

Desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades

Víctor Hugo Vásquez González

Zootecnia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Bucaramanga

2020

Desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades

Víctor Hugo Vásquez González

Trabajo de grado para optar al título de Zootecnista

Director:

Jorge Edwin Gélvez Higuera

Médico Veterinario, Especialista en Gerencia Agroindustrial

Asesores científicos externos:

Jonny Andrés Yepes Blandón

Zootecnista, Magíster en Biología, PhD en Biología

Carlos Arturo Meza Ledesma

Profesional en Acuicultura

Zootecnia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Bucaramanga

2020

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios, por darme la vida, la salud, la familia, el trabajo, el estudio y las personas que me colaboraron en el desarrollo de este trabajo.

Agradecimiento especial a ISAGEN, empresa para la que trabajó, que me brindó la oportunidad de complementar mis estudios tecnológicos para convertirme en Zootecnista, a mis superiores Ana Lucía Estrada y Javier Cardona.

Agradecimientos inmensos a todo el Equipo de Investigación de la Piscícola San Silvestre – PSS, que me acompañaron y apoyaron en el trabajo de campo y oficina, a Jonny Andrés Yepes, Carlos Arturo Meza, Jorge Aristizabal, Jenny Carolina Hoya, Edwin Herrera, Harold Oviedo, también a los operarios de campo Jhon, Jorge, Milton, Gustavo, Jesús y a los practicantes Jesús y Yanan y a todo el personal administrativo en cabeza del Gerente Francisco Ernesto Monsalve, también al profesor Víctor Atencio de la Universidad de Córdoba.

Dedicatoria

A mi esposa Rocío, a mis hijos Claudia Patricia y Víctor Andrés, a mis padres Olga (QEPD) y Hebert, a todos mis compañeros de trabajo.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
ANTECEDENTES.....	14
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
JUSTIFICACIÓN.....	17
REFERENTE TEÓRICO.....	19
Taxonomía.....	19
Generalidades.....	19
Aspectos reproductivos del bocachico.....	21
Selección de reproductores y verificación del estado de la madurez de los ovocitos.....	23
Ciclo reproductivo en los peces.....	26
Escala de madurez gonadal en peces teleósteos.....	28
Calidad de los huevos.....	31
Maduración espermática.....	32
TECNOLOGIA BIOFLOC (BFT).....	33
Aspectos importantes del BFT.....	35

Ciclo del nitrógeno	38
Nitrificación.....	39
Desnitrificación	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
SITIOS DE MUESTREO.....	41
METODOLOGÍA.....	42
Tipo de estudio	43
Período de muestreo	43
Tamaño de la población.....	44
Procedimientos de recopilación de datos.....	44
PREPARACIÓN DE ESTANQUES	45
PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN	45
INÓCULO INICIAL DE FLOC Y MADURACIÓN	47
SIEMBRA DE ALEVINOS	49
FASE DE CAMPO	50
Variables ambientales.....	50
Variables biológicas	51
FASE DE LABORATORIO	51
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
RESULTADOS Y DISCUSIONES	53

Bromatología del floc	57
Parámetros de calidad de agua.....	60
CONCLUSIONES.....	70
ASPECTOS ÉTICOS	71
PLAN DE DIFUSIÓN.....	72
BIBLIOGRAFÍA	73

Listado de figuras

Figura 1. Bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>)	14
Figura 2. Unidades experimentales y sistema de aireación... ..	29
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología... ..	32
Figura 4. Diseño experimental y análisis estadístico... ..	39
Figura 5. Peso de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>) en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT.....	40
Figura 6. Ganancia de peso en bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>) en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT.....	41
Figura 7. Longitud de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>) en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT.....	42
Figura 8. Ganancia de longitud en bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>) en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT.....	42

Listado de Tablas

Tabla 1. Número de animales por tratamiento	39
Tabla 2. Longitud total (Lt) inicial y final, por tratamiento	42
Tabla 3. Peso inicial y final, por tratamiento.....	42
Tabla 4. Supervivencia por tratamiento.....	45
Tabla 5. Bromatología de los flóculos del sistema BFT en el cultivo de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>), en etapa de pre-cría y levante... ..	46
Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de los flóculos del sistema BFT en el cultivo de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>), en etapa de pre-cría y levante	47
Tabla 7. Parámetros de calidad de agua registrados durante el cultivo de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>), en la etapa de pre-cría y levante.....	48

Listado de Fotografías

Fotografía 1. Panorámica de las instalaciones de la Piscícola San Silvestre – PSS en Barrancabermeja. Fuente: PSS 2018... ..	32
Fotografía 2. Protocolo de desinfección de las piletas para el control de hongos, virus y bacterias... ..	35
Fotografía 3. Inóculo inicial de floc en tanque de 500 lts... ..	37
Fotografía 4. Siembra del inóculo de floc en las piletas... ..	37
Fotografía 5. Maduración del floc en las piletas (15 días después de la siembra)... ..	38
Fotografía 6. Maduración del floc en las piletas (30 días después de la siembra)... ..	38

Desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades

INTRODUCCIÓN

El bocachico *Prochilodus magdalenae*, constituye uno de los principales recursos pesqueros del país, particularmente en la cuenca del río Magdalena. En el período comprendido entre 2004 y 2013 se desembarcaron en la cuenca del Magdalena, un estimado de 90,863 t de peces, de las cuales el bocachico contribuyó con el 50%, seguido del bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, con el 13% (AUNAP, 2014).

