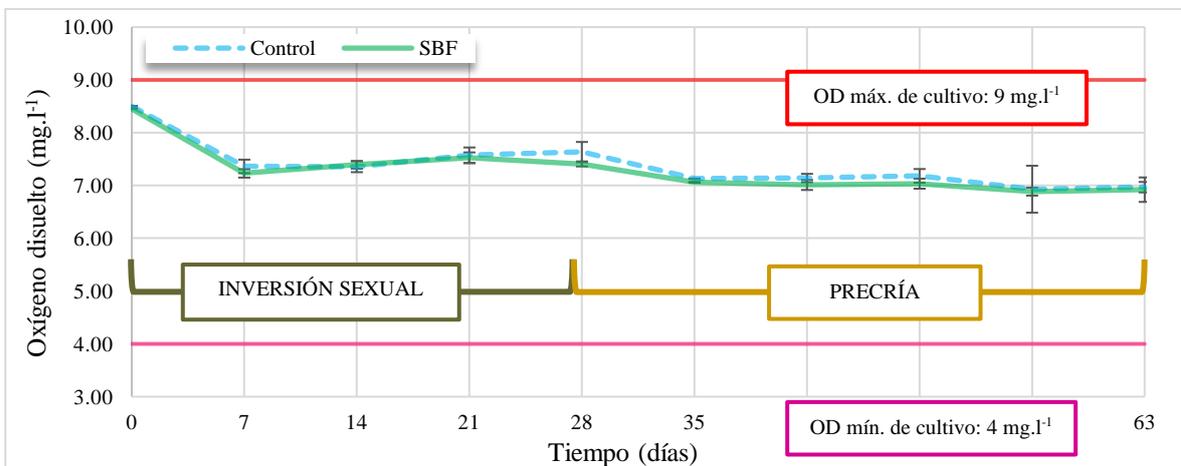


Figura 6: Promedio y desviación estándar del oxígeno disuelto (mg.l⁻¹)

La disminución de la concentración del oxígeno disuelto durante las semanas de experimentación se relaciona con el aumento de temperatura del agua, tal como lo indica Boyd (1998). Esta dependencia del oxígeno disuelto con la temperatura influye en los procesos metabólicos de los alevines y en el de los microorganismos propios de la tecnología biofloc, resultando necesario la implementación de un sistema de aireación, el cual permita cubrir la demanda de oxígeno requerida, tal como se contempló en la presente investigación.

Se observó que las concentraciones semanales de este parámetro durante la fase de precría resultaron ser más bajas, a comparación de la fase de inversión sexual; sin embargo, en ambos tratamientos se obtuvieron concentraciones de oxígeno disuelto mayor a 7 mg.l⁻¹,

encontrándose dentro del rango óptimo para el crecimiento de la tilapia (de 4 hasta 9 mg.l⁻¹) (Martínez, 2006). Asimismo, y de acuerdo con lo reportado por Long et al. (2015), en la presente investigación se obtuvo concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 6 mg.l⁻¹ en el tratamiento biofloc, encontrándose dentro del límite mínimo para el desarrollo de la proteína microbiana.

Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto en el tratamiento SBF, no se reportaron variaciones bruscas de este parámetro durante ambas fases experimentales, debido a la no adición de fuente de carbono orgánico, la cual no estimuló la realización del proceso oxidativo para la formación de la proteína microbiana por las bacterias heterótrofas (Hargreaves, 2006, Zapata, 2016). Por otro lado, los recambios diarios del 20 por ciento en el tratamiento control, minimizaron el crecimiento de comunidades autótrofas, quienes emplean el oxígeno disuelto en el proceso de nitrificación para la formación de compuestos nitrogenados disueltos (Crab et al., 2007, De Schryver et al., 2008).

De la figura anterior y de los valores promedios obtenidos, se evidencia que el parámetro oxígeno disuelto es una variable independiente del experimento, el mismo que se mantuvo estable a lo largo del tiempo y dentro de los rangos recomendados, según la metodología establecida.

4.1.3 pH

En la tabla 7 se presentan los valores promedios de pH, donde se aprecia un rango que va desde 7.96 hasta 8.29 con valores mínimos de 7.90 y máximos de 8.32. A diferencia de los dos parámetros mencionados anteriormente, el pH si presentó diferencias significativas entre ambos tratamientos (*p-value*<0.05) en ambas fases experimentales.

En la figura 7, se presenta la variación del pH promedio semanal de ambos tratamientos durante las dos fases de experimentación, observándose que al finalizar cada fase experimental el pH del agua de ambos tratamientos, tienden a disminuir por efecto del aumento de la temperatura, la cual influye en los procesos microbianos heterótrofos y nitrificantes (Wairimu et al., 2015).

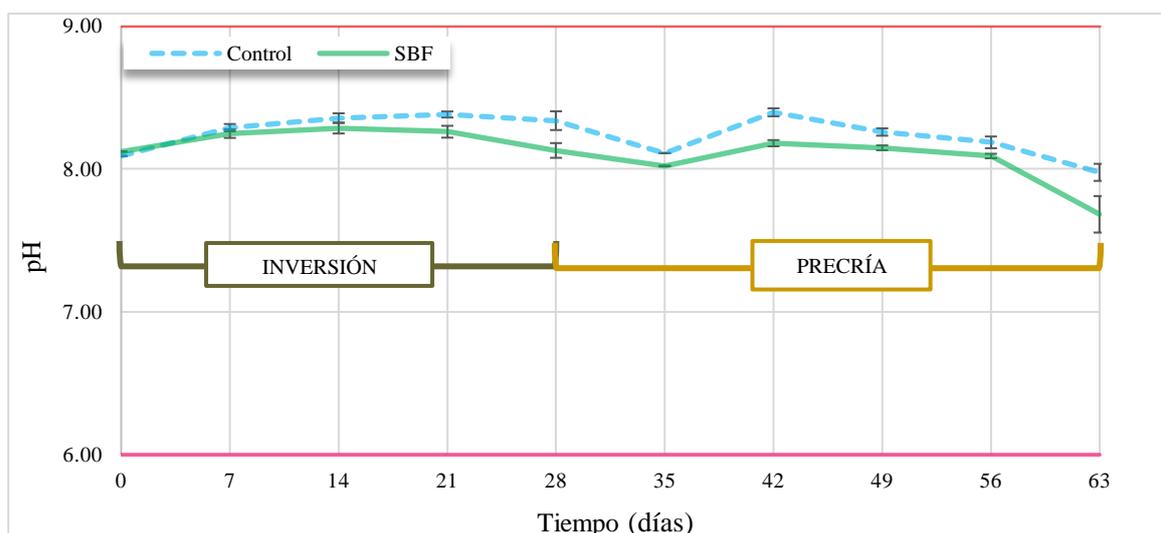


Figura 7: Promedio y desviación estándar del pH del agua de cada tratamiento

En relación a lo anterior, y de acuerdo a lo descrito por Mejía (2014), el pH de los SBF guardan una estrecha relación con la temperatura, ya que al presentar valores por encima de 27°C permite acelerar el metabolismo de microorganismos que contribuyen a la formación del floc y consecuentemente aumenta el consumo de reservas alcalinas por efecto de las oscilaciones del pH, además que al no haber una adición de fuente de carbono inorgánico no permitió cubrir la demanda de reservas alcalinas para poder neutralizar este parámetro, tal como se observa en la presente investigación.

Es por ello, que se da el difícil manejo de este parámetro en el sistema biofloc, debido a su dependencia con los procesos bacterianos y biológicos, los cuales pueden ocasionar daños en la fisiología del pez o altas tasas de mortalidad por efecto del desbalance del sistema frente a los demás parámetros de la calidad del agua, tal como se observa en el presente experimento (Crab et al., 2009, Ebeling et al., 2006). Debido a esta problemática, Shnel et al. (2002) recomiendan que en los sistemas biofloc, se implemente protocolos de manejo para estabilizar el pH (valores mayores a 6.5) a través de la adición de fuentes de reservas alcalinas, como es el bicarbonato de sodio.

Bajo este contexto, mantener valores de pH por encima de 7 en los sistemas biofloc permite el crecimiento de bacterias autótrofas y heterótrofas, tal como lo explican Burford et al. (2003), puesto que si se hubiese tenido valores de pH por debajo de 5 se hubiese limitado la producción de bacterias heterótrofas. Asimismo, que de presentar valores por encima de 7.5

indica que el desarrollo de las bacterias nitrosomonas se da con normalidad, minimizando las situaciones de estrés ocasionado por el amoniacó (Hargrove et al., 1996), que se detallará en ítems posteriores.

Por otro lado, según lo reportado por Flores (2013) y Kubitza (1998), los valores de pH del presente experimento se encuentran dentro del rango de tolerancia para la tilapia (que van de 6 a 9). En el caso de los valores de pH del tratamiento SBF, estos resultaron ser menores que las del tratamiento control, debido a que cuentan con procesos adicionales como el de asimilación del nitrógeno y el metabolismo de los microorganismos heterótrofos que son los encargados de consumir las reservas alcalinas de este tipo de sistemas y, por ende, estimulan las oscilaciones de este parámetro (Luo et al., 2014).

En ese sentido, se establece que el parámetro pH resulta ser una variable dependiente e influenciado por los procesos biológicos y fisiológicos presentes en el experimento, principalmente en el tratamiento SBF, a pesar de adicionarse reservas de fuentes alcalinas antes del inicio de cada fase experimental.

4.1.4 Alcalinidad total

Las concentraciones de alcalinidad total durante la fase de inversión sexual y precría se muestran en la tabla 7 y en la figura 8, obteniéndose que este parámetro presenta diferencias significativas en ambos tratamientos ($p\text{-value}<0.05$), durante ambas fases, resultando el tratamiento control con menores valores (fase I: 74.4 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, fase II: 73.3 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$), con respecto al tratamiento SBF (fase I: 92.6 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, fase II: 89.3 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$).

Asimismo, se identifica que las concentraciones más altas de alcalinidad total se dan durante la primera semana experimental, tendiéndose a disminuir y/o estabilizarse al final de cada fase experimental (I Fase 1° semana: Control: 88 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, SBF: 124 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$; II Fase 1° semana: Control: 100 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, SBF: 104 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$).

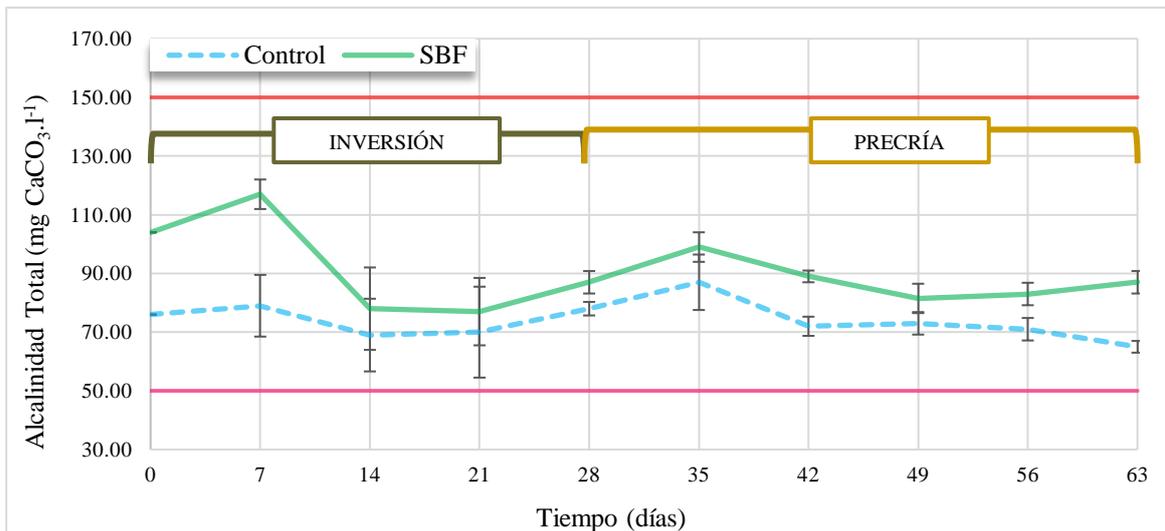


Figura 8: Promedio y desviación estándar de la alcalinidad total (mg CaCO₃.l⁻¹)

La disminución gradual de la alcalinidad total se debe al uso de sus reservas alcalinas para estabilizar el sistema de cultivo ante el desarrollo de procesos fisiológicos y bacterianos, los cuales se dan en gran parte en los sistemas biofloc (Burford et al., 2003). Según Ebeling et al. (2006) en cultivo de tilapias en SBF, los procesos de nitrificación consumen 7.05 g de CaCO₃ por cada 1 g de NAT, y las bacterias heterótrofas consumen 3.57 g de CaCO₃ por 1 g de NAT en la asimilación de la proteína microbiana.

Es por ello que una de las principales razones, que evidencia las diferencias significativas durante la experimentación, radica en el manejo de los tratamientos, ya que al inicio de cada una de las fases experimentales se adicionó fuentes de reservas de carbono inorgánico (bicarbonato de sodio) en el tratamiento SBF, de modo que permitió estabilizar el pH y proveer altas concentraciones de reservas alcalinas (por encima de los 104 mg CaCO₃.l⁻¹) al sistema de cultivo, las cuales son necesarias para el desarrollo de las bacterias heterótrofas, en la formación de la proteína microbiana (Ebeling et al., 2006) y en los procesos respiratorios de los peces y microorganismos presentes en el floc (Ray et al., 2010). Lográndose de este modo, trabajar con concentraciones de alcalinidad total por encima de 80 mg CaCO₃.l⁻¹ en sistemas biofloc durante la etapa de alevinaje de tilapias, específicamente durante la inversión sexual.

Además, la dependencia de la alcalinidad total con el pH (Boyd, 1995), establece que concentraciones de alcalinidad total por debajo de 80 mg CaCO₃.l⁻¹ genera altas variaciones

en el pH, debido a los procesos fotosintéticos y a las altas concentración de dióxido de carbono (CO_2) producto de la respiración de los peces y de los microorganismos del sistema biofloc (Dos Santos et al., 2009, Widanarni et al., 2012); lo que conlleva al desarrollo de situaciones de estrés o elevadas tasas de mortalidad de los recursos cultivados en sistemas superintensivos (Ekasari et al., 2015). Situación que se vio identificada en el presente experimento, donde se presentaron situaciones de variaciones de la alcalinidad total entre los 100 a 80 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, producto de las altas concentraciones de compuestos nitrogenados (proceso de nitrificación).

Las concentraciones de alcalinidad total reportadas en este experimento se encuentran dentro del rango adecuado para el cultivo de alevines de tilapia (desde 50 hasta los 150 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$), el cual osciló entre los 70 hasta los 120 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$, acorde a lo establecido por Martínez (2006). De este modo se atribuye que durante la fase de precría, los procesos fisiológicos y biológicos de las bacterias heterótrofas resultaron más estables, debido al consumo estable de reservas alcalinas del SBF, a diferencia de la fase de inversión sexual.

4.1.5 Sólidos sedimentables y turbidez

En la figura 9 se observa la dinámica de los sólidos sedimentables y de la turbidez del tratamiento SBF durante la experimentación. Se reportaron concentraciones de sólidos sedimentables al inicio de la experimentación de alrededor 9 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ y concentraciones de hasta 27 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ al final; y de turbidez de 100 UNF hasta aproximadamente 170 UNF. Para el caso de la turbidez en el tratamiento control se obtuvieron valores relativamente bajos que van entre 1 a 3 UNF.

De la figura en mención, se observa que los sólidos sedimentables y las turbidez en el tratamiento SBF aumentan con el paso del tiempo, debido al alto contenido proteico del alimento, al aumento continuo del alimento de acuerdo a la ganancia de peso de los peces y a la alta tasa de excreción de nitrógeno de los alevines de tilapia (82 por ciento, según Green & Boyd, 2007), la cual es influenciada por el ligero aumento de temperatura que se dio entre las fases experimentales; es por ello, que tuvo como consecuencia la creciente producción de sólidos en este tipo de sistemas durante ambas fases (Inversión sexual: 18.28 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$, Precría: 26.58 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$).