Sin embargo, la abundancia del recurso ha disminuido a causa de numerosos impactos antropogénicos, como la contaminación, la sedimentación de los ríos, la deforestación de las zonas ribereñas, la construcción de hidroeléctricas (Atencio, 2000; Monteiro *et al.*, 2006) y la sobrepesca (Valderrama *et al.*, 2002), causando en las poblaciones naturales fragmentación, reducción de su hábitat, interrupción del proceso de migración y disminución de la tasa de renovación poblacional.

El bocachico *Prochilodus magdalenae*, es una especie que se cultiva en cuerpos de agua de gran tamaño (lagunas, jagüeyes, represas), en sistemas de cultivo extensivos, dado que, su crecimiento es lento y la densidad de siembra recomendada es baja (1 pez / 5 m²). Lo anterior, hace que la especie no sea atractiva para sistemas de producción

acuícola, aun cuando su valor comercial es alto (hasta \$10.000 / kg, precio al por mayor según la época del año). De otra parte, presenta una ventaja competitiva sobre las especies convencionales de cultivo en clima cálido (cachama, mojarra), ya que por sus hábitos alimenticios (detritívoro – iliófago), es decir que aprovecha los restos de materia orgánica, alimento y desechos del fondo de los estanques, no requiere suministro de alimentos balanceados comerciales, reduciendo los costos de producción considerablemente.

En Colombia, los cultivos de mayor importancia son los de tilapia (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*), es el principal producto de la piscicultura, pues representa más del 50% de la producción anual (CCI 2009). Por su parte, el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), es una de las principales especies de la pesquería continental colombiana (CCI 2006), con características favorables para el cultivo responsable en estanques (García *et al.*, 2011).

Debido a su régimen alimenticio el bocachico es una especie considerada como alternativa para la piscicultura extensiva y semi-intensiva, sus cultivos se manejan a densidades menores de 1 pez/5 m², siendo común en policultivos con especies omnívoras como cachama negra (*Colossoma macropomum*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp*) (García *et al.*, 2011).

El cultivo de bocachico se realiza en dos fases: alevinaje y engorde, pasando en algunos casos, por una fase intermedia de levante; a diferencia del cultivo de otros peces (tilapia, cachamas) que se realiza en varias fases: alevinaje, pre-cría, levante, pre-engorde y engorde, según la especie y sistema de cultivo (Ayazo- *et al.*, 2018).

Los principales sistemas de cultivo son los semi-intensivos a nivel de los pequeños productores, con la utilización de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, con el suministro de alimentos concentrados comerciales y el uso de productos de la finca para la alimentación de los peces. Sistemas Intensivos y super-intensivos son practicados por los productores industriales, en estanques en tierra o en jaulas con el empleo único de alimento concentrado (FAO, 2018). En los últimos años se han incrementado los sistemas intensivos: sistemas de recirculación (RAS) y tecnología biofloc (BFT), que requieren suministro de aireación artificial y son más eficientes que los sistemas tradicionales, en especial sobre el uso del recurso hídrico.

Una de las alternativas de mayor desarrollo en la actualidad, es la tecnología de cultivo biofloc (BioFloc Technology – BFT), que presenta ventajas competitivas frente a los estanques en tierra, entre otras: disminuye los recambios de agua (uso racional del recurso); favorece la absorción de los compuestos nitrogenados y su transformación en proteína microbiana, que se convierte en fuente de alimento para las especies de cultivo, con lo cual se mejora sustancialmente la conversión alimenticia; permite utilizar altas densidades de siembra, por tanto aumenta la producción (Long L *et al.*, 2015).

En el presente trabajo se pretende evaluar el desempeño zootécnico durante la precría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cultivado con tecnología biofloc – BFT, a diferentes densidades.

ANTECEDENTES

En 2018 un grupo de investigadores del Centro de Investigación Piscícola - CINPIC de la Universidad de Córdoba, conformado por los expertos Julia Ayazo, Vicente Pertuz, José Espinosa, César Jiménez, Víctor Atencio y Martha Prieto, publicaron los resultados definitivos de la investigación “Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc”, en el que se hicieron hallazgos significativos, entre los que vale la pena mencionar los siguientes:

De manera general, los parámetros de calidad de agua evaluados no incidieron en el desempeño de la especie; sin embargo, durante el estudio se observó que el comportamiento del bocachico afectó la dinámica del biofloc, principalmente los valores de sólidos sedimentables - SS y sólidos suspendidos totales - SST; lo cual requiere de más estudios, para dilucidar cómo especies con este hábito alimenticio (iliófagas) afectan la dinámica de los biofloc.

Los resultados sugieren que bocachico en cultivo con BFT, logra su primera maduración antes de los 10 meses de edad.

La calidad del semen del bocachico fue similar a los reportados por Arroyo & Vergara (2010), quienes evaluaron la calidad del bocachico de dos a tres años de edad, mantenidos en estanques en tierra, lo cual sugiere que la calidad seminal de los bocachicos

levantados en sistema BFT, no difiere de los mantenidos en estanques en tierra a densidades muy inferiores.

La conclusión general de los investigadores es que: los resultados sugieren que el bocachico puede ser levantado en BFT a densidades entre 5 y 10 peces/m³ y utilizados como reproductores con buenos resultados de desempeño reproductivo. Así mismo, los machos de bocachico producen semen de buena calidad antes del primer año en cultivos BFT a densidades entre 5 y 20 peces/m³.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el desempeño productivo (longitud y peso) en la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades.
- Evaluar la sobrevivencia en la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades.
- Evaluar la composición del floc y del agua de cultivo empleada en la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades.

JUSTIFICACIÓN

En el río Magdalena, las capturas de peces se han reducido en un 90% desde 1970. Esta situación se debe principalmente a la sobreexplotación del recurso pesquero, a que no se respetan las tallas mínimas de captura, no se cumplen las vedas, a la falta de conciencia de pescadores y consumidores, pero también a la contaminación de los ríos y la deforestación en las cuencas.

El bocachico es la especie nativa por excelencia en las pesquerías de Colombia, en particular en la cuenca Magdalena – Cauca. Se estima que alrededor del 80% de los desembarcos pesqueros de aguas continentales en los diferentes puertos corresponden a bocachico. Por esta razón, es la especie que en mayor proporción, se utiliza para los repoblamientos en cuerpos de agua naturales, los cuales son impuestos por las autoridades ambientales a las empresas que generan impactos al recurso pesquero, en la construcción de diferentes proyectos de infraestructura.

Dada la importancia de la especie en las pesquerías, hace algunos años la autoridad pesquera, las universidades, los centros de investigación y piscicultores privados, iniciaron estudios tendientes a desarrollar su producción en cautiverio (sistemas de cultivo), inicialmente en estanques en tierra y últimamente en sistemas tecnificados, como el “biofloc”.

La Piscícola San Silvestre – PSS e ISAGEN S.A. – E.S.P en el marco de un convenio de cooperación y en desarrollo de sus actividades misionales, realizan investigación básica y aplicada en especies nativas de la cuenca Magdalena – Cauca, entre

ellas el bocachico. La gestión ambiental y social de las dos entidades tiene cobertura geográfica en el río Sogamoso y su planicie inundable, la cual incluye la ciénaga El Llanito, uno de los principales puertos pesqueros de Barrancabermeja (Santander).

Desde el punto de vista zootécnico, es preciso realizar investigaciones en especies ícticas nativas, por sus bondades en términos de producción, por su importancia comercial y cultural, ya que puedan ser cultivadas para la producción de proteína animal de bajo costo, destinada para el consumo humano.

REFERENTE TEÓRICO

Taxonomía

Actualmente se clasifica como:

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Clase: Actinopteryqii

Orden: Characiformes

Familia: Prochilodontidae

Género: Prochilodus

Especie: *Prochilodus magdalenae* (Steindachner; 1879)

Generalidades

Bioecología del bocachico (*Prochilodus magdalenae*)



Figura 1. Bocachico (Prochilodus magdalenae). Fuente: Hoya-Flórez 2016

Prochilodus magdalenae, conocido con el nombre común de bocachico (Figura 1), es una especie migratoria cuyo ciclo de vida está relacionado con los patrones hidrológicos de inundación y estiaje de la cuenca del río (Mojica *et al.*, 2012). Durante la época de aguas altas permanece en las ciénagas alimentándose de detritus proveniente de la descomposición de materia orgánica de la vegetación acuática, aumentando en tamaño y peso. Con el inicio del período de aguas bajas, abandona las ciénagas y remonta los ríos en busca de los tributarios laterales, en una migración masiva conocida como subienda; la cual es de carácter reproductiva (Maldonado-Ocampo *et al.*, 2005).

Se ha establecido que la especie alcanza su primera madurez sexual entre los 23 y 25 cm de longitud estándar (LE) en la cuenca del Magdalena; de 20 cm en la del Sinú; y en 20 cm para machos y 22 para hembras en el Atrato. Sus desoves son

totales y la fecundación es externa. Una vez se reproducen retornan a las ciénagas en un desplazamiento que se conoce como bajanza (Mojica *et al.*, 2012).

En relación con su morfología, es un pez de talla mediana que alcanza a crecer hasta los 50 cm. Posee una boca pequeña, carnosa y prominente provista de una serie de diminutos dientes y una espina predorsal punzante (Mojica *et al.*, 2012). Su coloración es plateada uniforme, con aletas matizadas de rojo o amarillo y presenta la particularidad de poseer escamas rugosas al tacto (Mojica *et al.*, 2012).

La especie es de hábitat de agua dulce y de clima tropical. Vive en ciénagas, pantanos o depresiones inundadas por el desbordamiento del río, durante períodos lluviosos o de invierno y en ríos preferencialmente en tributarios laterales, durante su época reproductiva, debido a que en estos se presentan las condiciones adecuadas para su maduración ovocitaria (Mojica *et al.*, 2012). Se encuentra principalmente en el fondo, es un pez succionador (Atencio-García, 2000). Según Mojica *et al.* (2012), se distribuye en todas las zonas bajas de los sistemas del Magdalena, Sinú y Atrato hasta aproximadamente 1000 msnm, pudiendo llegar a los 1500 msnm en la cuenca del río Cauca.

Aspectos reproductivos del bocachico

El bocachico presenta huevos de forma esférica con diámetro de 1.9 a 2.7 mm y un corión liso y frágil; además, una región perivitelínica translúcida con longitud de 0.4 a 1.5 mm. El vitelo presenta una coloración que varía entre verde hasta gris, sin gotas de aceite visibles y un diámetro de 1 a 2.6 mm. A las 2 horas pos fertilización - hpf, se

presenta el clivaje del huevo y a las 6 hpf se observa el embrión inicial sobre el polo animal del huevo. La eclosión inicia aproximadamente a las 12 hpf; la larva vitelínica o recién eclosionada mide en promedio 2.9 mm y pesa en promedio 0.5 mg y se caracteriza por la presencia de la aleta embrionaria, el rudimento de las vesículas ópticas y el esbozo de la cavidad ótica. En la fase larval vitelínica, la alimentación es endógena, dura aproximadamente 48 horas pos eclosión - hpe. Al inicio de la alimentación exógena mide 5.4 mm y pesa 1.8 mg (Atencio-García *et al.*, 2003).