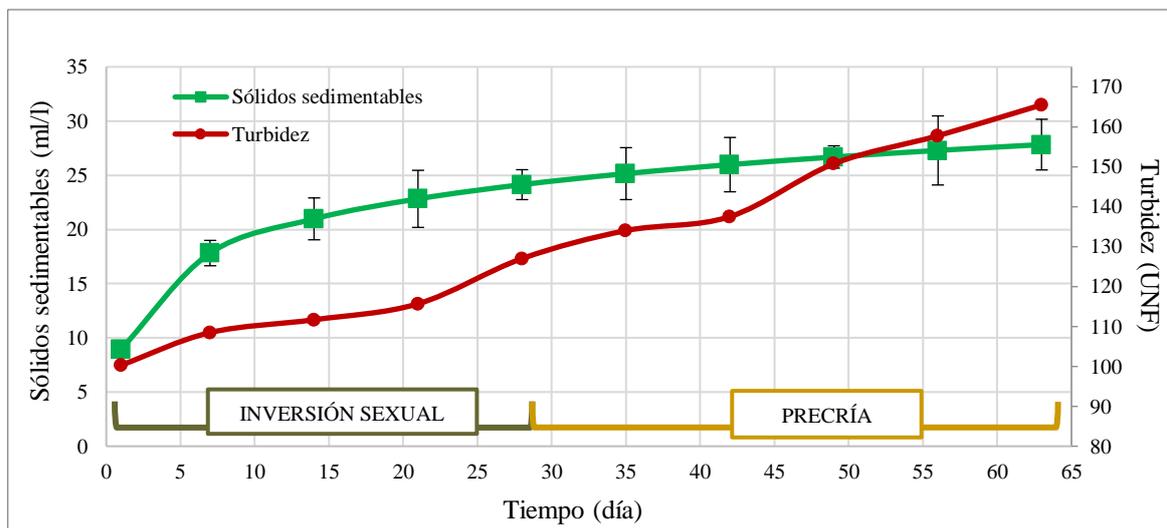


Figura 9: Valores de sólidos sedimentables (SS) y turbidez (T) del tratamiento SBF

En la fase de precría se obtuvieron valores de hasta 27 ml.l^{-1} de sólidos sedimentables a concentraciones de 6 a 7 mg.l^{-1} de oxígeno disuelto, lo que permitió brindar un adecuado ambiente para el desarrollo de los alevines de tilapia (Hargreaves, 2013), así como permitió la estabilización de los compuestos nitrogenados tóxicos (Luo et al., 2013).

Asimismo, el efecto de la temperatura en la producción de sólidos sedimentables juega un papel fundamental, ya que influye en el crecimiento de los peces y en el proceso de formación de los flóculos (Avnimelech, 2009). Considerando lo mencionado por De Schryver et al. (2008), el cultivo de la tilapia en sistemas biofloc a temperaturas que van entre 20 a 27 °C, contribuye al desarrollo microbiano y a la producción de sólidos de hasta 50 ml.l^{-1} .

Acorde a ello, y considerando que la producción de alevines de tilapia tolera como máximo valores de sólidos sedimentables de alrededor 30 ml.l^{-1} , este parámetro permitió el desarrollo de los alevines durante la fase de inversión sexual.

Por otro lado, se menciona que la turbidez es un parámetro que se vincula a la presencia de materia orgánica y los sólidos suspendidos totales (Hargreaves, 2006), para fines de esta investigación se estaría midiendo indirectamente en las concentraciones de los sólidos sedimentables.

Los valores de turbidez se muestran en la tabla 7 y presentaron diferencias durante las dos fases experimentales, siguiendo el mismo patrón de los sólidos sedimentables, con tendencia a aumentar por efecto del incremento de la temperatura en los sistemas de cultivo y la tasa alimenticia de los alevines de tilapia. El tratamiento control presentó menores valores (alrededor de 3 UNF) como resultado de las constantes renovaciones diarias de agua, para evitar el acúmulo de materia orgánica y organismos autótrofos (Avnimelech, 2007), a diferencia del tratamiento SBF.

En una investigación realizada por Martin et al. (2005), concluyen que el beneficio principal de la tecnología biofloc en estadios de alevinaje, es la fácil y continua disponibilidad del alimento. Infiriéndose, que en el caso del tratamiento SBF durante todo el experimento, el alimento balanceado ofrecido pudo no ser consumido en su totalidad por los alevines a consecuencia de la turbidez (coloración) del sistema, por lo que gran parte de su crecimiento podría deberse al aprovechamiento de la proteína microbiana propia de este tipo de sistema, faltando cuantificar el porcentaje de consumo.



Figura 10: Coloración del tratamiento SBF (izquierda) y el tratamiento control (derecha)

En cuanto a lo descrito anteriormente, un efecto secundario de la presencia de flocs, es la coloración del agua a razón de la turbidez (Emerenciano et al., 2011). Para el caso de la presente experimentación, al llevarse a cabo en un invernadero cerrado, la tecnología biofloc no fue expuesto directamente a la luz natural, y considerando su coloración oscura es denominada “brown-water” (figura 10), donde en principio los procesos bacterianos son los que controlan la calidad del agua (Choo & Caipang, 2015).

4.1.6 Compuestos nitrogenados disueltos

Los compuestos nitrogenados disueltos presentes en el recurso hídrico de los cultivos acuícolas están conformados por el nitrógeno amoniacal total, llamado en adelante como NAT ($N-NH_4^+ + N-NH_3$), nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-). El NAT está conformado por el amonio ionizado o también llamado amonio " $N-NH_4^+$ " que no genera ninguna toxicidad en los peces y el amonio no-ionizado o también llamado amoniaco ($N-NH_3$) que resulta tóxico para los peces (El-Sayed, 2006).

En la tabla 7 y en la figura 11 se observa la dinámica del NAT durante la experimentación, obteniéndose que en ambas fases existieron diferencias significativas en los tratamientos (p -value < 0.05), resultando menores concentraciones en el tratamiento control (fase I: 1.241 mg.l⁻¹, fase II: 1.085 mg.l⁻¹), respecto al SBF (fase I: 4.355 mg.l⁻¹, fase II: 2.310 mg.l⁻¹).

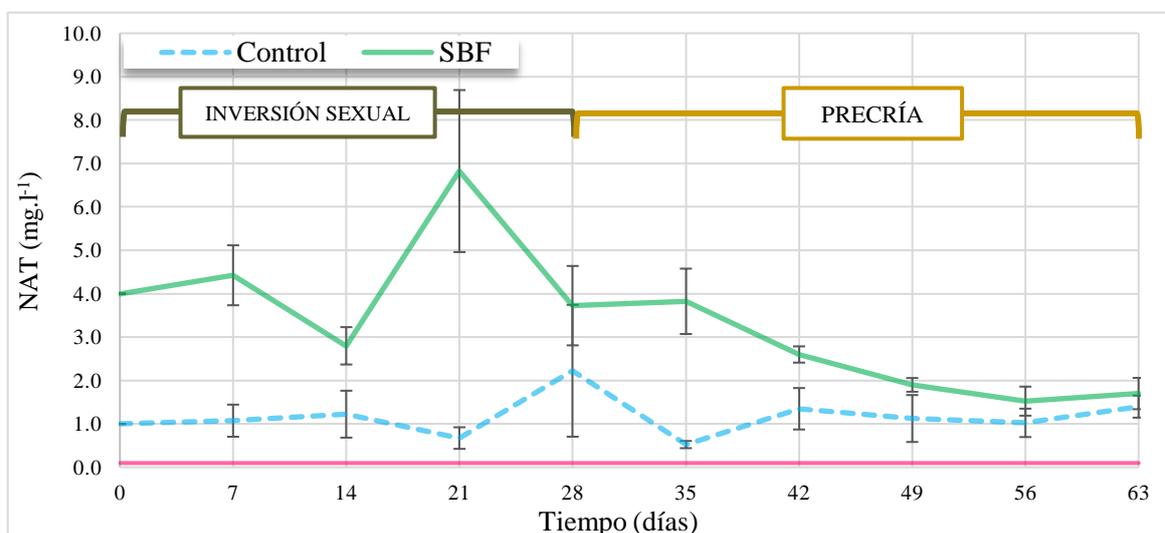


Figura 11: Promedio y desviación estándar semanal del NAT (mg.l⁻¹) de ambos tratamientos

Para la presente investigación, los compuestos derivados del NAT han sido calculados teóricamente, en el caso del amoniaco se empleó la tabla de Emerson et al. (1975) del Anexo 2, para determinar el porcentaje de concentración del $N-NH_3$ en el NAT a través de los parámetros de temperatura y pH, y el amonio fue calculado mediante la diferencia de las concentraciones de NAT y $N-NH_3$ (Tabla 8).

Tabla 8: Concentración promedio semanal (mg.l⁻¹) de NAT y amoniaco.

Fase experimental	Tiempo (días)	NAT (mg.l ⁻¹)		N-NH ₃ (mg.l ⁻¹)	
		Control	SBF	Control	SBF
Inversión sexual	0	1.0 ± 0.0	4.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
	7	1.1 ± 0.4	4.4 ± 0.7	0.1 ± 0.1	0.5 ± 0.2
	14	1.2 ± 0.5	2.8 ± 0.4	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1
	21	0.7 ± 0.2	6.8 ± 1.9	0.1 ± 0.1	0.8 ± 0.3
	28	2.2 ± 1.5	3.7 ± 0.9	0.3 ± 0.2	0.4 ± 0.2
	35	0.5 ± 0.1	3.8 ± 0.8	0.1 ± 0.0	0.4 ± 0.1
	42	1.4 ± 0.5	2.6 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1
Precría	49	1.1 ± 0.5	1.9 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0
	56	1.0 ± 0.3	1.5 ± 0.3	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	63	1.4 ± 0.3	1.7 ± 0.4	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0

Del total de las concentraciones de NAT obtenidas en ambas fases experimentales, estas se encuentran por encima del límite establecido para el cultivo de tilapia (NAT: 0.1 mg.l⁻¹, de acuerdo con Martínez, 2006) y para el desarrollo de la tecnología biofloc (NAT: 1 mg.l⁻¹, de acuerdo con Avnimelech, 1999, Dos Santos et al., 2009, Lima et al., 2015). Asimismo, reportar concentraciones de N-NH₃ que van hasta 0.8 mg.l⁻¹, determina que se dio el efecto de la toxicidad de este compuesto, desencadenando altas tasas de mortalidad y daño en el sistema fisiológico de los alevines. En otras investigaciones reportadas por Dos Santos et al. (2009) y FONDEPES (2004), la concentración de N-NH₃ adecuada para el cultivo de alevines de tilapia va hasta 0.4 mg.l⁻¹, lo que se explica en las bajas tasa de mortalidad durante la fase precría.

En referencia a lo anterior, se observa que durante el tiempo de experimentación, las concentraciones de NAT más altas pertenecen al tratamiento SBF, específicamente durante la tercera semana de la fase de inversión sexual (6.8 mg.l⁻¹), el cual se relaciona al valor más alto de N-NH₃ de 0.8 mg.l⁻¹ (aproximadamente 12 por ciento a un pH de 8.25 y temperatura de 28 °C), que conlleva al aumento de la tasa de mortalidad de los alevines.

La dinámica del NAT, más aún del N-NH₃ en la tecnología biofloc es compleja ya que depende de varios factores, tales como, el pH, alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, contenido proteico del alimento, tasa alimenticia, tasa de excreción de los peces y la relación C:N del sistema (Avnimelech, 1999, Ebeling et al., 2006).

Si bien, la temperatura durante la investigación no es considerado un factor variante, el hecho de mantener valores de alrededor 27 °C ha influenciado en la producción de compuestos nitrogenados tóxicos (amoníaco), ocasionando mortalidades por encima del 30 por ciento de los peces (Boyd, 1998, De Schryver et al., 2008), los cuales también se podría deber al manejo productivo de los peces durante esta fase.

En otra investigación realizada por Lima et al. (2015), se hace mención que la concentración letal de NAT para juveniles de tilapias cultivados en SBF fue de 7.1 mg.l⁻¹, corroborándose que valores cercanos a esta concentración, perjudica en la fisiología del pez, lo que se ve reflejado en el no incremento de su performance productivo, como se dio en la primera fase experimental

Otros de los factores que se relacionan con la presencia de altas concentraciones de NAT en los sistemas acuícolas, es el manejo productivo de los alevines, los cuales por efecto de trabajar con un alimento balanceado altamente proteico (46.5 por ciento), una alta tasa de excreción (alrededor del 82 por ciento en la etapa de alevinaje) (Avnimelech, 2006) y una alta tasa alimenticia (30 por ciento de la biomasa total) (Popma & Green, 1990), establece que en la presente investigación, por cada 1 kg de pienso ofrecido para los alevines de tilapias, están excretando al agua alrededor de 59.4 g de nitrógeno procedente del alimento, los cuales en sistemas con recambio de agua diario, se controla y minimiza sus concentraciones por efecto de la remoción de sus compuestos (Avnimelech, 2007, Labib & Ha, 2012), lo que permitió durante la segunda fase, su contribución en el desarrollo fisiológico adecuado de los alevines; sin embargo, la tecnología biofloc lo emplea para la formación de proteína microbiana a través de las bacterias heterótrofas y/o para el proceso de nitrificación mediante las bacterias nitrificantes.

Ante ello, el tratamiento con tecnología biofloc desarrollado durante la etapa de alevinaje de tilapias, previó desarrollarse dentro de un invernadero y no estar expuesto directamente a la luz solar natural, a fin de permitir el crecimiento de las bacterias heterótrofas, según lo que menciona Hargreaves (2013); sin embargo, para conseguir ello, era necesario trabajar a una relación C:N de 10 a 1, como mínimo.

Sin embargo, la presente investigación sólo empleó al alimento de 46.5 por ciento de proteína como fuente de proteína y carbono a una relación de C:N de 6.72:1, lo que quiere decir que al sólo considerar como fuente de carbono orgánico al alimento, el sistema establecía que las bacterias heterótrofas sólo emplearán 6.72 g de carbono orgánico para asimilar 1 g de NAT, resultando insuficiente las cantidades de carbono orgánico en el experimento, por lo que, el NAT no asimilado para la formación de la proteína microbiana, participaba en los procesos de nitrificación, motivo por el cual se explica las altas concentraciones de N-NO_3^- (Wairimu et al., 2015). Para que estos procesos biológicos se den, el sistema requiere de reservas alcalinas, lo que conllevando a la disminución gradual de 100 a 80 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$ de alcalinidad total, por ende, tiene como consecuencia la alteración de los procesos fisiológicos de los alevines de tilapia.

En la fase de precría, se observa la tendencia de disminución del NAT en el tratamiento SBF estableciéndose que al mantener concentraciones de oxígeno disuelto por encima de $7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, el pH entre 7 y 8, y el aumento gradual en la producción de sólidos sedimentables de 24 a $32\text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$, evidenciar el óptimo desarrollo de las bacterias heterótrofas, desvinculando que los procesos nitrificantes se den en mayor producción, ya que los compuestos nitrogenados disueltos producidos a partir del NAT se mantuvieron casi constante a lo largo de esta fase.

Por ello, los compuestos nitrogenados obtenidos en el proceso de nitrificación del amonio, los cuales son: nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) (El-Sayed, 2006, Kubitza, 1998), presentan cierta particularidad en la presente investigación, las cuales se describen en la tabla 7 y en la figura 12. Las mismas que refieren, en el caso del nitrato, la existencia de diferencias significativas entre los dos tratamientos, en ambas fases experimentales ($p\text{-value}<0.05$); a diferencia del nitrito, el cual indica que no existen diferencias significativas entre los dos tratamientos, en ambas fases experimentales ($p\text{-value}>0.05$).