La mayoría de los peces nativos del neotrópico inician su primera alimentación exógena cuando aún conservan parte de sus reservas vitelinas. El bocachico (*Prochilodus magdalenae*), comienza su alimentación exógena entre las 44 y 48 horas pos eclosión, con temperatura entre 26.5 y 29 °C, con un tercio de vitelo (Atencio-García *et al.*, 2003). Después de 60 días, cambia a su hábito alimentario de zooplanctívoro a detritívoro, el alimento lo toma succionando lodo del fondo de las ciénagas, filtrando las formas flotantes, succionando el perifiton de las raíces, tallos, hojas y piedras, por esta razón se le llama pez iliófago o limnófago. Su dieta básica está compuesta por cianófitas, clorófitas y diatomeas (Atencio-García, 2000).

Se ha demostrado que la sobrevivencia durante el alevinaje aumenta, cuando éste se realiza bajo condiciones controladas al inicio de la alimentación exógena, sobre todo en la utilización de alimentos vivos como nauplios de *Artemia salina*, zooplancton silvestre y larvas forrajeras (Atencio-García *et al.*, 2000). Para el desarrollo de una larvicultura adecuada, es importante reconocer el instante en el cual se inicia la alimentación exógena, distribución, frecuencia, cantidad, calidad y tamaño del alimento ofrecido, así como la densidad de siembra (Atencio-García, 2000).

Atencio-García *et al.* (2003), reportan que en bocachico el mejor alimento vivo para manejo de la primera alimentación son los nauplios de *Artemia salina* recién eclosionados o zooplancton silvestre con tamaño entre 250-400 μ .

El bocachico (*Prochilodus magdalenae*), es una de las especies más representativas de los caraciformes del Caribe húmedo, en relación con el desarrollo de la piscicultura colombiana (Atencio-García *et al.*, 2013). Junto con las demás especies del género *Prochilodus*, forma parte del grupo de peces reofílicos de mayor importancia económica continental en Suramérica. El género tiene amplia distribución en el neotrópico, (Olaya-Nieto *et al.*, 2001), siendo considerado uno de los más diversos de los *Characiformes* con cerca de 20 a 25 especies (Mojica *et al.*, 2012).

Selección de reproductores y verificación del estado de la madurez de los ovocitos

Generalmente, los índices de maduración gonadal de los reproductores se pueden diagnosticar por señales externas. En el caso del bocachico, las hembras maduras muestran el abdomen abultado y flácido, papila genital rojiza y dilatada. En los machos, la emisión de semen espeso de color blanco lechoso, que fluye fácilmente al realizar una leve presión abdominal en sentido cefálico - caudal. Así mismo, los ronquidos que producen (Atencio-García *et al.*, 2013).

En las hembras, un diagnóstico más preciso lo representa la técnica de cateterización intraovárica. Se introduce por la abertura urogenital, una sonda flexible de 3 mm de diámetro interno y por succión, se extraen muestras de ovocitos recogidos en cajas de Petri y tratados con solución fijadora de formalina al 1 % en por al menos 1

minuto, luego de eliminar el fijador, se adiciona solución clarificadora de Serra y bajo lupa estereoscópica, se podrán observar los diferentes estadios de maduración de los ovocitos de acuerdo a la migración del núcleo (Atencio-García *et al.*, 2013).

Antes de la inducción hormonal, el estado de la madurez de los ovocitos se determina según una escala de cuatro grados: Etapa 1: vesícula germinal en posición central (central GV); Etapa 2: migración temprana de la vesícula germinal, (menos de la mitad del radio “migrando”); Etapa 3: migración tardía de la vesícula germinal (más de la mitad del radio, “periférico”); Etapa 4: vesícula germinal de la periferia o ruptura de vesículas germinales (GVBD, “maduros o sin nucleo”). (Yaron *et al.*, 2009; Krejszeff *et al.*, 2010).

A medida que el ovocito comienza a crecer durante la pubertad o durante el recrudescimiento anual, este se detiene en la profase de la primera división meiótica. Mientras todavía en esta etapa cromosómica, el ovocito se convierte en vitelogénico, acumulando a través de la circulación, vitelo (vitelogeninas) y proteínas coriónicas (coriogeninas), las cuales son producidas por el hígado bajo estimulación del estradiol. El oocito alcanza su diámetro final de aproximadamente 1 mm y luego se considera post vitelogénico (Yaron *et al.*, 2009).

El ovocito post-vitelogénico puede permanecer inactivo durante varios meses. Este entra en el proceso de maduración final, es decir, la reanudación de la meiosis, como respuesta a un aumento de la hormona luteinizante (LH), siguiendo señales ambientales (temperatura, fotoperíodo, flujo de agua, etc.) o estímulos sociales y feromonales. Cuando LH se une a su receptor en las células de la granulosa, el folículo

ovárico comienza a madurar, manifestado por: a) La producción de esteroides inductores de la maduración (MIS); b) Adquisición de la competencia madurativa del ovocito (OMC); c) Formación del factor promotor de la maduración (MPF) y la reanudación de la meiosis, y d) La maduración citoplásmica que implica cambios en las proteínas de la yema y los lípidos (Yaron *et al.*, 2009).

Estos pasos son seguidos por la ovulación, es decir, la ruptura del folículo y la liberación de los huevos en el lumen ovárico. El proceso de maduración de oocitos se refleja morfológicamente por la migración de la vesícula germinal (VG), hacia el polo animal (migración GV) y su desaparición, una etapa conocida como desglose de GV (GVBD). Este último indica la finalización del primer meiótica profase. Los cromosomas luego se condensan, se forma un huso y se extrusionan los primeros polos, el cuerpo marca el final de la primera división meiótica (Yoshikuni y Nagahama, 1991; Yaron *et al.*, 2009).