El nitrato obtuvo menores concentraciones en el tratamiento control (fase I: $17.701\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, fase II: $17.728\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), con respecto al tratamiento SBF (fase I: $76.749\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, fase II: $64.792\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), durante ambas fases experimentales. Estas concentraciones, de acuerdo con lo reportado por Martínez (2006), se encuentran fuera del límite de aceptabilidad para el cultivo de tilapia (N-NO_3^- entre 1.5 a $2\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

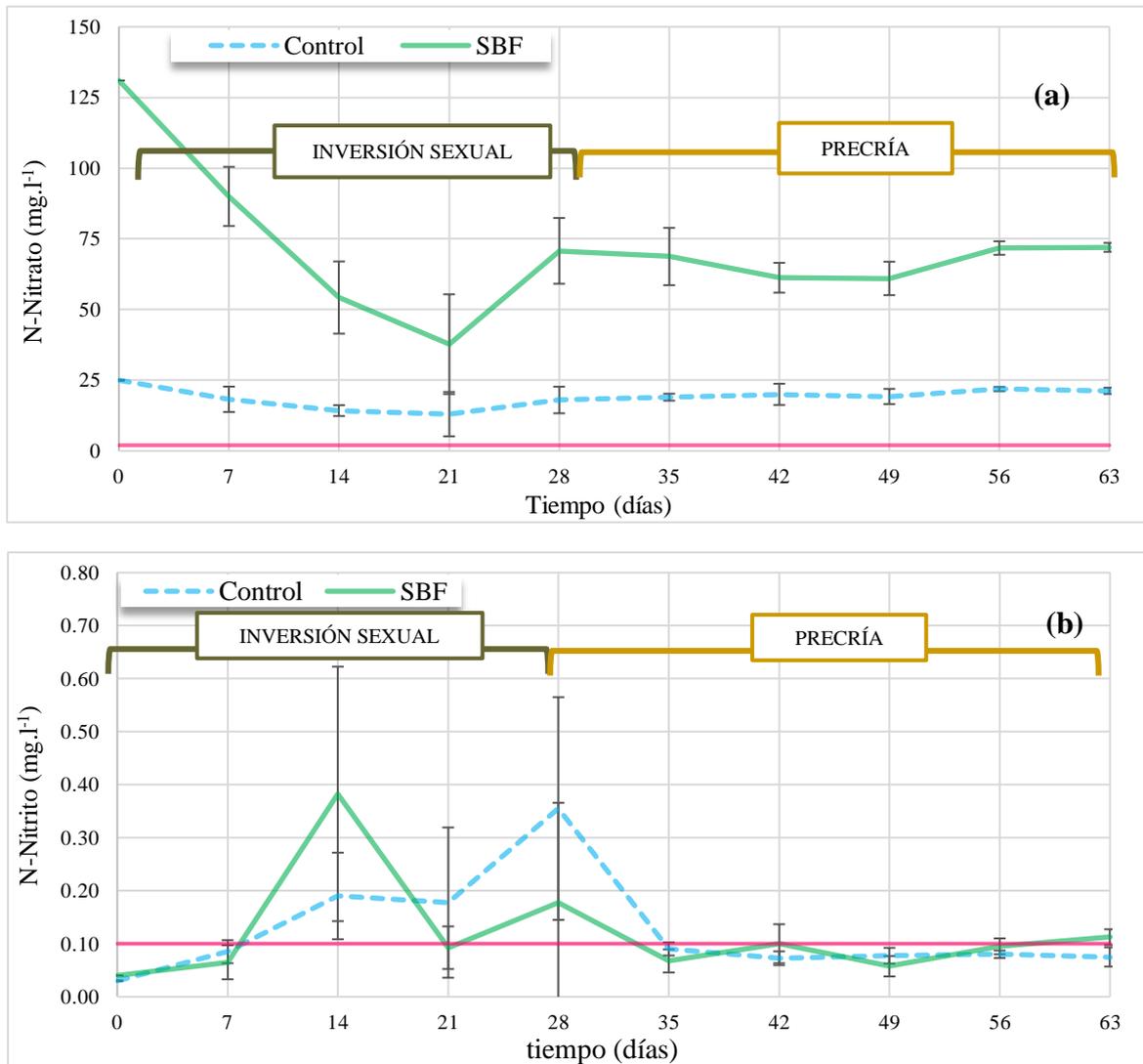


Figura 12: Promedio y desviación estándar semanal del (a) nitrato y (b) nitrito (mg.l⁻¹)

Si bien es cierto, el nitrato no tiene un efecto tóxico al presentarse en elevadas concentraciones, afecta el sistema inmune y puede inducir indirectamente a la muerte de los peces (El-Sayed, 2006), pero existen indicios que los sistemas biofloc tienden a acumular nitratos hasta concentraciones de 40 a 150 mg.l⁻¹ (Hari et al., 2006, Shnel et al., 2002), situación que fue evidenciado con nuestros resultados (Figura 12a).

Asimismo, sabiendo que la nitrificación es un proceso aeróbico y se da a concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 7 mg.l⁻¹, de acuerdo con lo evidenciado en la presente investigación y acorde a lo establecido por Wairimu et al. (2015), se estaría involucrando dos posibles pasos, los cuales serían: (i) las bacterias nitrosomonas convierten el amoníaco en nitrito y (ii) las bacterias nitrobacter terminan la conversión del nitrito a nitrato.

En la presente investigación se esperaba que la concentración de nitratos (NO_3^-) aumente con el tiempo, sin embargo, la concentración de nitrato mostró un perfil cambiante decreciente y estable hacia el final del experimento. En el tratamiento con tecnología biofloc se observan altas concentraciones de nitrato, producto del proceso de nitrificación propio de este tipo de sistema, el cual a través de las bacterias nitrificantes se transforman los compuestos nitrogenados tóxicos, como es el caso del amoníaco y del nitrito, en nitrato (Hargreaves, 2013, Timmons et al., 2002). Este proceso suele depender de la cantidad de nitrógeno del alimento ofrecido, y del proceso de nitrificación, la cual durante la primera fase tiende a disminuir desde el inicio por efecto de las bajas concentraciones de las bacterias nitrificantes.

Con respecto al compuesto nitrogenado nitrito, aun cuando no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p\text{-value}>0.05$) (tratamiento control fase I: 0.168 mg.l^{-1} , fase II: 0.079 mg.l^{-1} ; tratamiento SBF fase I: 0.151 mg.l^{-1} , fase II: 0.076 mg.l^{-1}), de acuerdo a lo observado en la figura 12b, se observa que durante los 35 primeros días resultó muy oscilante para ambos tratamientos, relacionándose directamente con el aumento de temperatura que estuvo entre los 26 y 27 °C (mes de noviembre a diciembre).

Por otro lado, el tratamiento control reportó menores concentraciones de nitritos, puesto que tienden a disminuir por efecto de los constantes recambios de agua (Avnimelech, 2007). Además de ello, al trabajar con concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto (mayor a 7 mg.l^{-1}), brindó las condiciones óptimas a las bacterias oxidativas para la formación de nitritos (Azim & Little, 2008), resultando valores por encima de la concentración óptima para el cultivo de alevines de tilapia, viéndose reflejada en la mortalidad reportada durante la fase de inversión sexual.

Por último, se sabe que las altas tasas de nitrificación ocasionan inestables concentraciones de este parámetro (Azim et al., 2008, Azim & Little, 2008) así como los alimentos con altos contenidos proteicos (Crab et al., 2009), por ello que trabajar con una dieta alimenticia cuyo contenido proteico es del 46.5 por ciento, permitió concentraciones de nitritos adecuadas para el cultivo de tilapia, de acuerdo a lo investigado por Martínez (2006) y Nirchio & Pérez (2001) (H-NO_2^- menor a 0.1 mg.l^{-1}).

4.1.7 Ortofosfatos

Las concentraciones de ortofosfatos (PO_4^{3-}) se observan en la tabla 7, evidenciando diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p\text{-value}<0.05$), reportándose menores concentraciones en el tratamiento control (fase I: 2.69 mg.l^{-1} , fase II: 1.55 mg.l^{-1}), a diferencia del tratamiento SBF (fase I: 11.66 mg.l^{-1} , fase II: 7.89 mg.l^{-1}).

En la figura 13, se observa que el tratamiento SBF reportó concentraciones máximas de 26 mg.l^{-1} durante la inversión sexual y de 12 mg.l^{-1} en la precría. La concentración máxima de ortofosfato en el tratamiento control fue alrededor de 5 mg.l^{-1} , ello evidencia que las renovaciones continuas de agua no permitieron la acumulación de este parámetro en el tratamiento control, a diferencia de lo evidenciado en el tratamiento SBF.

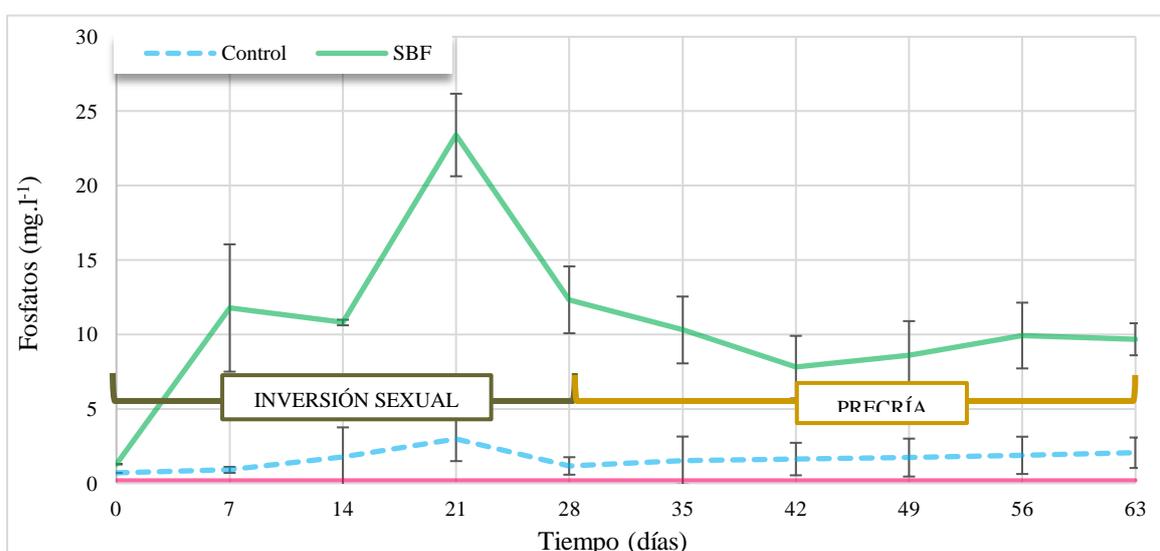


Figura 13: Promedio y desviación estándar semanal del fosfato (mg.l^{-1})

En el caso de la primera fase experimental, la dinámica del ortofosfato presentó un crecimiento promedio gradual hasta la tercera semana (de 1 a 26 mg.l^{-1}), y descendió durante la cuarta semana (a 12 mg.l^{-1}); en la segunda fase experimental se observó un ligero descenso de la cuarta semana hasta la sexta semana (de 12 a 7 mg.l^{-1}), luego de ello se dio un ligero aumento hasta finalizar la experimentación (a 10 mg.l^{-1}), resultando ser más estable las concentraciones de ortofosfato durante la fase de precría.

En el tratamiento SBF se observa que el crecimiento acelerado de las concentraciones de ortofosfato se vincula con el aumento de la densidad de los sólidos sedimentables del tratamiento SBF, los cuales se dieron desde el inicio de la experimentación hasta la tercera semana de la primera fase (SS: 9 a 24 mL.l^{-1} ; P- PO_4^{-3} : 1 a 26 mg.l^{-1}), explicándose este aumento como la formación del sistema SBF (asimismo como el crecimiento poblacional de las bacterias heterótrofas), por lo que no se daba la asimilación del ortofosfato como tal.

De la primera fase experimental se infiere que la fuente de ortofosfatos no fue empleada por los peces y fue utilizada en el crecimiento del biofloc, a través de la asimilación de este parámetro por las bacterias heterótrofas (Luo et al., 2014). Esta asimilación es observada a partir de la cuarta semana, ya que se da un descenso constante de la concentración de ortofosfato hasta el final de la segunda fase.

De acuerdo a las concentraciones máximas de ortofosfato para el crecimiento de la tilapia, Martínez (2006) establece que va desde 0.15 a 0.2 mg.l^{-1} , de los valores obtenidos, tanto el tratamiento SBF, como el control se encuentran dentro de este límite; y con respecto, a las concentraciones óptimas de ortofosfato en el cultivo superintensivo (tecnología biofloc), de acuerdo a lo reportado por Shnel et al. (2002), se encuentra entre los 60 a 70 mg.l^{-1} . Esto nos permite inferir, que el parámetro químico ortofosfato fue determinante en la producción bacteriana heterótrofa los que forman la proteína microbiana en el sistema.

4.2. Comparación del comportamiento productivo de alevines de tilapia durante la fase de inversión sexual, en sistemas con recambio de agua (Control) y con tecnología biofloc (SBF)

En la tabla 9 se presentan los promedios y desviación estándar de los parámetros productivos, tales como, peso promedio, longitud promedio, biomasa, tasas de crecimiento, supervivencia y tasa de conversión alimenticia, de los alevines de *Oreochromis niloticus* de cada tratamiento durante la fase de inversión sexual (28 días).

Tabla 9: Parámetros productivos de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual.

Parámetro	Unidad	Tratamiento		<i>p-value</i>
		Control	SBF	
Longitud inicial	mm	9.225 ± 0.078 a	9.417 ± 0.101 a	0.200
Peso promedio inicial	g	0.012 ± 0.000 a	0.012 ± 0.000 a	0.115
Biomasa inicial	g	4.667 ± 0.189 a	4.666 ± 0.377 a	0.054
Longitud final	mm	18.433 ± 0.590 a	18.983 ± 1.687 a	0.561
Peso promedio final	g	0.129 ± 0.015 a	0.128 ± 0.008 a	0.912
Biomasa final	g	20.466 ± 1.106 b	34.540 ± 8.360 a	0.016
Supervivencia*	%	40.25 ± 4.71 b	67.25 ± 14.32 a	-
Tasa de crecimiento*	g/día	0.004 ± 0.001 a	0.004 ± 0.000 a	-
Tasa de crecimiento específico*	%/día	8.623 ± 0.004 a	8.501 ± 0.002 a	-
Tasa de conversión alimenticia	-	3.424 ± 0.530 a	3.082 ± 0.689 a	-

Los datos corresponden al promedio de las 4 repeticiones de cada tratamiento ± desviación estándar.

Los resultados fueron analizados por ANOVA de una sola vía y comparados por la prueba de Tuckey (*p-value* < 0.05).

Los subíndices indican diferencias significativas.

(*) Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

En la tabla 9, la tasa de crecimiento específico (TCE) y la supervivencia, fueron transformados a través del artificio *Arco Coseno* (valor en porcentaje o centesimal), posterior a ello se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

4.2.1. Crecimiento y supervivencia

En la tabla 9 y figura 14, se observa que al final de la fase de inversión sexual no existen diferencias significativas entre el peso y la longitud de los alevines de *Oreochromis niloticus*, en ambos tratamientos (Control: 0.129 ± 0.015 g, SBF: 0.128 ± 0.009 g) ($p\text{-value} > 0.05$).

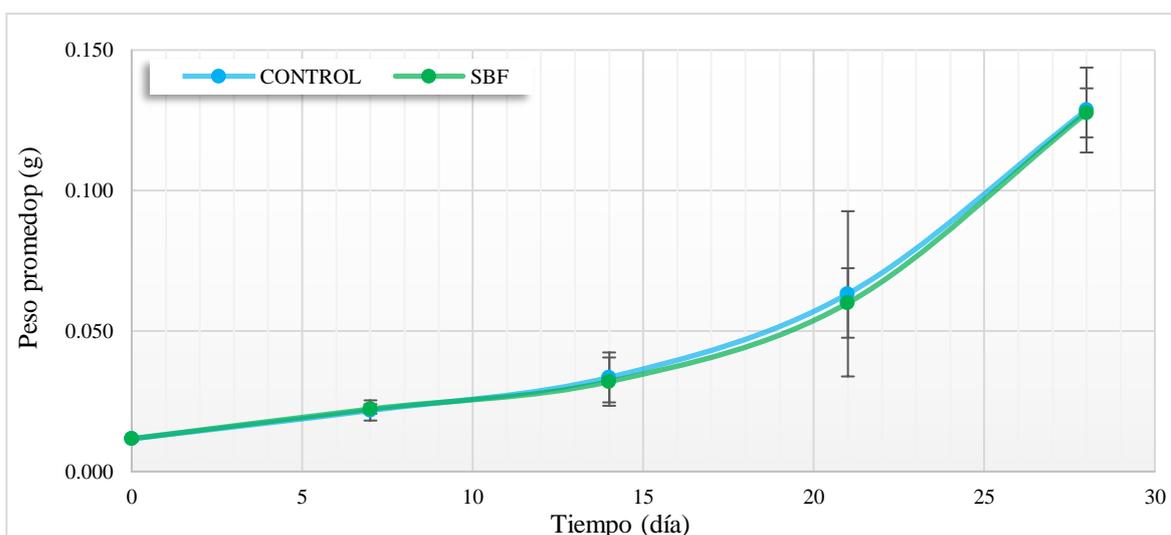


Figura 14: Curva de crecimiento de alevines *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual.

Si bien estadísticamente no se observaron diferencias significativas entre los pesos promedios de ambos tratamientos, se observa en la tabla 10, que el tratamiento SBF presentó valores de peso promedio uniformes y con menor variabilidad (C.V.) a comparación del control.

Tabla 10: Resumen estadístico del peso promedio de alevines de *Oreochromis niloticus*, en la fase de inversión sexual.

Tratamiento	Peso promedio (g)	Desviación Estándar	C.V. (%)
Control	0.129	0.015	11.73
SBF	0.128	0.009	6.97

En cuanto a lo descrito anteriormente, resultados similares fueron obtenidos por Ekasari et al. (2015), quienes no reportaron diferencias significativas en el crecimiento de larvas de tilapias cultivadas en sistemas biofloc y en sistemas con recambio de agua al 30 por ciento, indicando que ello indica que los requisitos nutricionales para el crecimiento fueron satisfechos por igual en ambos tratamientos y que el consumo adicional de biofloc, no contribuyó en el crecimiento de los alevines sino en la uniformidad de tamaños (menor variabilidad).

Aun así, se observa que durante la tercera semana de la fase de inversión sexual (Anexo 3) existieron diferencias en cuanto al peso promedio muestral obtenido (Control: 0.063 g, SBF: 0.055 g), siendo el tratamiento control ligeramente mayor con respecto al tratamiento SBF. Dicha situación se produjo por el aumento de temperatura del agua entre la segunda y tercera semana de experimentación, por encima de los 27°C, provocando el aumento del metabolismo de los alevines pertenecientes al tratamiento control, que al tener recambio de agua diario permite el aprovechamiento del alimento hormonado, así como minimizar la concentración de los compuestos nitrogenados tóxicos, a diferencia del tratamiento SBF.

Por otro lado, en la tabla 9 y figura 15 también se observan diferencias significativas en la biomasa final y la supervivencia de ambos tratamientos, respecto a ello, donde los mayores valores se presentaron en el tratamiento SBF (biomasa 34.540 g, supervivencia 67.25%), a diferencia del tratamiento control (biomasa 20.466 g, supervivencia 40.25%) ($p\text{-value}<0.05$).

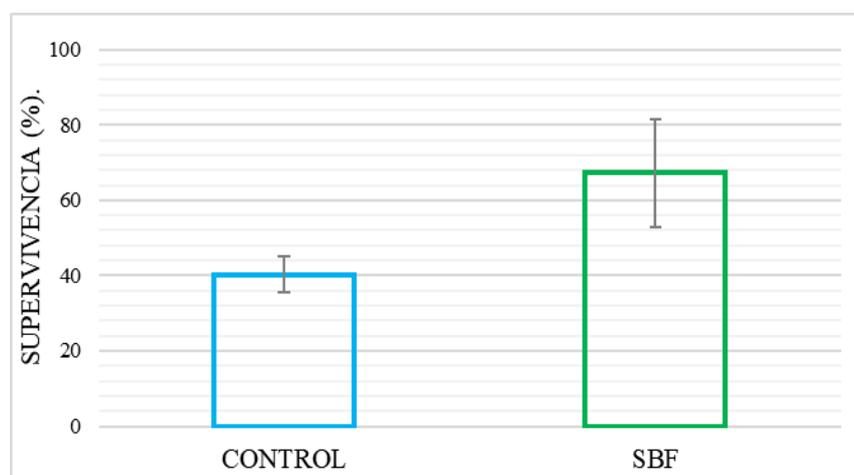


Figura 15: Supervivencia de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual.

Los resultados de la supervivencia obtenidos (figura 15), muestran una tendencia similar a la investigación realizada con larvas de bagres en sistemas biofloc, en donde se determinó que la calidad del agua se mantiene estable con esta tecnología, lo que permitió que las larvas no sean sometidas a un estrés ambiental, reflejándose en los altos valores de supervivencia de los peces (Ekasari et al., 2016). Otra de las investigaciones realizadas por Ekasari et al. (2015), reafirma lo anteriormente descrito, dado que obtuvieron supervivencias por encima del 98 por ciento en larvas de tilapia nilótica cultivadas en biofloc a relación C:N de 10 a 1, donde además reportan mayor resistencia a bacterias *Streptococcus agalactiae*.

Asimismo, En la tabla 9 y figura 16, se observa que al final de la fase de inversión sexual, tanto la tasa de crecimiento absoluta (T.C.), como la tasa de crecimiento específica (T.C.E.) no presentaron diferencias significativas en ambos tratamientos ($p\text{-value}>0.05$), resultando ser similares para ambos tratamientos (T.C.: 0.004 g.día⁻¹ y T.C.E.: 8.5%.día⁻¹),

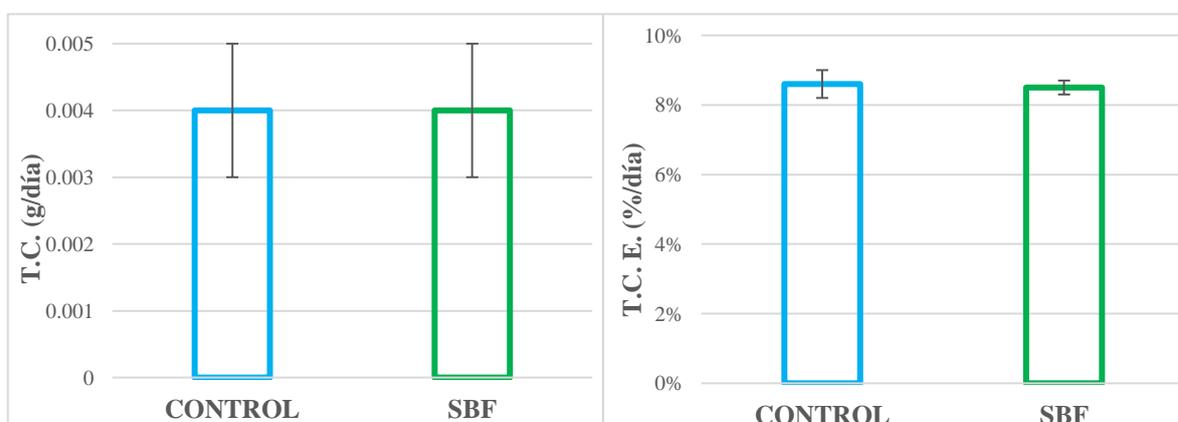


Figura 16: Tasas de crecimiento de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual.

De acuerdo con lo indicado por Azim & Little (2008), se difiere de lo obtenido por esta investigación, ya que mencionan que los peces cultivados en SBF presentaron una ganancia del 44 por ciento de peso a comparación de los sistemas convencionales en etapa de juveniles. De acuerdo con lo descrito por Abdel-Tawwab et al. (2010) y Labib & Ha (2012), los valores obtenidos en este experimento se reportan por debajo de ellos, a pesar de que trabajaron con peces cuyos pesos iniciales estaban por encima de 1 g para la inversión sexual, por efecto de la presencia de compuestos nitrogenados tóxicos, alto consumo de reservas alcalinas que permitieron una inadecuada calidad de agua en el tratamiento SBF.

Por otro lado, la baja supervivencia en el tratamiento control pudo deberse al estrés ocasionado por la renovación de agua diaria (Auro & Ocampo, 1999), el aumento de temperatura a partir del día 14 y a la alta concentración de compuestos nitrogenados tóxicos por efecto de un corte de electricidad ocurrida el día 23 de noviembre, alcanzando 59.75 por ciento de mortalidad durante esta primera fase. Esta serie de problemas que se presentan durante el cultivo de peces con estadios iniciales resultan ser difícil de controlar, llegando hasta valores del 30 por ciento de mortalidad (Popma & Green, 1990).

Adicional a los resultados obtenidos en la tabla 9, la carga de producción (kg/m^3) es un parámetro productivo que depende de la supervivencia y de la biomasa final obtenida, obteniéndose que el tratamiento SBF presentó mayor carga final ($0.115 \text{ kg}/\text{m}^3$) a comparación del tratamiento control ($0.068 \text{ kg}/\text{m}^3$) (figura 17).

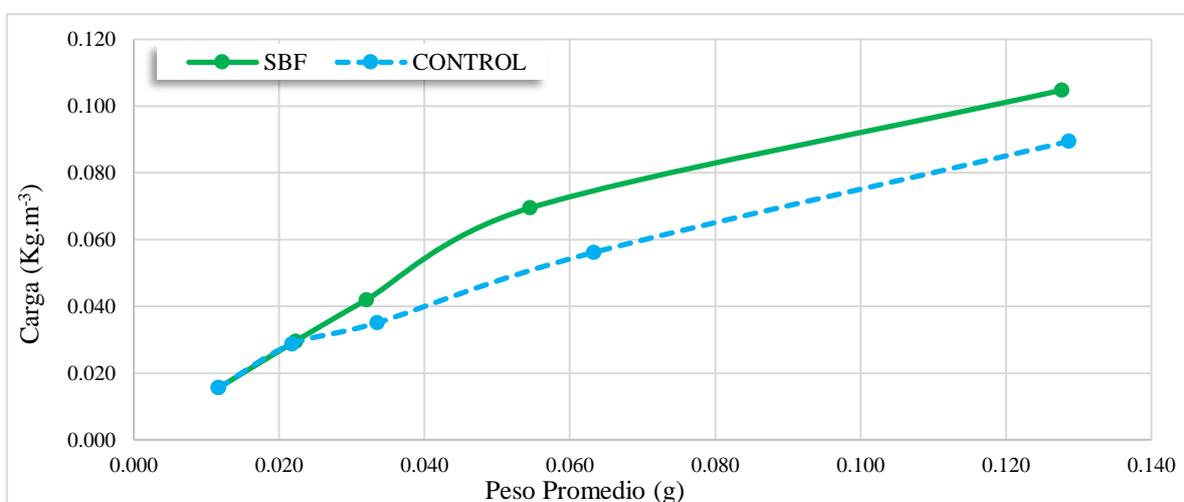


Figura 17: Relación del peso promedio (g) y la densidad de carga ($\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de los alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual

Se presentó la menor carga en el tratamiento control, por efecto de la baja supervivencia (40.25 por ciento), ofreciendo un mayor volumen de agua disponible y espacio para el crecimiento de los alevines, ayudando de este modo a compensar su peso promedio. De acuerdo con lo reportado en otras investigaciones, trabajar con bajas densidades de cultivo de alevines de tilapia ($0.01 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$), logran obtener supervivencias de hasta 95 por ciento (De Oliveira et al., 2007, Dos Santos et al., 2009); sin embargo, desaprovechar grandes volúmenes de agua y espacio conlleva a menores ganancias productivas. Es por ello, que la presente investigación, opta por trabajar con densidades altas (sistema intensivo).

Por otro lado, respecto a las longitudes finales obtenidas en los alevines de tilapia, no hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos evaluados, resultando valores promedios por encima de los 18 milímetros. En la figura 18 se observa que en el tratamiento SBF se obtuvo longitudes por encima de los 14 milímetros en el 94 por ciento de su población, similar a lo obtenido en el tratamiento control, el cual lo obtuvo en casi el 97 por ciento.

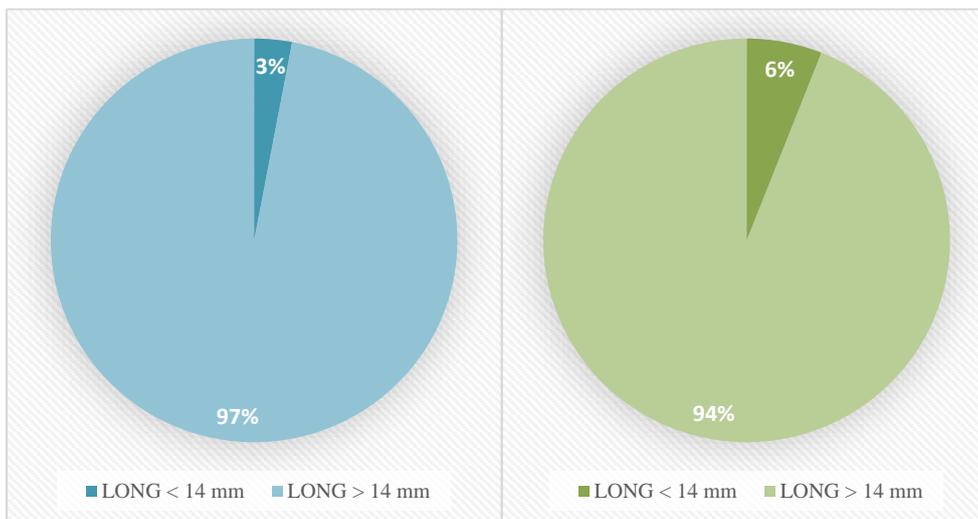


Figura 18: Porcentaje de la longitud de los alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual (der.: SBF, izq.: control)

La longitud resulta ser un parámetro determinante en esta fase, ya que de acuerdo con la investigación realizada por Popma & Green (1990), la inversión sexual se da cuando los alevines alcanzan tallas mayores a 14 mm, debido a que a partir de los 13 mm recién logran definir su diferenciación sexual, la que después de estudiar los tiempos, aproximadamente dura los primeros 28 días de cultivo con la administración de la hormona 17- α -metiltestosterona, establecido en esta experimentación.

4.2.2. Tasas de conversión alimenticia (TCA)

Los valores obtenidos de la tasa de conversión alimenticia (TCA) se muestran en la tabla 9 y en la figura 19, evidenciando que no existen diferencias significativas entre ambos tratamientos (p -value>0.05). El tratamiento control presentó valores numéricamente mayores (3.424) que el tratamiento SBF (3.082).

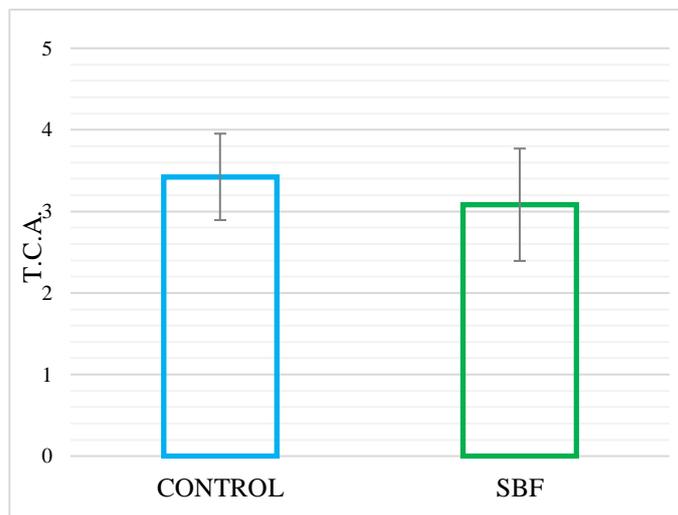


Figura 19: Tasa de conversión alimenticia del cultivo de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de inversión sexual.

Dado que la TCA es un indicador que permite determinar la relación costo-beneficio del alimento en la actividad acuícola (Ogello et al., 2014), obtener valores numéricamente menores como es en el caso del tratamiento SBF, indica tener un mayor aprovechamiento del alimento para generar un kilo corporal de los peces, por efecto de los requerimientos de los alevines y de las bacterias heterótrofas propias del sistema de cultivo (Crab et al., 2009).

Al respecto, la fisiología de la tilapia, su capacidad de filtración y debido a su hábito alimenticio omnívoro (Azim & Little, 2008), permiten su cultivo con tecnología biofloc, ya que, a través de la filtración del agua, la tilapia es capaz de absorber y aprovechar los flóculos en suspensión (Avnimelech, 2011, Lima et al., 2015).

El no presentar diferencias significativas entre ambos tratamientos también fue reportado por Crab et al. (2009), en la cual presentó valores de TCA. de 1.9, valor por debajo de lo obtenido en la presente experimentación, sin embargo, en nuestro caso se vincula a la alta tasa de alimentación con que se trabajó durante la fase de inversión sexual (30 por ciento de la biomasa total), debido a la necesidad de asegurar el consumo del alimento hormonado.

4.2.3. Análisis de la influencia del sistema con cero recambio de agua y con tecnología biofloc en la fase de inversión sexual de los alevines de *Oreochromis niloticus*

En relación con lo descrito en los ítems anteriores, durante la fase de inversión sexual se propuso cumplir con dos propósitos durante los 28 días de experimentación: (i) realización de la inversión sexual y (ii) la ganancia de peso de 0.01 g hasta 0.1 g u obtener longitudes mayores a 14 mm (Popma & Green, 1990). En este contexto y considerando el factor adicional del tipo de cultivo con tecnología biofloc, se brindaron las condiciones físicas y químicas de la calidad de agua del cultivo pese a la dinámica variante en este tipo de sistemas, obteniéndose resultados muy similares a los del tratamiento control, durante la fase de inversión sexual. Esto se discute a continuación.

En relación a la producción de sólidos sedimentables (pasar de 8.9 ml.l⁻¹ en la primera semana hasta 1.5 ml.l⁻¹ en la última semana) y considerando que la tecnología biofloc permite la presencia de compuestos bioactivos (enzimas digestivas, probióticos, antioxidantes, etc.) que influyen positivamente en el rendimiento de crecimiento, así como en la respuesta inmune de *O. niloticus* (Mirzakhani et al., 2019); permitiendo en esta fase, que la presencia del floc ocasione una mejor resistencia a los alevines de tilapia frente a la variabilidad de los parámetros de la calidad del agua.

Lo anteriormente mencionado podría explicar la tolerancia de los alevines cultivados en SBF ante las amplias oscilaciones y altas concentraciones de los compuestos nitrogenados tóxicos (figura 20), los mismos que se vinculan a la alta tasa alimenticia con la que se trabajó durante toda esta fase (30 por ciento de la biomasa total), el alto contenido proteico del alimento y a la alta tasa de excreción de nitrógeno en esta fase (aproximadamente 82 por ciento) (Avnimelech, 2006).