En esta etapa, el óvulo está ovulado, pero la meiosis se detiene nuevamente en la metafase II. Finalización de la segunda división meiótica y la extrusión del segundo cuerpo polar se retrasan hasta que el huevo es estimulado por la penetración de un espermatozoide (Nagahama and Yamashita, 2008); el huevo es así diploide (2N) en la fertilización (Yaron *et al.*, 2009).

Se sugiere que, en la naturaleza, las feromonas tales como 17α , 20β -dihidroxi-4-pregnen-3-ona 17 (DHP) secretadas por machos sexualmente activos estimulan la ovulación en hembras postvitelogénicas (Kobayashi *et al.*, 2002; Yaron *et al.*, 2009). Esto es probablemente debido a un aumento en la circulación de LH (cGtH o GTH

II), que puede alcanzar niveles superiores a 200 ng/ml (Levavi-Zermonsky y Yaron, 1986; Yaron et al., 2009). Este aumento se atribuye a un aumento en la liberación de GnRH a partir de terminaciones nerviosas hipotalámicas que se ramifican dentro de la hipófisis rostral (parasitales distal rostrales), posiblemente asociada con un menor tono inhibitorio dopaminérgico. La disminución de la inhibición dopaminérgica puede ser el resultado de cambios en los niveles de catecolaminas y el recambio en el cerebro y la hipófisis (Senthilkumaran and Joy, 1995; Yaron et al., 2009) o cambios en el nivel de expresión del receptor de dopamina D2 que depende de los niveles de estradiol (Levavi-Sivan et al., 2006; Yaron et al., 2009). De cualquier manera, esto aumentará el efecto de GnRH en la liberación de LH (Yaron et al., 2009).

Ciclo reproductivo en los peces

En la mayoría de los peces teleósteos, la reproducción es un evento cíclico anual. Durante cada temporada de reproducción, se producen de miles a millones de huevos durante sucesivos eventos de desove, según la especie, el ciclo de vida y el tamaño del cuerpo. En contraste con la mayoría de los mamíferos que tienen una reproducción determinada de por vida, en los peces, la fuente renovable de las células germinales subyace a la reproducción no permanente de la vida, durante la vida reproductiva de la hembra (Grier et al., 2009; Wildner et al., 2013).

El proceso de crecimiento y diferenciación de los gametos se llama gametogénesis y conduce a la formación del ovocito en las hembras (ovogénesis) o del espermatozoide en los machos (espermatogénesis). Tanto los gametos femeninos como los masculinos tienen un origen común en la población de células germinales primordiales

embrionarias (PGC), que migran durante el desarrollo embrionario al lugar de formación de gónadas, epitelio germinal. El PGC prolifera a través de divisiones mitóticas para formar el ogonia, que se diferencian en oogonia o espermatogonias según el sexo del individuo. Con la última división mitótica, gonia ingresa a la meiosis y se convierte en ovocitos o espermatoцитos, iniciando así la gametogénesis en animales adultos (Grier et al., 2009; Wildner et al., 2013).

En las hembras, el proceso de maduración final de los ovocitos, el cual comprende desde el inicio de la segunda división meiótica hasta la metafase II, así como el número de procesos de maduración citoplásmica y nuclear (Nagahama et al., 1994; Patiño and Sullivan, 2002; Nagahama and Yamashita, 2008; Zarski et al., 2017) es el proceso de estimulación de la ovulación.

Durante el proceso de maduración final de los ovocitos, se producen entre otros, varios cambios morfológicos, incluida la formación del vitelo y las estructuras lipídicas, así como la migración de la vesícula germinal (VG) y descomposición de la misma. (Mylonas y Zohar, 2000; Nagahama and Yamashita, 2008; Zarski et al., 2011; Zarski et al., 2017).

El proceso de maduración final de los ovocitos está regulado por el eje hipotalámico-pituitario-gonadal (HPG) (Donaldson, 1996; Mylonas and Zohar, 2000; Nagahama, 1994). Este mecanismo se usa en la práctica de reproducción controlada, donde el fotoperiodo, la temperatura y / o el tratamiento hormonal son los factores que influyen directamente en el eje HPG. En cuanto a la estimulación hormonal, una de las prácticas es la estimulación directa de la secreción de gonadotropinas endógenas (GtH-s)

mediante la aplicación de gonadolibéricas (GnRH-s), que estimulan la hipófisis para producir la hormona luteinizante (LH) (Mylonas et al., 2010; Podhorec and Kouril, 2009). Esta gonadotropina estimula los folículos ováricos para producir una hormona inductora de la maduración (MIH) que desencadena la formación de un factor promotor de la maduración (MPF) que regula el proceso de OMF (Nagahama and Yamashita, 2008). En teleósteos, LH estimula la producción de 17 α , 20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one (DHP) por las células de la granulosa y la teca de los folículos ováricos (Goetz and Bergman, 1978; Goetz and Garczynski, 1997). DHP desempeña el papel de MIH en la mayoría de los teleósteos, además de participar directamente en el proceso de ovulación (Goetz and Bergman, 1978; Goetz and Garczynski, 1997; Sulisty et al., 1998; Zarski et al., 2017).

Escala de madurez gonadal en peces teleósteos

Los estados de desarrollo gonadal macroscópico marcan los momentos de inicio y final de la actividad reproductiva durante el año, así como el tipo de desove (parcial o total). Siendo también un indicador de la fertilidad potencial de los reproductores. Estas dos últimas variables tienen aplicación práctica en la determinación del momento y duración de los períodos de veda de la pesca comercial y deportiva (Vazzoler, 1996).