Asimismo, la baja relación C:N del alimento (6.72), debido a la no adición de fuentes de carbonos orgánicos, para compensar el consumo excesivo de la reserva alcalina originado por el tratamiento con tecnología biofloc (de 120 a 80 mg CaCO₃.l⁻¹), permitió la estimulación del crecimiento de las bacterias heterótrofas. Deduciendo la acumulación de los compuestos nitrogenados tóxicos por efecto de los procesos de nitrificación.

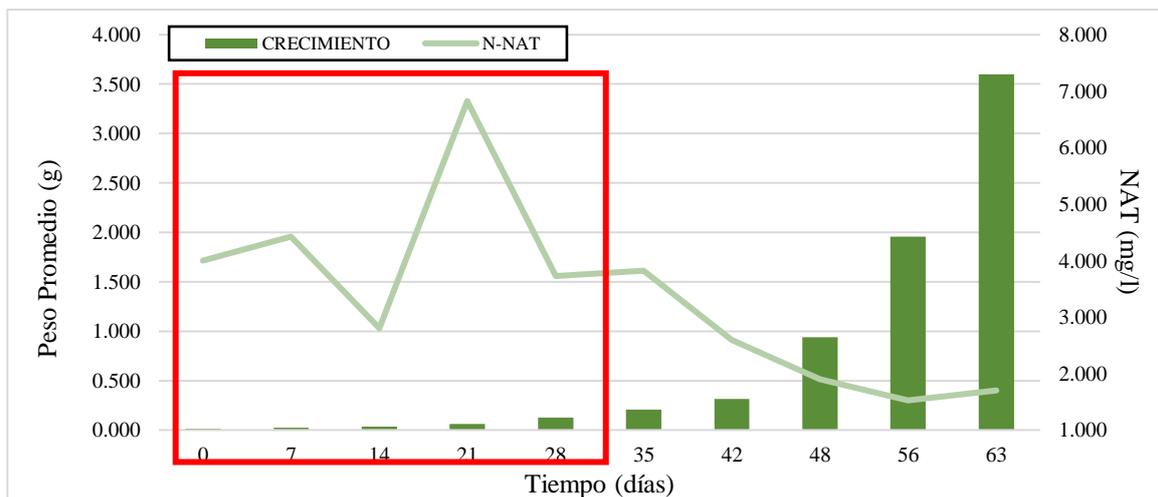


Figura 20: Relación entre el peso promedio de los alevines de tilapia y la concentración de nitrógeno amoniacal total en el tratamiento SBF

En efecto, se demuestra que al no contar con recambios de agua, así como no efectuar la adición de fuentes de carbono orgánico e inorgánico y trabajar con una tasa alimenticia elevada (30 por ciento de la biomasa total), repercutió en el inadecuado aprovechamiento del alimento balanceado por parte de los alevines, lo que conllevó a valores de tasa de conversión alimenticia por encima de 3.082, en comparación con investigaciones similares en donde se reportan valores de TCA del 1.90 (Crab et al., 2009). Sin embargo, el tratamiento SBF obtuvo numéricamente valores más bajos que el tratamiento control.

Sin embargo, e indicando que, si bien no era objetivo del presente experimento, es importante considerar otro parámetro que permita inferir si hubo aprovechamiento de la proteína microbiana en el tratamiento SBF mediante el cálculo de la Tasa de Eficiencia Proteica (TEP) de ambos tratamientos, obteniéndose en el Control: 0.63 y en el SBF: 0.69. Esto permitió relacionar la ganancia de peso que ofrece consumir una unidad de proteína (Abdel-Tawwab et al., 2010), obteniéndose que el tratamiento SBF tuvo un aprovechamiento adicional del 11 por ciento de la proteína consumida, con respecto al tratamiento control. Este consumo de floc fue corroborado por lo observado en las heces de los alevines cultivados en el SBF (Anexo 6).

Adicionalmente, es importante explicar si hubo aporte del floc, partiendo de tener como única fuente de nitrógeno al alimento balanceado (46.5 por ciento de proteína). Para ello, se

realizó el análisis proteico del floc a través del método de Kjeldahl, obteniéndose que el porcentaje promedio de proteína de los floc fue de $26.73 \pm 2.64\%$, relacionados al contenido proteico del alimento, identifica una reducción del 41 por ciento del contenido proteico del alimento que probablemente fueron transformados en proteína microbiana (floc).

Este resultado permite deducir que la asimilación del nitrógeno del alimento no se dio en su totalidad por las bacterias heterótrofas - debido a la no adición de fuentes de carbono orgánicos - sino que fue empleada para la realización de los procesos de nitrificación (bacterias autótrofas) desde la tercera semana de experimentación (día 21); además, se vincularía a los elevados factores de conversión alimenticia obtenidos durante esta fase por efecto de trabajar con una tasa alimenticia del 30 por ciento, con consecuencias como la sobrealimentación y el impacto negativo en la calidad del agua del sistema. Esto no permitió brindar el aporte de la proteína requerida en el floc para el crecimiento de los alevines de tilapia en SBF (Ramírez, 2015).

4.3. Comparación del comportamiento productivo de alevines de tilapia durante la fase de precria, en sistemas con recambio de agua (Control) y con tecnología biofloc (SBF)

En la tabla 11 se presentan los promedios y desviación estándar de los parámetros productivos, tales como, peso promedio, longitud promedio, biomasa, tasas de crecimiento, supervivencia y tasa de conversión alimenticia, de los alevines de *Oreochromis niloticus* de cada tratamiento durante la fase de precria (35 días).

Tabla 11: Parámetros productivos de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precria.

Parámetro	Unidad	Tratamiento		<i>p-value</i>
		Control	SBF	
Longitud inicial	mm	23.683 ± 0.078 a	23.017 ± 0.101 a	0.534
Peso promedio inicial	g	0.129 ± 0.012 a	0.128 ± 0.001 a	0.908
Biomasa inicial	g	13.317 ± 0.011 a	13.383 ± 0.056 a	0.347
Longitud final	mm	66.450 ± 1.424 a	59.267 ± 0.951 b	0.001
Peso promedio final	g	4.680 ± 0.565 a	3.060 ± 0.211 b	0.012
Biomasa final	g	442.700 ± 5.100 a	255.300 ± 1.682 b	0.001
Supervivencia*	%	94.67 ± 2.49 a	71.00 ± 4.08 b	-
Tasa de crecimiento*	g/día	0.130 ± 0.016 a	0.099 ± 0.006 b	-
Tasa de crecimiento específico*	%/día	10.203 ± 0.001 a	9.443 ± 0.002 b	-
Tasa de conversión alimenticia	-	1.223 ± 0.056 a	1.169 ± 0.173 a	0.052

Los datos corresponden al promedio de las 4 repeticiones de cada tratamiento ± desviación estándar.

Los resultados fueron analizados por ANOVA de una sola vía y comparados por la prueba de Tuckey (*p-value* < 0.05).

Los subíndices indican diferencias significativas.

(*) Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

En esta tabla 11 se detalla que, de los parámetros evaluados, la tasa de crecimiento específico (TCE) y la supervivencia, fueron previamente transformados a través del artificio *Arco Coseno*, dado que se trataba de valores expresados en porcentaje o centesimales, posterior a ello se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis.

4.3.1. Crecimiento y supervivencia

En la tabla 11 y figura 21, se observa que al final de la fase de precría existieron diferencias significativas entre el peso y la longitud de los alevines de *Oreochromis niloticus* procedente de ambos tratamientos (Control: 4.680 ± 0.565 g, SBF: 3.600 ± 0.211 g) ($p\text{-value} < 0.05$).

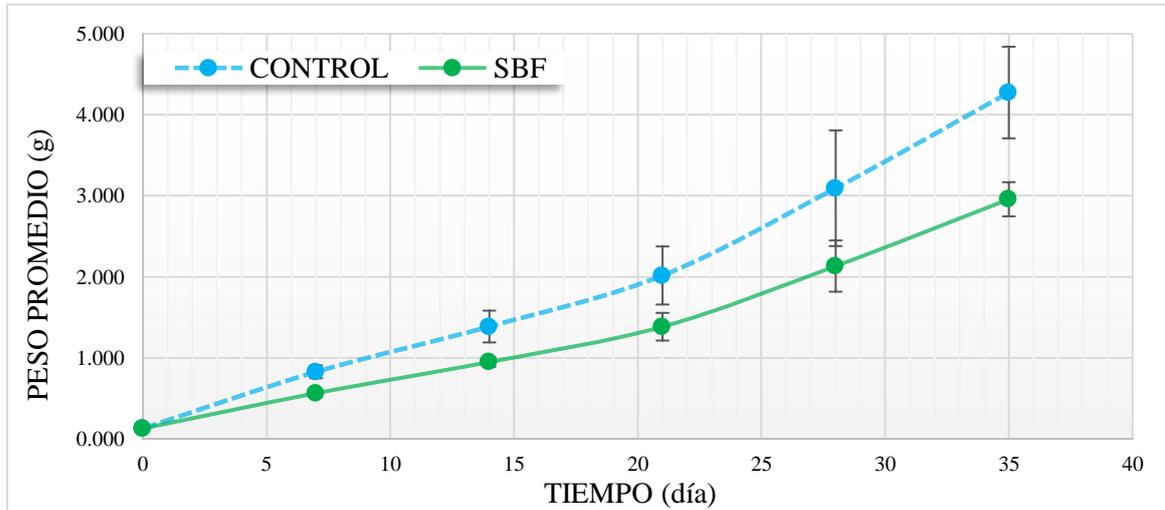


Figura 21: Curva de crecimiento de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

Además, en la figura anterior y en la tabla 12 se detalla que a partir de la segunda semana de experimentación de la fase de precría, se obtuvieron diferencias significativas en los pesos promedios semanales, resultando que el tratamiento control presentó los mejores valores desde la primera semana de esta fase.

Tabla 12: Resumen estadístico del peso promedio semanal de los alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría

Tiempo (día)	Peso promedio de cada tratamiento (g)	
	Control	SBF
0	0.129 ± 0.012 a	0.128 ± 0.001 a
7	0.399 ± 0.080 a	0.205 ± 0.047 b
14	0.878 ± 0.196 a	0.315 ± 0.060 b
21	1.528 ± 0.358 a	0.938 ± 0.171 b
28	3.266 ± 0.414 a	1.955 ± 0.206 b
35	4.680 ± 0.565 a	3.600 ± 0.211 b

La variabilidad de los datos en ambos tratamientos durante la fase de precría observadas en la tabla 13, indican al igual que la fase de inversión sexual, que el tratamiento SBF presentó valores de peso promedio uniformes y con una menor variabilidad (C.V.), que el tratamiento control.

Tabla 13: Resumen estadístico del peso promedio de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

Tratamiento	Peso Promedio (g)	Desviación Estándar	C.V. (%)
Control	4.680	0.565	12.07
SBF	3.600	0.211	5.87

Es necesario mencionar la influencia de la estacionalidad en el crecimiento de los alevines durante la etapa de precría o también llamada de levante, dado que las condiciones climatológicas fueron de verano, a diferencia de la fase antecedida de inversión sexual, la cual se llevó a cabo durante primavera e inicio de verano, resultando favorable para el crecimiento de los alevines.

Se tiene que el tratamiento control presentó valores superiores durante toda la fase de precría, en un 25 por ciento más en crecimiento (peso y longitud), a comparación del tratamiento SBF (Figura 22). Estos resultados no han sido reportados en otras investigaciones, dado que el SBF se caracteriza por ser un sistema que posee flóculos microbianos capaces de ser ingeridos durante todo el día, y contribuyendo en el crecimiento de la tilapia en estadios tempranos (Ekasari et al., 2015).

Sin embargo, considerando la forma irregular y su amplia distribución de tamaños del floc podrían ser el motivo de su no consumo en este experimento, además que al encontrarse sujeto al tamaño del alimento balanceado proporcionado (2 mm), pudo ser imperceptible por los peces, afectando de tal manera en su consumo y crecimiento (Avnimelech, 2007; Crab et al., 2009; Crab et al., 2010).

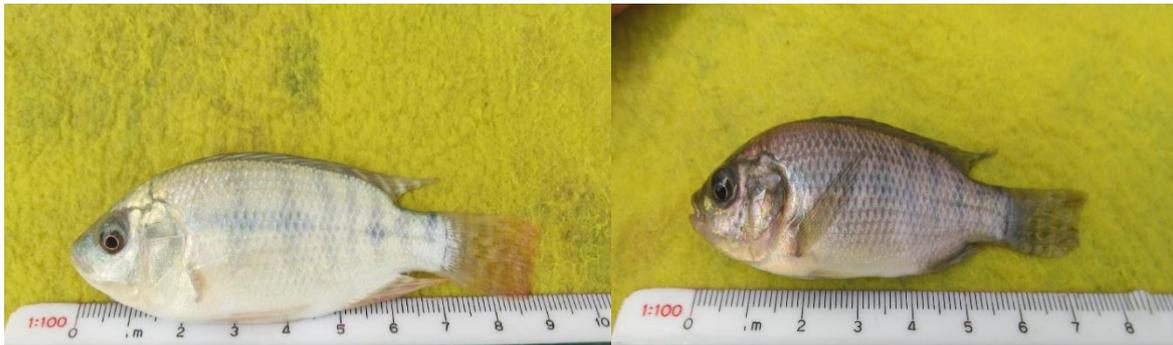


Figura 22: Alevines de *Oreochromis niloticus* del tratamiento control (izquierda) y del tratamiento SBF (derecha) al finalizar la fase de precría.

Por otro lado, según Azim & Little (2008), el cultivo de la tilapia en sistemas biofloc se ha dado con resultados favorables en el crecimiento de los peces y de los organismos heterótrofos, cuando administra alimentos balanceados con bajo contenido proteico (por debajo del 35 por ciento). Considerando ello, durante la fase de investigación, trabajar con un alimento balanceado al 46.5 por ciento de proteína y el aumento de la temperatura ambiental, probablemente ha favorecido en el aumento de compuestos nitrogenados (ver figura 11) que podrían haber retardado el crecimiento de los alevines en este tipo de tecnología. Así también, en la tabla 11 y figura 23 se observan diferencias significativas en la biomasa final y la supervivencia de ambos tratamientos, siendo los mayores valores los del tratamiento control (biomasa 442.7 g, supervivencia 94.67%), a diferencia del tratamiento SBF (biomasa 255.3 g, supervivencia 71%) ($p\text{-value}<0.05$).

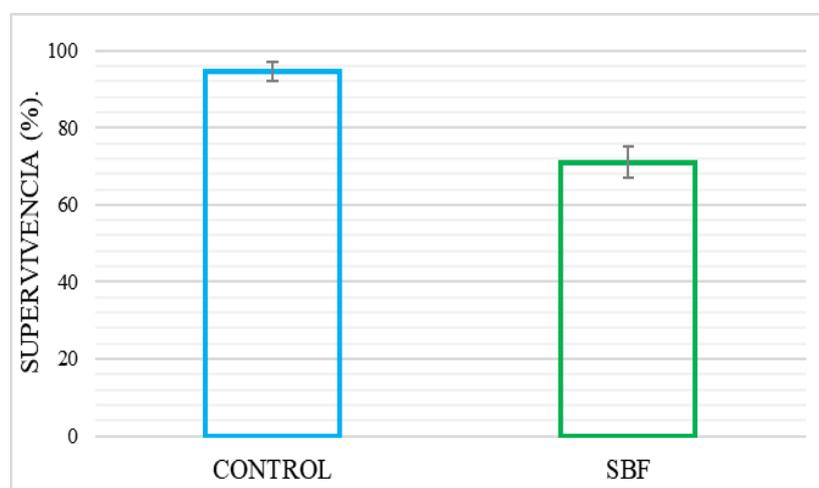


Figura 23: Supervivencia de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

La mayor supervivencia en el tratamiento control fue debido a que al existir recambio de agua diariamente, hubo menor acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos; a diferencia del tratamiento SBF, que a pesar estar acorde con los valores de los parámetros físico-químicos de la calidad del agua (De Schryver et al., 2008; Hari et al., 2006), favoreció en la acumulación de compuestos tóxicos, además de la variación del pH y la alcalinidad que probablemente estresaron e influyeron en la mortalidad de los peces en este tipo de sistemas.

Por otro lado, en la tabla 11 y figura 24, se observa que al final de la fase de precría, las tasas de crecimiento absoluta (T.C.) y específica (T.C.E.) presentan diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p\text{-value}<0.05$).

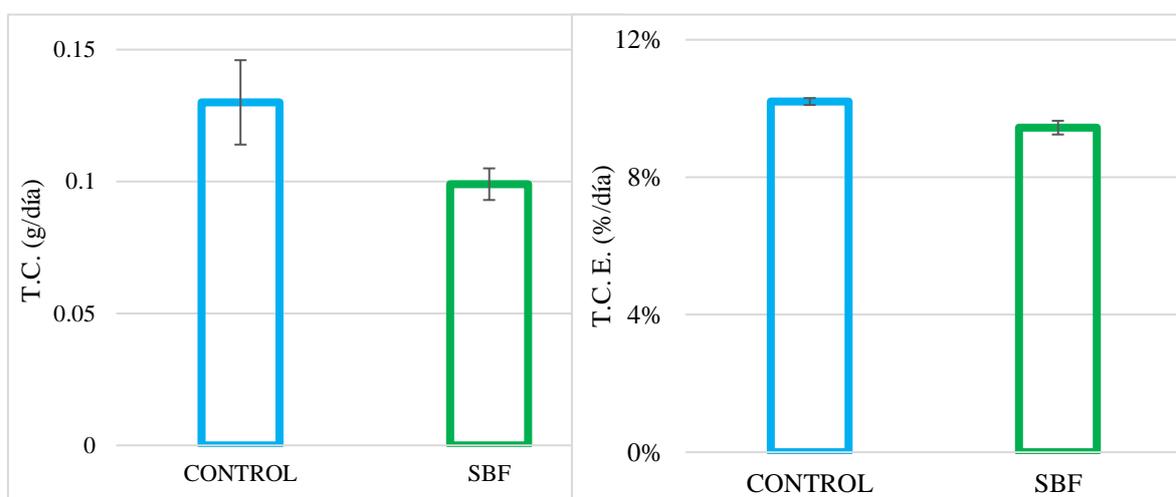


Figura 24: Tasas de crecimiento de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

Las tasas de crecimiento de la fase de precría del tratamiento SBF (T.C.: $0.099 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ y T.C.E.: $9.4\% \cdot \text{día}^{-1}$) resultan ser inferior al del tratamiento Control (T.C.: $0.130 \text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$ y T.C.E.: $10.2\% \cdot \text{día}^{-1}$). Esto se refiere a que la tecnología biofloc no siempre se logra favorecer en el crecimiento, ya que, al depender de parámetros físicos y químicos del agua, como es el caso del oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos y nitratos, entre otros, no mantener el equilibrio repercute en el estado fisiológico de los peces, tal como lo describe Pérez et al. (2016).

Asimismo, hay que considerar que estos resultados en el tratamiento biofloc se atribuye al déficit nutricional por parte de la proteína microbiana, la cual no contribuyó significativamente en el crecimiento de los peces (Ekasari et al., 2015). Por lo que los valores obtenidos para alevines cultivados en SBF resultan ser bajos a comparación de lo obtenido por Long et al. (2015), quienes reportan tasas de crecimiento específico del 9.46 por ciento en sistemas biofloc durante la etapa de alevinaje.

Por último, la carga de producción (kg/m^3) es un parámetro productivo que depende de la supervivencia y de la biomasa final obtenida en la investigación, es por ello que considerando lo descrito en la tabla 8, se obtuvo que el tratamiento control presentó mayor carga final (1.497 kg/m^3) a comparación del tratamiento control (0.872 kg/m^3) (figura 25).

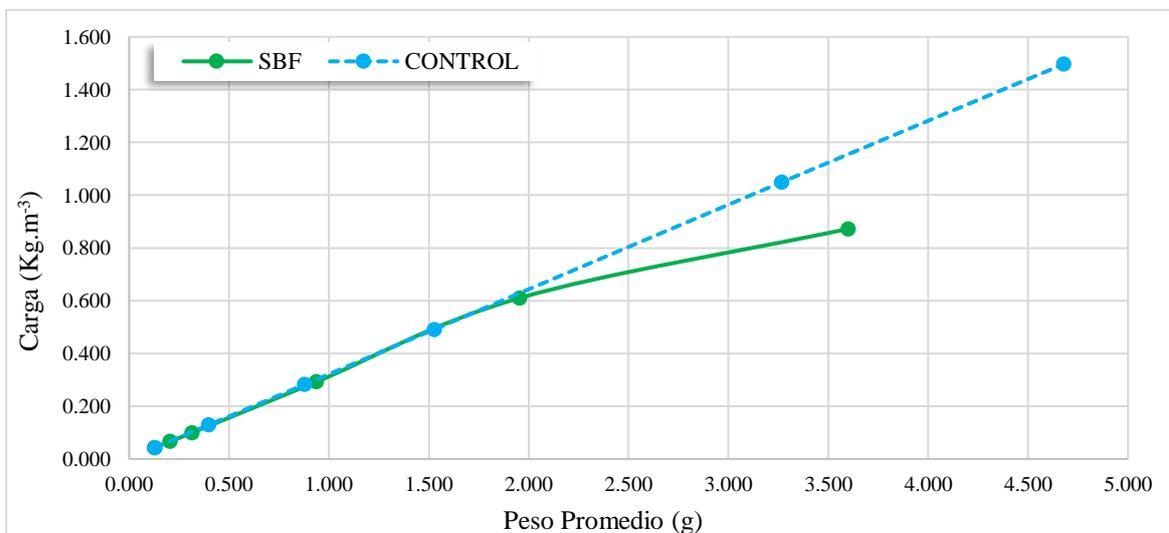


Figura 25: Relación entre el peso promedio (g) y la carga (Kg.m^{-3}) de los alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

Las curvas de dependencia entre el peso promedio y las cargas obtenidas en la fase precría, evidencia la diferencia en ambos tratamientos con respecto al crecimiento en los alevines, a pesar de que ambos tratamientos presentaron supervivencia por encima del 70 por ciento (Popma & Green 1990). Es así que las altas supervivencias en el tratamiento control (94.67%) provocaron el aumento en la carga de la biomasa durante las tres últimas semanas, favorecidas por las tasas de crecimiento (T.C: 0.130 g.día^{-1} , T.C.E: $0.102 \% \text{ día}^{-1}$); caso contrario sucedió con el tratamiento biofloc (71%), por efecto que el sistema perdió su poder buffer, por efecto de la no adición de reservas alcalinas, repercutiendo en el desequilibrio del sistema de cultivo y en la mortalidad de los alevines de tilapia durante la precría.

4.3.2. Tasa de conversión alimenticia

Los valores obtenidos de la tasa de conversión alimenticia (TCA) se muestran en la tabla 11 y en la figura 26. Se observa que no existieron diferencias significativas entre ambos tratamientos ($p\text{-value}>0.05$). Sin embargo, El tratamiento control presentó una TCA numéricamente mayor (1.223) que al tratamiento SBF (1.169).

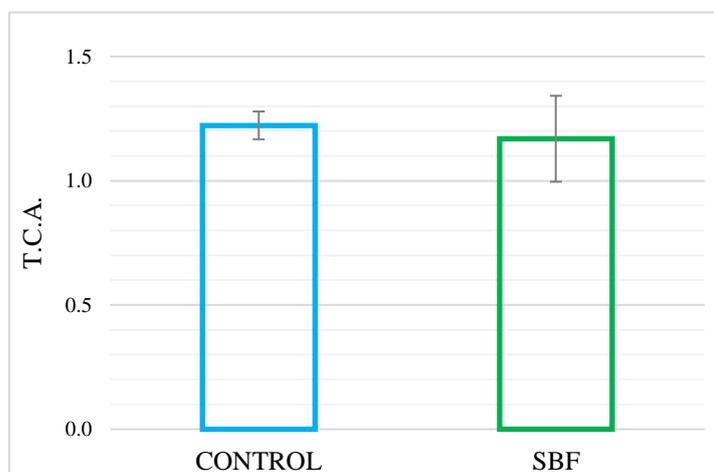


Figura 26: Tasa de conversión alimenticia del cultivo de alevines de *Oreochromis niloticus*, durante la fase de precría.

Este factor está determinado por el nivel de proteína del alimento, la calidad del alimento y la edad del pez. Es por ello que Jover et al. (1998), reportaron que, en el cultivo intensivo de alevines de tilapia, con alimentos balanceados de 25, 35 y 45 por ciento del contenido proteico, obtuvieron valores de TCA de 1.81, 1.65 y 1.49, respectivamente. Estos valores resultan ser superior a los obtenidos en el presente experimento. Asimismo, en investigaciones con tecnología biofloc, Avnimelech et al. (2008) obtuvo resultados similares obtenidos en juveniles de tilapia, pero con relación C:N de 10 a 1, incidiendo que la adición de fuentes de carbono orgánico permite garantizar el aprovechamiento del alimento a través de un óptimo manejo de la calidad de agua de este tipo de sistemas.

En ese sentido, cabe mencionar que durante la fase de precría, se presentaron valores de conversión alimenticia menores a los obtenidos en la fase de inversión sexual, y considerando que en relación con la baja supervivencia en la tecnología SBF esto deduce que el crecimiento en biomasa es menos por lo que requirió de mayor cantidad de alimento para ser convertido en proteína microbiana o que sea parte del proceso de nitrificación.

4.3.3. Análisis de la influencia del sistema con cero recambio de agua y con tecnología biofloc en la fase de precría de alevines de *Oreochromis niloticus*

Durante la fase de precría de 35 días de experimentales, se propuso llegar alrededor de los 5 g en peso promedio de los alevines de tilapia, a fin de brindarle las condiciones fisiológicas adecuadas a los alevines de tilapia (NICOVITA, 2007). A diferencia de la fase de inversión sexual, en esta fase se presentó estabilización en la dinámica de la tecnología biofloc, lo cual debió mejorar el performance productivo, sin embargo, resultó ser inferior al tratamiento control.

Entre otras cosas, la estabilización del tratamiento SBF se vio influenciada por la reducción en la tasa alimenticia durante esta fase (al 15 por ciento), lo cual permitió reducir la producción de compuestos nitrogenados disueltos (figura 20) por efecto de trabajar con una relación de C:N que resultó baja (6.72). Por otro lado, la no adición de fuente de carbono inorgánico no evidenció el crecimiento de bacterias heterótrofas, las cuales indirectamente se miden a través de los sólidos sedimentables. En este caso se experimentó una mínima y lenta velocidad de producción de sólidos sedimentables observados que pasaron de 1 ml.l⁻¹ en la primera semana hasta 0.5 ml.l⁻¹ en la última semana experimental, infiriéndose que en esta fase se dio el desplazamiento de las bacterias heterotróficas y la predominancia de las autótrofas.

De lo anteriormente mencionado, y considerando la baja producción de floc, los que como se mencionan, aportan con compuestos bioactivos, se deduce que durante la fase de precría de alevines de tilapia en el sistema SBF, influyó negativamente en el rendimiento y en la respuesta inmune, disminuyendo a su vez la resistencia de los alevines frente a los procesos de nitrificación predominantes (altas concentraciones de nitratos) que aquí se presentaron.

Es así que las bacterias nitrificantes emplearon el oxígeno disuelto en la asimilación y producción de los compuestos nitrogenados (especialmente en la acumulación del nitrato), disminuyendo las concentraciones que requiere las tilapias para su metabolismo y crecimiento; consecuentemente se observaron menores valores productivos en este tipo de tratamiento.

Al igual que en la fase anterior se consideró inferir si hubo o no el aprovechamiento de la proteína microbiana en el tratamiento SBF, por lo que mediante el cálculo de la Tasa de Eficiencia Proteica (TEP) de ambos tratamientos (Control: 1.758, SBF: 1.839), permitió relacionar la ganancia de peso que ofrece consumir una unidad de proteína (Abdel-Tawwab et al., 2010), obteniéndose que el tratamiento SBF tuvo un aprovechamiento adicional del 4 por ciento de la proteína del alimento, con respecto al tratamiento control. Por lo que efectivamente nuevamente se evidencia el consumo de la proteína microbiana, pero en menor proporción, debido a la baja producción por efecto del desplazamiento de las bacterias heterótrofas ante las autótrofas.

Asimismo, es pertinente explicar el crecimiento inferior de los alevines de tilapia en el sistema biofloc frente el aporte proteico que este brindó, teniendo como única fuente de nitrógeno exógeno al alimento balanceado (46.5 por ciento de proteína). De igual modo, se procedió a realizar el análisis proteico del floc a través del método de Kjeldahl, obteniéndose un valor promedio de proteína de $34.89 \pm 2.74\%$, lo que permite explicar que a pesar de realizar la reducción del 50 por ciento de la tasa de alimentación, existió una sobrealimentación por efecto de la alta tasa de mortalidad reportada en esta fase (29 por ciento), conllevando a tener una alta cantidad de proteína correspondiente al alimento no consumido, adicional a la proteína microbiana (*floc*)

Zapata (2016) encontró en cultivos biofloc con relación C:N de 10 a 1 con alimento del 40 por ciento de proteína, que los contenidos proteicos del *floc* resultaron mayor (40.9%) al contenido proteico del alimento, a diferencia de los contenidos proteicos del presente experimento, pudiéndose establecer que la adición de fuente de carbono orgánico no solo influye en la producción de proteína microbiana, sino también en la calidad de las bacterias heterótrofas asimiladoras y en el contenido proteico del floc. Esta hipótesis merece ser evaluada en investigaciones futuras.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones llevadas a cabo en el presente experimento, se puede concluir que:

1. Durante la fase de inversión sexual de alevines de tilapia *Oreochromis niloticus*, el sistema con tecnología biofloc (SBF) obtuvo concentraciones bajas de sólidos sedimentables (de 9 a 24 ml.l⁻¹), con variaciones máximas de alcalinidad total (hasta 35 mg CaCO₃.l⁻¹) y parámetros de calidad de agua aceptables para esta fase de cultivo; mientras que en la fase de precría, este sistema presentó mayores concentraciones de compuestos nitrogenados tóxicos (NAT y NO₂⁻) y alcalinidad total, respecto al tratamiento con recambio de agua diario (CONTROL). Esto sucedió, por efecto de no contemplar la adición de carbono orgánico (melaza) en el manejo del sistema.
2. El sistema con tecnología biofloc (SBF) proporcionó mejores valores productivos en el cultivo experimental de alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* durante la fase de inversión sexual, mientras que el sistema con recambio de agua diario (CONTROL) los obtuvo durante la fase de precría.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda:

1. En futuras investigaciones con tecnología biofloc se debe contemplar una etapa previa destinada a la preparación de los biorreactores y maduración en el sistema. Esto permitirá que a través de la adición de un inóculo procedente de uno de estos bioreactores, se asegure que la especie a cultivar no sea expuesta a situaciones extremas de cambios en la calidad del agua debidas a la estabilización del sistema, y que alteren sus procesos fisiológicos.
2. Determinar una relación Carbono:Nitrógeno (C:N) en cultivos con tecnología biofloc, para la etapa de alevinaje de *Oreochromis niloticus*, contemplando la adición de fuentes de carbono orgánico en el manejo.
3. Realizar estudios sobre la conformación de las comunidades microbianas y su contenido nutricional en los sistemas con tecnología biofloc y evaluar su aprovechamiento por los recursos cultivados.
4. Evaluar el aprovechamiento de la proteína microbiana procedente del sistema biofloc, durante estas fases de cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M., Khattab, Y., Shalaby, A. (january, 2010). Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3-4), 267-274. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.10.027

American Public Health Association. (1998). Standard methods for the examinations of the water and wastewater. (22° ed.). Washington: Clearway logistics phase

Asaduzzaman, M., Wahab, M., Verdegem, M., Azim, M., Haque, S., Salam, M. (august, 2008). C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds. *Aquaculture*, 280, 117-123. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.04.019

Auro, A., & Ocampo, L. (august, 1999). Diagnóstico del estrés en peces. *Veterinaria México*, 30 (4), 337-344. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/423/42330411.pdf>

Avnimelech, Y. (may, 1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3), 227-235. doi: 10.1016/S0044-8486(99)00085-X

Avnimelech, Y. (may, 2006). Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacultural engineering*, 34(3), 172-178. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.001

Avnimelech, Y. (april, 2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1), 140-147. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.11.025

Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc technology: a practical guidebook*. Louisiana: Baton Rouge. World Aquaculture Society.

Avnimelech, Y. (june, 2011). Tilapia production using biofloc technology (BFT). Proceedings of the 9 th International Symposium on Tilapia in Aquaculture. United States.