Los testículos de los teleósteos se presentan como dos sacos de color blanquecino, en posición ventral a la columna vertebral y a la vejiga natatoria. Su estructura es variable de especie a especie, pero según Grier. (1981), se pueden distinguir

dos tipos básicos: el lobular y tubular, pero el lobular es el típico en los teleósteos, está compuesto de numerosos lóbulos, los cuales están separados unos de otros por una delgada capa de fibras de tejido conectivo, su arreglo varía considerablemente. Dentro del lóbulo la espermatogonia tiene numerosas divisiones mitóticas para producir cistos que contienen varias células germinales que están aproximadamente en el mismo estadio de desarrollo. Cuando se da la espermatogénesis y la espermiogénesis, los cistos se expanden y habitualmente se rompen, liberando el esperma dentro del lumen lobular el cual se continua con el conducto espermático (Koulish et al., 2002; Schulz et al., 2010).

En el testículo se encuentran varios tipos de espermatogonias, dependiendo del estado de madurez sexual, las cuales proliferan en los lóbulos testiculares durante el periodo de reposo sexual; la espermatogonia en sus primeras etapas es una célula grande con forma ovoide tiene núcleo grande y redondo. En el estadio de proliferación este se torna pequeño y redondo, así la espermatogonia se transforma a espermatocito primario. Este pasa por los estadios de la meiosis I, y se da la primera división de maduración en donde el espermatocito primario se transforma en secundario, quien lleva a cabo la segunda división meiótica y da origen a la espermatida, esta última célula ya no presenta división celular, únicamente realiza el proceso de maduración o espermiogénesis con el que se transforma en espermatozoide formado de cabeza, pieza intermedia y flagelo (Schulz et al., 2010).

La microestructura del ovario de los peces teleósteos revela que éste se encuentra envuelto por una delgada túnica albugínea de tejido conectivo laxo, la cual presenta engrosamientos donde existen vasos sanguíneos que irrigan la gónada. En el interior del ovario se observan laminillas ovígeras que se desprenden de la albugínea,

proyectándose hacia el lumen del órgano. El cuerpo de la laminilla está formado por tejido conectivo y escasas fibras musculares lisas, recubiertas por el epitelio germinal ovárico. El folículo ovárico se encuentra embebido dentro de un heterogéneo tejido de sostén, el que en su conjunto constituye el ovario (Nagahama 1983, Peredo and Sobarzo 1993; Valdebenito et al., 2011).

Microscópicamente el folículo ovárico de los peces es relativamente simple, siendo su organización similar en todos los teleósteos. El oocito de ubicación central está rodeado por una envoltura acelular denominada corion, zona radiata (Leonardo et al., 2006; Valdebenito et al., 2011) o envoltura vitelina (Leino et al., 2005; Valdebenito et al., 2011). Esta envoltura se encuentra cubierta externamente por células foliculares, las cuales a medida que crece el oocito incrementan su número, distribuyéndose en una envoltura continua de una monocapa de células (llamada granulosa) y una capa externa de células tecaes o envoltura folicular externa. Ambas capas celulares se encuentran separadas por la membrana basal (Takashima and Hibiya 1995; Valdebenito et al., 2011). Histológicamente, la evidencia actual sugiere que la capa de células de la granulosa está compuesta por una población celular homogénea. Sin embargo, esta capa celular también contiene células micropilares, las cuales son fácilmente distinguibles de las células granulosas por sus características morfológicas, como son su forma triangular y su ubicación en el canal micropilar. Por el contrario, la capa de células tecaes presenta mayor heterogeneidad, ya que está compuesta de capilares, fibroblastos, fibras de colágeno y en muchos casos de células especiales de la teca (Nagahama 1983; Takashima and Hibiya 1995; Linares-Casenave et al., 2002; Valdebenito et al., 2011).

Calidad de los huevos

La calidad de los gametos en la naturaleza, o en cautiverio, está influenciada por muchos factores y algunas veces es muy variable. Por esta razón, la calidad de los huevos centra gran atención, por lo que muchos estudios han caracterizado el efecto de factores específicos sobre la calidad de estos (Bobe and Labbé, 2010).

El indicador más confiable de la buena calidad del huevo es la alta supervivencia, a través de la eclosión del huevo y del desarrollo de la larva en la etapa del saco vitelino, “larvas vitelínicas”, antes del inicio de la alimentación exógena (Fernández-Palacios et al., 2009; Duncan et al., 2013).

La calidad del huevo indica si se proporcionaron las condiciones óptimas y la producción de huevos de la cantidad y calidad necesarias, indicando que se abordaron los puntos críticos con condiciones ambientales y una dieta óptima. La cantidad de huevos se mide simplemente estimando el número de huevos desovados, generalmente a) midiendo el volumen de huevos y calculando el número de huevos con una medida del diámetro del huevo o contando los huevos en una submuestra de pequeño volumen, b) colocando los huevos en un volumen conocido de agua y contando los huevos en una submuestra de pequeño volumen del volumen total de agua o c) pesando los huevos y contando los huevos en una submuestra pesada. El número de huevos producidos por una hembra se conoce como la fecundidad, y una medida más útil para comparar peces o poblaciones es la fecundidad relativa, que es el número de huevos por kilo de peso de la

hembra. La fecundidad se puede expresar de muchas maneras, por ejemplo, por hembra o por temporada de desove (Fernández-Palacios et al., 2009; Duncan et al., 2013).