Avnimelech, Y., Weber, B., Hopher, B., Milstein, A., Zorn, M. (october, 1986). Studies in circulated fishponds: organic matter recycling and nitrogen transformation. *Aquaculture Research*, 17(4), 231-242. doi: 10.1111/j.1365-2109.1986.tb00109.x

Avnimelech, Y., & Ritvo, G. (april, 2003). Shrimp and fishpond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220(1), 549-567. doi: 10.1016/S0044-8486(02)00641-5

Avnimelech, Y., Verdegem, M., Keshavanath, P., Kurup, M. (january, 2008). Sustainable land-based aquaculture: rational utilization of water land and feed resources. *Mediterranean Aquaculture Journal*, 1(1), 45-55. Recuperado de https://journals.ekb.eg/article_2663_c087a0e3a15a76be1cef12f4424b104e.pdf

Avnimelech, Y., & Kochba, M. (january, 2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using ¹⁵N tracing. *Aquaculture*, 287(1), 163-168. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.10.009

Azim, M., Little, D., Bron, J. (june, 2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99(9), 3590-3599. doi: 10.1016/j.biortech.2007.07.063

Azim, M., & Little, D. (october, 2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1), 29-35. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.06.036

Baltazar, P. (julio, 2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista Peruana de Biología*, 13(3), 267-273. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n3/v13n03a22.pdf>

Boyd, C. (february, 1998). Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering*, 18(1), 9-40. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.3470&rep=rep1&type=pdf>

Burford, M., Thompson, P., Mcintosh, R., Bauman, R., Pearson, D. (april, 2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219(1), 393-411. doi: 10.1016/S0044-8486(02)00575-6

Castro, R., De La Paz, J., Aguilar, G. (marzo, 2004). Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis sp.*) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca, México. *Revista AquaTIC*, 20, 38-43. Recuperado de <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=172>

Cedano, M., Lujan, A., Suárez, H. (julio, 2013). Crianza de *Oreochromis niloticus* chitralada en sistema biofloc en la Empresa PRODUMAR SA, Guayaquil. *REBIOLEST*, 1(2), 79-91. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/481/459>

Choo, H., & Caipang, C. (june, 2015). Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *AAFL Bioflux*, 8(3), 362-366. Recuperado de <http://bioflux.com.ro/docs/2015.362-366.pdf>

Collazos, L., & Arias, J. (june, 2015). Fundamentals of bioflocs technology (BFT). An alternative for fish farming in Colombia: A review. *Orinoquia*, 19(1), 77-86. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/317498759_Fundamentals_of_bioflocs_technology_BFT_An_alternative_for_fish_farming_in_Colombia_A_review

Costa, A., & Fróes, R. (2012). Manual Técnico: Produção de tilápias. Programa Rio Rural, 31, 52p. Recuperado de http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/31_Producao_de_Tilapias.pdf

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. (september, 2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1), 1-14. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006

Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y. (may, 2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 40(3), 105-112. doi: 10.1016/j.aquaeng.2008.12.004

De Oliveira, E., Santos, F., Pereira, A., Lima, C. (dezembro, 2007). Produção de tilápia: mercado, espécie, biologia e recria. Embrapa Meio-Norte. PiauÍ: Circular Técnica.

De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. (june, 2008). The basics of bio-flocs technology: the added value for Aquaculture. *Aquaculture*, 277(3),125-137. doi: 10.1016/j.aquaculture.2008.02.019

Díaz, C., Medina, A., Villamizar, A., Palencia, D. (junio, 2014). Efecto de un suplemento líquido a base de *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus casei* para la alimentación de mojarra roja (*Oreochromis sp*) en etapa de alevinaje y precria. *ALIMENTECH ciencia y tecnología alimentaria*, 12 (1), 86-92. doi: 10.24054/16927125.v1.n1.2014.1335

Dinesh, R., George, M., John, R., Abraham, S. (february, 2017). A worldwide menace to tilapiine aquaculture. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(2), 605-607. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Riji_Kollanoor/publication/318960342_TiLV_-_A_Worldwide_Menace_to_Tilapiine_Aquaculture/links/59bf73d70f7e9b48a29ab9d4/TiLV-A-Worldwide-Menace-to-Tilapiine-Aquaculture.pdf

Dos Santos, E., Almeida, M., Mota, S., Dantas, M., Medeiros, M. (junho, 2009). Crescimento e qualidade dos alevinos de tilápia do Nilo produzidos em esgoto doméstico tratado. *Revista Ciência Agronômica*, 40(2), 232-239. Recuperado de <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/516/334>

Ebeling, J., Timmons, M., Bisogni, J. (june, 2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1), 346-358. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019

Ekasari, J., Crab, R., Verstraete, W. (september, 2010). Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 17(3), 125-130. doi: 10.4308/hjb.17.3.125

Ekasari, J., Rivandi, D., Firdausi, A., Surawidjaja, E., Zairin, M., Bossier, P., De Schryver, P. (april, 2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441, 72-77. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.019

El Sayed, A. (april, 2006). *Tilapia culture*. Egypt: CABI.

El Sayed, A., El Sayeda, H., Aziz, A., Heba, M. (august, 2012). Effects of phytoestrogens on sex reversal of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae fed diets treated with 17 α -Methyltestosterone. *Aquaculture*, 360–361, 58–63. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.07.010

Emerenciano, M., Cuzon, G., Goguenheim, J., Gaxiola, G. (november, 2011). Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture Research*, 44(1), 75-85. Doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x

Espejo, C. (2012). Manejo industrial de las tilapias: Un inicio en el biofloc. (En línea). Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/download/1531/1871>.

Fávero, G., Barros, C., Nunez, J. (agosto, 2010). *Produção de Tilápias em Tanques-Rede*. Faculdades Associadas de Uberaba. Recuperado de <https://www.doccity.com/pt/producao-de-tilapias-em-tanques-rede/4770359/>

Flores, M. (2013). Comparación de la sobrevivencia, incremento en longitud y ganancia de peso en alevines de tilapia roja con densidades de 0.75, 1.50, 3.00 y 6.00/L en hapas (Tesis de Pregrado). Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Recuperada de https://pdfs.semanticscholar.org/23e8/c704cda8c19046cf00e555961eabd0bd2c4d.pdf?_ga=2.47801895.140170563.1599770342-1868533747.1599770342

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2004). *Manual de cultivo de Tilapia*. Lima: Ministerio de la Producción

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *The state of world fisheries and aquaculture: contributing to food security and nutrition for all*. Roma

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Fisheries global information system: Fisheries and Aquaculture Department. Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Fisheries global information system: Fisheries and Aquaculture Department. Roma

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). The state of world fisheries and aquaculture: contributing to food security and nutrition for all. Roma

Gómez, M., Granados, K., Padilla, C., López, M., Núñez, G. (junio, 2011). Edad y crecimiento del híbrido de tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) en la represa “Zimapán” Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 761-770. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n2/a18v59n2.pdf>

Green, B., Boyd, C. (april, 2007). Chemical budgets for organically fertilized fishponds in the dry tropics. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26(3), 284-296. doi: 10.1111/j.1749-7345.1995.tb00257.x

Hanley, F. (april, 1991). Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 93(4), 323-334. Doi: 10.1016/0044-8486(91)90224-U

Hanson, T., Posadas, B., Samocha, T., Stokes, A., Losordo, T., Browdy, C. (january, 2009). Economic factors critical to the profitability of super-intensive biofloc recirculating shrimp production systems for marine shrimp *Litopenaeus vannamei*. World Aquaculture Society. Louisiana: Baton Rouge

Hargreaves, J. (april, 2006). Photosynthetic suspended growth systems in Aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 344-363. doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.08.009

Hargreaves, J. (april, 2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center, N° 4503.

Hargrove, L., Westerman, P., Losordo, T. (may, 1996). Nitrification in three-stage and single-stage floating bead biofilters in a laboratory-scale recirculating aquaculture system. *Aquacultural engineering*, 15(1), 67-80. doi: 10.1016/0144-8609(95)00020-F

Hari, B., Kurup, B., Varghese, J., Schrama, J., Verdegem, M. (march, 2006). The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, 252(2), 248-263. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.06.044

Jones, C. (2002). Age and growth. In: *The unique contributions of early life stages*. New York: Fishery Science

Jover, M., Zaragoza, L., Igualada, L., Carmona, J. (julio, 1998). Crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*) con piensos extruidos de diferente nivel proteico. *Archivos de zootecnia*. 47(177): 2. Recuperado de <https://docplayer.es/54139444-Crecimiento-de-tilapias-oreochromis-niloticus-l-con-piensos-extrusionados-de-diferente-nivel-proteico.html>

Kubitza, F. (junho, 1998). Qualidade da água na produção de peixes - Parte III. Panorama da Aquicultura, 8(45), 35-43. Recuperado de <https://panoramadaaquicultura.com.br/qualidade-da-agua-na-producao-de-peixes-parte-iii-final/>

Kubitza, F. (junho, 1999). Nutrição e Alimentação de Tilápias - Parte II. Panorama da Aquicultura, 9(53), 41-48. Recuperado de <https://panoramadaaquicultura.com.br/nutricao-e-alimentacao-de-tilapias-parte-ii-final/>

Labib, E., Ha, M. (july, 2012). Nutritional studies on partial and total replacement of fishmeal by jojoba meal (*Simmondsia chinensis*) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings diets. *APCBEE Procedia*, 4, 196-203. doi: 10.1016/j.apcbee.2012.11.033

Lima, E., Souza, R., Wambach, X., Silva, U., Correia, E. (dezembro, 2015). Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos com diferentes densidades. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 16(4), 948-957. doi: 10.1590/S1519-99402015000400018.

Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., Wu, F. (november, 2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448(1), 135-141. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.05.017

López, J., Moreno, A., Miranda, A., Martínez, L., Rivas, M., Márquez, E. (january, 2015). Proximate Composition of Bioflocs in Culture Systems Containing Hybrid Red Tilapia Fed Diets with Varying Levels of Vegetable Meal Inclusion. *North American Journal of Aquaculture*, 77(1), 102-109. doi: 10.1080/15222055.2014.963767

Luchini, L. (2006). Tilapia: su cultivo y sistemas de producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Argentina: Panorama Acuícola

Luo, G., Avnimelech, Y., Pan, Y., Tan, H. (january, 2013). Inorganic nitrogen dynamics in sequencing Batch reactors using biofloc technology to treat aquaculture sludge. *Aquacultural Engineering*, 52, 73-79. doi: 10.1016/j.aquaeng.2012.09.003

Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., Tan, H. (february, 2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422-423, 1-7. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.11.023

Martínez, M. (2006). Manejo Del cultivo de tilapia. Nicaragua: BIDEAUSAID

Martin, C., Scharma, J., Verreth, J. (june, 2005). Inherent variation in growth efficiency of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) juveniles. *Aquaculture Research*, 36(9), 868–875. doi: 10.1111/j.1365-2109.2005.01295.x

Martins, C., Ochola, D., Ende, S., Eding, E., Verreth, J. (december, 2009). Is growth retardation present in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in low water exchange recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 298(1), 43-50. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.09.030

Mejía, C. (2014). Dinámica del nitrógeno en bioreactores de un sistema de producción de alevinos machos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con tecnología biofloc (Tesis de Pregrado). Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1917>

Ministerio de Producción. (2019). Estadística de Pesca y Acuicultura del Perú. Lima

Mirzakhania, N., Ebrahimia, E., Hossein, S., Ekasari, J. (october, 2019). Growth performance, intestinal morphology, and nonspecific immunity response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry cultured in biofloc systems with different carbon sources and input C:N ratios. *Aquaculture*, 512, 734235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734235>

Monroy, M., Lara, D., Castro, J., Castro, G., Emerenciano, M. (diciembre, 2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3), 511-520. Doi: 10.4067/S0718-19572013000300009

Moscoso, C. (julio, 2001). Producción de alevinos revertidos de Tilapia. Workshop International de Tilapia. Tarapoto

Nahar, A., Siddik, B., Chaklader, R., Hanif, A., Sharker, R., Rahman, M. (april, 2015). Biofloc Technology in Aquaculture Systems Generates Higher Income in Mono-Sex Nile Tilapia Farming in Bangladesh. *Advances in Biological Research*, 9(4), 236-241. doi: 10.5829/idosi.abr.2015.9.93142

Nicovita. (2007). Manual de crianza de tilapia. Callao

Nirchio, M., & Pérez, J. (january, 2001). Riesgos del cultivo de tilapias en Venezuela. *Interciencia*, 27(1), 39-44. Reportado de https://www.researchgate.net/publication/233808760_Riesgos_del_cultivo_de_tilapias_en_Venezuela

Nogueira, A. (2003). Aspectos da Biologia Reprodutiva e Padrões de Crescimento da Tilápia *Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758, (Linhagem Chitralada) em Cultivos Experimentais (Teses de Maestria). Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura da Universidade Rural Federal de Pernambuco. Pernambuco. Recuperado de <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/6236>

Ogello, E., Musa, S., Mulanda, C., Abwao, J., Mbonge, J. (january, 2014). An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc Technology: A review. *International Journal of Aquatic Science*, 5(1), 21-39. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/259617878_An_Appraisal_of_the_Feasibility_of_Tilapia_Production_in_Ponds_Using_Biofloc_Technology_A_review

Pérez, J., Hernández, M., Pérez, C., Fogel, I. (february, 2016). C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, 452, 247-251. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.010

Popma, T., & Green, W. (1990). Reversión sexual de tilapia en estanques de tierra. Alabama: Internationals Center for Aquaculture.

Ramírez, S. (2015). Evaluación de la inversión sexual de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) con tecnología biofloc (Tesis de Pregrado). Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1922>

Ray, J., Seaborn, G., Leffler, J., Wilde, S., Lawson, A., Browdy, C. (december, 2010). Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 310(1), 130-138. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.10.019

Ricker, W. 1979. Growth rates and models. *Fish Physiology*, 8(1), 677-743. Recuperado de [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=903961](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=903961)

Ruiz, J., Tapia, R., García, J., González, H. (noviembre, 2006). Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. Revista Electrónica de Veterinaria, 7(11). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612653020>

Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., Van Rijn, J. (august, 2002). Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. Aquacultural Engineering. 26(3): 191-203. doi: 10.1016/S0144-8609(02)00013-4

Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S., Vinci, B. (2002). Recirculating aquaculture systems. (2° Ed.) EE.UU.: NRAC Publication.

Wairimu, E., Kobingi, V., Maroko, N. (may, 2015). Production of aerobic, anaerobic, and anoxic bioflocs from tilapia sludge. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 2(5), 347-352. Recuperado de <http://www.fisheriesjournal.com/vol2issue5/Pdf/2-3-1.1.pdf>

Widanarni., Ekasari, J., Maryam, S. (june, 2012). Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis sp.* cultured at different stocking densities. HAYATI Journal of Biosciences, 19(2), 73-80. doi: 10.4308/hjb.19.2.73

Zapata, K. (2016). Retención proteica y lipídica corporal de juveniles de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) cultivados en sistemas biofloc a diferentes relaciones C:N (Tesis de Maestría). Postgrado en Acuicultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2753>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Concentraciones de Bicarbonato de sodio (g) a adicionar para corregir la alcalinidad, al inicio de cada fase experimental.

Volumen del sistema		Dosificación de bicarbonato de sodio NaHCO ₃ (g)										
		Incremento de alcalinidad (mg CaCO ₃ .l ⁻¹)										
(Galones)	(Litros)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200
10	38	<1	1	2	3	3	4	5	5	6	6	15
20	76	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	25
30	114	2	4	6	8	10	11	13	15	15	20	40
40	151	3	5	8	10	13	15	20	20	25	25	50
50	189	3	6	10	13	15	20	25	25	30	30	65
60	227	4	8	11	15	20	20	25	30	35	40	65
70	265	5	9	13	20	20	25	30	35	40	45	90
80	303	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100
90	341	6	11	15	25	30	35	40	45	50	55	110
100	379	6	13	20	25	30	40	45	50	55	65	130
200	757	13	25	40	50	65	75	90	100	110	130	250
300	1136	20	40	55	75	95	110	130	150	170	190	380
400	1514	25	50	75	100	130	150	180	200	220	260	510
500	1893	30	65	95	130	160	190	220	260	280	320	640
600	2271	40	75	110	150	190	220	260	300	340	380	760
700	2650	45	90	130	180	220	260	320	360	400	450	890
800	3028	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	1020
900	3407	60	110	170	220	280	340	400	450	500	550	1150
1000	3785	65	130	190	250	300	400	450	500	550	600	1270

Fuente: Loyless y Malone (1997), citado en Mejía (2014).

Anexo 2: Porcentaje de amonio no ionizado en agua dulce a diferentes valores de pH y los valores promedios de N-NH₃, N-NH₄⁺ y NAT en mg.l⁻¹, de la experimentación.

Temperatura (°C)	pH								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
0	0,0083	0,0261	0,0826	0,261	0,820	2,55	7,64	20,7	45,3
1	0,0089	0,0284	0,0898	0,284	0,891	2,77	8,25	22,1	47,3
2	0,0097	0,0309	0,0977	0,308	0,968	3,00	8,90	23,6	49,4
3	0,0106	0,0336	0,106	0,335	1,05	3,25	9,60	25,1	51,5
4	0,0115	0,0364	0,115	0,363	1,14	3,25	10,3	26,7	53,5
5	0,0125	0,0395	0,125	0,394	1,23	3,80	11,1	28,3	55,6
6	0,0136	0,0429	0,135	0,427	1,34	4,11	11,9	30,0	57,6
7	0,0147	0,0464	0,147	0,462	1,45	4,44	12,8	31,7	59,5
8	0,0159	0,0503	0,159	0,501	1,57	4,79	13,7	33,5	61,4
9	0,0172	0,0544	0,172	0,542	1,69	5,16	14,7	35,3	63,3
10	0,0186	0,0589	0,186	0,586	1,83	5,56	15,7	37,1	65,1
11	0,0201	0,0637	0,201	0,633	1,97	5,99	16,8	38,9	66,8
12	0,0218	0,0688	0,217	0,684	2,13	6,44	17,9	40,8	68,5
13	0,0235	0,0743	0,235	0,738	2,30	6,92	19,0	42,6	70,2
14	0,0254	0,0802	0,253	0,796	2,48	7,43	20,2	44,5	71,7
15	0,0274	0,0865	0,273	0,859	2,67	7,97	21,5	46,4	73,3
16	0,0295	0,0933	0,294	0,925	2,87	8,54	22,8	48,3	74,7
17	0,0318	0,101	0,317	0,996	3,08	9,14	24,1	50,2	76,1
18	0,0343	0,108	0,342	1,07	3,31	9,78	25,5	52,0	77,4
19	0,0369	0,117	0,368	1,15	3,56	10,5	27,0	53,9	78,7
20	0,0397	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	28,4	55,7	79,9
21	0,0427	0,135	0,425	1,33	4,10	11,9	29,9	57,5	81,0
22	0,0459	0,145	0,457	1,43	4,39	12,7	31,5	59,2	82,1
23	0,0493	0,156	0,491	1,54	4,70	13,5	33,0	60,9	83,2
24	0,0530	0,167	0,527	1,65	5,03	14,4	34,6	62,6	84,1
25	0,0569	0,180	0,566	1,77	5,38	15,3	36,3	64,3	85,1
26	0,0610	0,193	0,607	1,89	5,75	16,2	37,9	65,9	85,9
27	0,0654	0,207	0,651	2,03	6,15	17,2	39,6	67,4	86,8
28	0,0701	0,221	0,697	2,17	6,56	18,2	41,2	68,9	87,5
29	0,0752	0,237	0,747	2,32	7,00	19,2	42,9	70,4	88,3
30	0,0805	0,254	0,799	2,48	7,46	20,3	44,6	71,8	89,0

Fuente: Emerson et al. (1975).

Anexo 3: Parámetros productivos de crecimiento de alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* durante la fase de inversión sexual.

Parámetro	Control					SBF				
	0	7	14	21	29	0	7	14	21	29
Supervivencia (%)	100	-	-	-	40.25	100	-	-	-	67.25
Longitud promedio (mm)	9.43	11.33	13.16	14.75	18.43	9.46	11.46	12.350	15.88	18.98
Peso promedio (g)	0.012	0.022	0.033	0.063	0.129	0.012	0.022	0.032	0.055	0.128
Biomasa (g)	4.67	-	-	-	20.47	4.67	-	-	-	34.54
Tasa de crecimiento (g/día)	-	-	-	-	0.004	-	-	-	-	0.004
Tasa de crecimiento específico (%/día)	-	-	-	-	0.086	-	-	-	-	0.085
Tasa de conversión alimenticia (g alimento/ g peso)	-	-	-	-	3.424	-	-	-	-	3.082

Anexo 4: Parámetros productivos de crecimiento de alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* durante la fase de precría.

Parámetro	Control						SBF					
	0	7	14	21	29	35	0	7	14	21	29	35
Supervivencia (%)	100	-	-	-	-	94.67	100	-	-	-	-	71.00
Longitud promedio (mm)	23.683	28.913	36.838	44.913	58.344	66.450	23.017	24.525	25.913	35.975	47.606	59.267
Peso promedio (g)	0.129	0.399	0.878	1.528	3.266	4.680	0.128	0.205	0.315	0.938	1.955	3.060
Biomasa (g)	13.317	-	-	-	-	442.7	13.383	-	-	-	-	255.3
Tasa de crecimiento (g/día)	-	-	-	-	-	0.130	-	-	-	-	-	0.099
Tasa de crecimiento específico (%/día)	-	-	-	-	-	0.102	-	-	-	-	-	0.094
Tasa de conversión alimenticia (g alimento/ g peso)	-	-	-	-	-	1.223	-	-	-	-	-	1.169

Anexo 5: Contenido proteico del floc del tratamiento SBF en la fase de inversión sexual y precría.

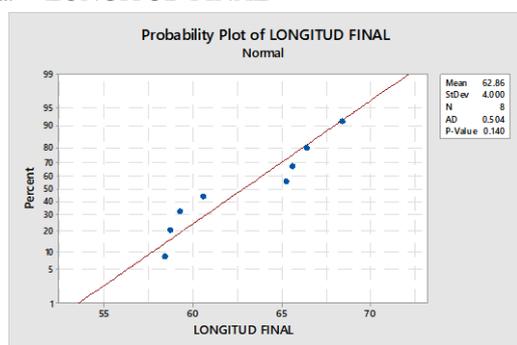
Fase	Nº repetición	% Nitrógeno	% Proteína (%N x 6.25)
Inversión sexual	8	4.28 ± 0.42	26.73 ± 2.64
Precría	8	5.58 ± 0.44	34.89 ± 2.74

Anexo 6: Fotografía de heces con presencia de consumo de alimento balanceado y floc.



Anexo 7: Análisis estadístico de los parámetros productivos de la experimentación.

a. LONGITUD FINAL



La variable productiva Longitud Final, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: LONGITUD FINAL versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	103.201	103.201	70.43	0.000

Error	6	8.792	1.465
Total	7	111.992	

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.21049	92.15%	90.84%	86.04%

Means

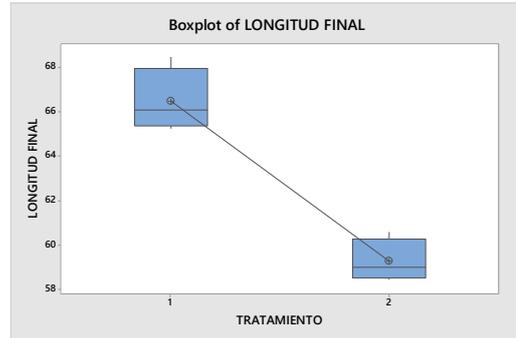
TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	66.450	1.424	(64.969; 67.931)
2	4	59.267	0.951	(57.786; 60.748)

Pooled StDev = 1.21049

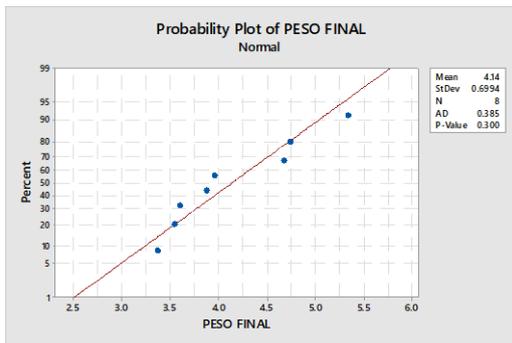
Tukey Pairwise Comparisons

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	66.450	A
2	4	59.267	B

Means that do not share a letter are significantly different.



b. PESO FINAL



La variable productiva Peso Final, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: PESO FINAL versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	2.333	2.3328	12.82	0.012
Error	6	1.091	0.1819		
Total	7	3.424			

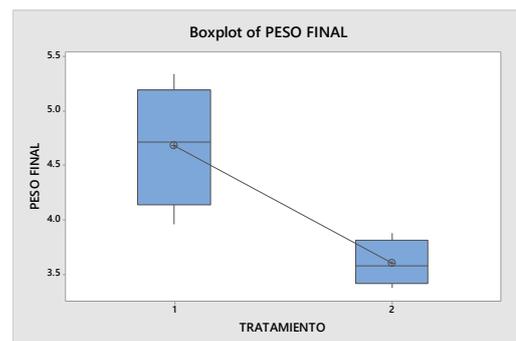
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.426497	68.13%	62.81%	43.34%

Means

TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	4.680	0.565	(4.158; 5.202)
2	4	3.600	0.211	(3.078; 4.122)

Pooled StDev = 0.426497

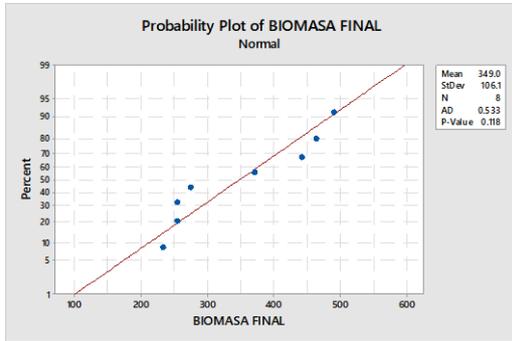


Tukey Pairwise Comparisons

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	4.680	A
2	4	3.600	B

Means that do not share a letter are significantly different.

c. BIOMASA FINAL



La variable productiva Biomasa Final, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: BIOMASS FINAL versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	70223	70223	48.71	0.000
Error	6	8650	1442		
Total	7	78872			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
37.9685	89.03%	87.21%	80.50%

Means

TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	442.7	51.0	(396.2; 489.1)
2	4	255.3	16.8	(208.85; 301.75)

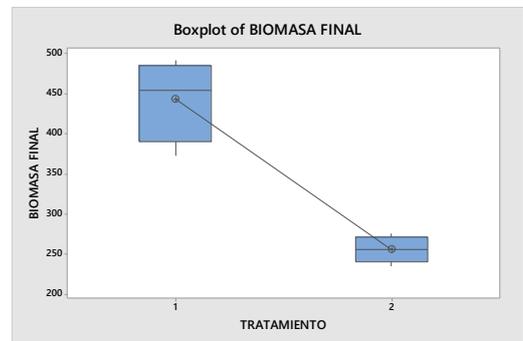
Pooled StDev = 37.9685

Tukey Pairwise Comparisons

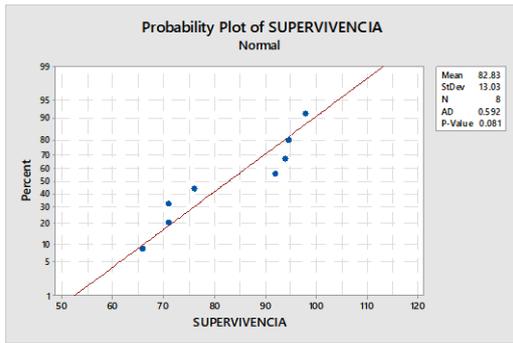
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	442.7	A
2	4	255.3	B

Means that do not share a letter are significantly different.



d. SUPERVIVENCIA



La variable productiva supervivencia, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: SUPERVIVENCIA versus TRATAMIENTO

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	1120.22	1120.22	97.88	0.000
Error	6	68.67	11.44		
Total	7	1188.89			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.38296	94.22%	93.26%	89.73%

Means

TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	94.67	2.49	(90.53; 98.81)
2	4	71.00	4.08	(66.86; 75.14)

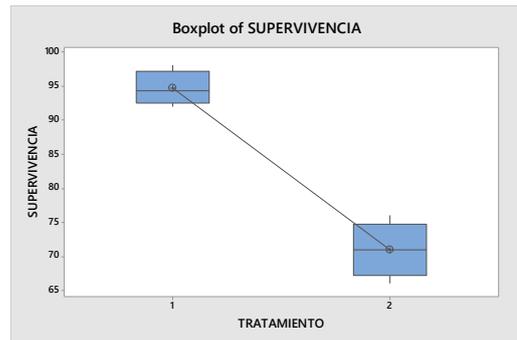
Pooled StDev = 3.38296

Tukey Pairwise Comparisons

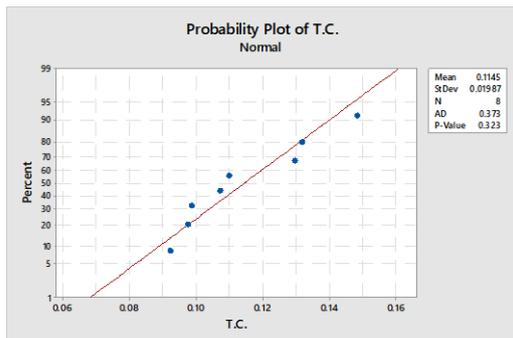
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	94.67	A
2	4	71.00	B

Means that do not share a letter are significantly different.



e. T.C.



La variable productiva tasa de crecimiento, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: T.C. versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	0.001907	0.001907	13.35	0.011
Error	6	0.000857	0.000143		
Total	7	0.002764			

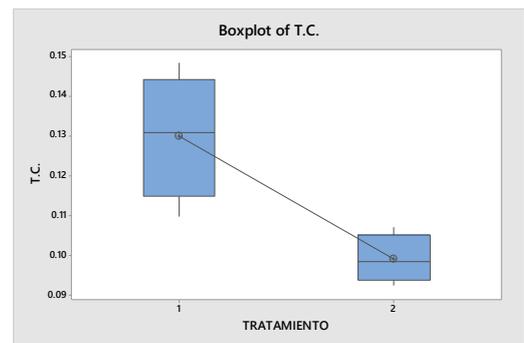
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0119529	68.98%	63.82%	44.86%

Means

TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	0.12991	0.01576	(0.11529; 0.14453)
2	4	0.09903	0.00610	(0.08441; 0.11366)

Pooled StDev = 0.0119529

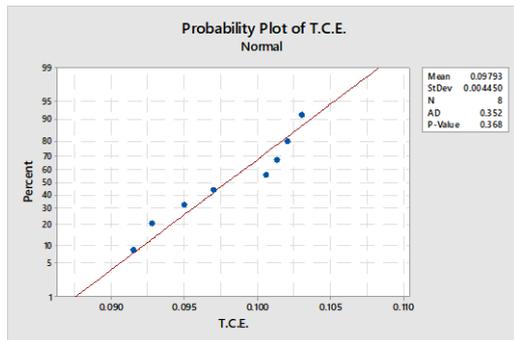


Tukey Pairwise Comparisons

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	0.12991	A
2	4	0.09903	B

Means that do not share a letter are significantly different.

f. T.C.E.



La variable productiva tasa de crecimiento específico, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: T.C.E. versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	0.000118	0.000118	33.56	0.001
Error	6	0.000021	0.000004		
Total	7	0.000139			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0018718	84.83%	82.31%	73.04%

Means

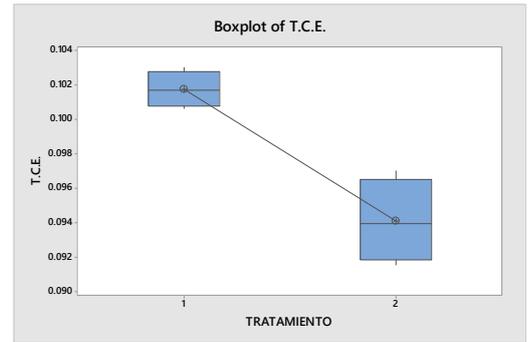
TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	0.101759	0.001040	(0.099469; 0.104049)
2	4	0.09409	0.00243	(0.09180; 0.09638)

Pooled StDev = 0.00187180

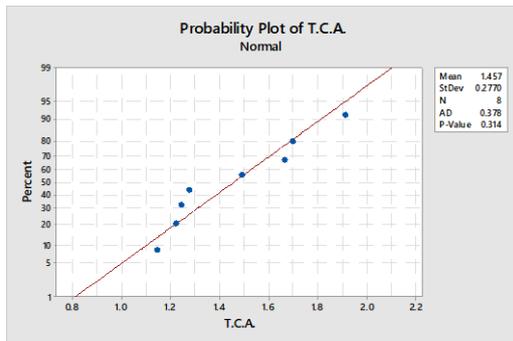
Tukey Pairwise Comparisons

TREATMENT	N	Mean	Grouping
1	4	0.101759	A
2	4	0.09409	B

Means that do not share a letter are significantly different.



g. T.C.A.



La variable tasa de conversión alimenticia, presenta normalidad y homogeneidad en sus datos al 95% ($p\text{-value} > 0.05$).

One-way ANOVA: T.C.A. versus TREATMENT

Method: Alternative hypothesis At least one mean is different

Significance level $\alpha = 0.05$

Factor	Levels	Values
TREATMENT	2	1; 2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
TREATMENT	1	0.43808	0.43808	26.53	0.002
Error	6	0.09907	0.01651		
Total	7	0.53715			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.128498	81.56%	78.48%	67.21%

Means

TREATMENT	N	Mean	StDev	95% CI
1	4	1.2233	0.0558	(1.0660; 1.3805)
2	4	1.6913	0.1730	(1.5341; 1.8485)

Pooled StDev = 0.128498

Tukey Pairwise Comparisons

TREATMENT	N	Mean	Grouping
2	4	1.6913	A
1	4	1.2233	B

Means that do not share a letter are significantly different.