Maduración espermática

La maduración de los espermatozoides (es decir, la espermiación), es la fase del desarrollo de los gametos masculinos durante la cual los espermatozoides cambian de gametos flagelados no funcionales a espermatozoides completamente maduros, capaces de iniciar la movilidad y fertilizar los huevos, e incluye cambios fisiológicos, pero no morfológicos (Schulz et al., 2010). La maduración espermática en el pez ocurre en el conducto espermático (Miura et al., 1992; Morisawa and Morisawa, 1988), y la progesterona 17,20 β -P junto con cambios en el pH y la composición iónica del plasma seminal están involucrados en este proceso.

En salmónidos y anguila japonesa (*Anguilla japonica*), los espermatozoides no son capaces de iniciar la movilidad si se extraen del testículo sin antes pasar a través del ducto espermático, pero pueden revertirse si se mantienen en una solución con HCO₃⁻ y un pH alto. (Morisawa and Morisawa, 1988; Ohta et al., 1997a, 1997b). Las progestinas median en el proceso de maduración de los espermatozoides en los machos (Scott et al., 2010). En la anguila japonesa, 17,20 β -P regula la maduración de los espermatozoides a través del aumento del pH del plasma seminal, lo que induce un aumento de cAMP de espermatozoides, lo que permite su movilidad (Miura et al., 1992; Miura and Miura, 2003) propusieron un modelo en la anguila japonesa en la que el 17,20 β -P actúa en el receptor en la membrana de los espermatozoides y activa la anhidrasa

carbónica, causando un aumento del pH del plasma seminal. Dependiendo de la especie, 17,20 β -P y / o 20 β -S se han identificado como progestina (s) activa (s). Sin embargo, las limitaciones en el análisis de estas progestinas y sus bajos niveles plasmáticos podrían explicar, al menos en parte, por qué algunas de estas progestinas no han sido identificadas como esteroides activos. El papel clásicamente aceptado de las progestinas es su participación en el control de la maduración de gametos, tanto de ovocitos como espermatozoides, y se ha relacionado con el desarrollo de los mecanismos de hidratación que forman parte de la descomposición de las vesículas germinales en los ovocitos y el aumento del volumen espermático (y disminución de la densidad de esperma) durante la espermiación. Los cambios cíclicos en la esteroidogénesis gonadal se han descrito en especies desovadoras sincrónicas de grupo, causando ondas de progestinas en el plasma, relacionadas con cada evento de desove o con picos de producción de esperma (Asturiano et al., 2002).

TECNOLOGIA BIOFLOC (BFT)

La piscicultura con Tecnología biofloc BFT, se interpreta como el cultivo de organismos acuáticos, en contenedores con mínimo recambio de agua, donde prosperan microorganismos a una alta relación C:N, oxigenación saturada y garantizando condiciones de calidad de agua para el cultivo, en un verdadero concepto de reciclaje de nutrientes in situ (Collazos *et al.*, 2012). Aquí la microbiota crece a partir de las excretas de los organismos cultivados, transformándolas en productos orgánicos de menor complejidad que pueden ser usados como alimento para los peces.

El concepto de la BFT en piscicultura es en verdad innovador, pues aplica alternativas tecnológicas a la producción de peces logrando aumentar la biomasa y sobrevivencia con aumento de la conversión alimenticia, teniendo como eje central el reciclaje de nutrientes por los microorganismos que incorporan a su crecimiento los desechos en los contenedores de producción (Monroy-Dosta et al, 2013, Ekasari et al. 2015), lo que se traduce en regulación y mantenimiento de la calidad del agua. La comprensión de estas interacciones bajo una estricta vigilancia es lo que garantiza el éxito del cultivo integral microbiota – peces (De Schryver et al, 2008).

El biofloc está constituido por una comunidad de microorganismos asociados entre sí, en un sustrato suspendido o flotante, que responde a una dinámica de malla trófica que se inicia en heterótrofos capaces de fijar carbono desde las sustancias y partículas orgánicas en el agua (Burford et al, 2003), esa comunidad conforma una estructura irregular, deformable, porosa y de tamaño indefinido (algunas veces de hasta centímetros de diámetro), y más denso que el agua por lo que tienden a sedimentarse lentamente. Funciona como si se tratara de un enmarañado eco-sistemático donde simultáneamente suceden procesos autótrofos y heterótrofos en todo caso aeróbicos, los que los hace recirculadores de nutrientes y fundamentales para el mantenimiento de la calidad del agua (Ray et al, 2010, Ebeling et al, 2006).

La BFT que se ha implementado en buena parte del territorio nacional trata básicamente de remover los compuestos nitrogenados en el agua para evitar la muerte de los peces por toxicidad del N (en especial del NH_3 - N y del NO_2 -), a través de la asimilación y oxidación de estos por microorganismos aerobios con actividades

autotróficas y heterotróficas (Ebeling et al, 2006), a una alta relación carbono – nitrógeno (C:N) y oxigenación en saturación.

Aspectos importantes del BFT

- ✓ Al establecer la tecnología Biofloc es necesario cierto periodo de inicio para obtener un buen sistema con respecto a la calidad de agua.
- ✓ Adecuada aireación y mezcla continua con el fin de mantener las partículas en suspensión.
- ✓ Los Biofloc generalmente se pueden establecer mucho más rápido que los biofiltros, dado que, las bacterias heterotróficas crecen a una tasa 10 veces mayor que la de las bacterias nitrificantes de los biofiltros.
- ✓ La estabilización de los parámetros de calidad en los inóculos de floc van en función de la comunidad bacteriana.
- ✓ Intervenir el sistema a través del recambio de agua o drenaje del fondo cuando las concentraciones de sólidos suspendidos aumenten considerablemente.
- ✓ Reciclaje del Nitrógeno ⑦ Alimento no consumido y excretas.
- ✓ Cerca del 20- 25% de la proteína del alimento es retenida por el pez, el resto es excretado hacia el agua del cultivo, principalmente como amonio.

De esta manera, todo se soporta en la relación C:N en presencia de suficiente oxígeno, la variación de dicha relación da dominancia a diferentes comunidades bacterianas: 20-25:1 heterotróficas, 13-17:1 quimioautotróficas y < 10:1 fotoautotróficas, cada una con requerimientos y productos diferentes (Timmons et al, 2002), también bajo

condiciones de calidad de agua diferentes para garantizar la estabilidad del sistema. Cinco son los aspectos considerados cruciales y que se deben conocer a profundidad, los cuales permitieran al productor operar tanques con BFT, productivos y rentables, a continuación, las consideraciones:

1) Cantidad de nitrógeno (N) que se debe remover: determinar la cantidad de N que es aportado al medio y que es expresado como Nitrógeno amoniacal total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), depende de la dieta suministrada, de procesos metabólicos propios de cada especie cultivada y los desperdicios de las raciones, principalmente.

2) Cantidad de carbono (C) que se debe adicionar: de manera general en las propuestas de Avnimelech (2009), De Schryver (2008) y Kubitza, (2011), el porcentaje de carbón que tiene la fuente se aproxima a un $\approx 50\%$, sin embargo en la BFT se emplean diferentes fuentes, las cuales presentan variaciones en el nivel de carbono, lo cual puede afectar el funcionamiento del sistema (Ray y Lotz, 2014); para evitarlo se debe tener una mayor precisión en porcentaje de carbono existente en la fuente, no solo para tener una mayor aproximación a la relación C:N deseada, sino para analizar la diferencia en la composición del biofloc y su aporte al sistema, por lo que la elección de la fuente de carbono es de primordial importancia (Crab et al, 2010), dado que cada fuente afecta la composición nutricional, morfoestructura y la comunidad microbiana de los bioflocs,

3) Aporte de oxígeno (O_2): en los cultivos con BFT se debe garantizar que la concentración de O_2 cubra los requerimientos tanto de la especie íctica como de los microorganismos cultivados. Diferentes estudios presentan el consumo de O_2 por parte de peces en cultivo, evidenciándose que el consumo de este es inversamente proporcional al peso del pez y directamente a la temperatura del agua, como en tilapia roja – *Oreochromis*

sp. (Valbuena y Cruz, 2006) y cachama blanca - *Piaractus brachypomus* (Valbuena et al, 2006).

También las reacciones metabólicas de las bacterias para remover el N consumen O₂; en el caso de las bacterias heterotróficas el balance de la reacción metabólica que incluyen la descomposición del amonio para transformarlo en biomasa bacteriana, para remover 1 gramo de amonio el consumo de oxígeno es de 4,7 g. Para las bacterias quimioautotróficas, las reacciones de metabolismo incluyen la descomposición del amonio (NH₃) en nitrito (N-NO₂⁻) y después en nitrato (N-NO₃⁻), para finalmente a través de reacciones anaeróbicas por proceso de desnitrificación en nitrógeno atmosférico (N₂), el balance de las reacciones presentan que para transformar 1 gramo de amonio el consumo de oxígeno es de 4,2 g (Ebeling, 2006).

Con los requerimientos de oxígeno de los peces y microorganismos en un tanque con BFT presentados, surge la pregunta, ¿cómo incorporar el O₂ al agua?, y este es otro aspecto técnico crucial, pues el sistema empleado además de cubrir los requerimientos de O₂ debe garantizar que los complejos de bioflocs se mantenga en suspensión impidiendo que se precipiten, este es un proceso físico que se solventa en muchos casos con burbujas (micro), siendo el más empleado en Colombia las mangueras micro perforadas conectadas a un soplador (blower).

4) Monitoreo y mantenimiento de la calidad de agua: la estricta y permanente medición, seguimiento e interpretación de los parámetros de calidad de agua es principal en la BFT, pues de esto depende saber lo que está sucediendo en cada tanque y tomar decisiones oportunas evitando traumatismos. Los parámetros que deben ser medidos y utilizados son:

O₂, amonio (N-NH₄), nitritos (NO₂ -), nitratos (NO₃ -), T°, pH, alcalinidad, dureza, salinidad, solidos sedimentables y solidos totales, como los más relevantes.

La interacción entre estos parámetros es lo que hace que la calidad de agua se mantenga o no en los intervalos de confort y su entendimiento permite saber que sucede en el tanque de cultivo; por ejemplo, la relación entre el % NH₃ – N del NAT y el pH es proporcional e inversa al CO₂, estando en función de la temperatura y salinidad. Las lecturas y sus interpretaciones acertadas indicaran el o los suplementos que se deberían adicionar para mantener los parámetros de calidad de agua en los rangos favorables para el cultivo de peces y microorganismos.

5) Personal técnico: el personal capacitado para el manejo de esta tecnología es fundamental para un adecuado manejo de los tanques con BFT. En Colombia hay muy pocos técnicos capacitados, estudiosos y entrenados. Las instituciones que ofertan formación a nivel de pregrado específicamente en acuicultura son escasas (tres con carreras registradas en el Ministerio de Educación), y los currículos de estas ofrecen cursos superficiales sobre la TBF. Un solo posgrado en acuicultura existente tampoco es suficiente. Tampoco hay centros de formación de técnicos y tecnólogos, en consecuencia, los retos de formación en esta y otras tecnologías de punta para la producción de peces, son grandes.

Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno se inicia con la reducción del nitrógeno atmosférico (N_2) a amonio (NH_4^+), proceso al que se le denomina fijación de N_2 , esta puede ser biológica (FBN - Fijación Biológica de Nitrógeno), o catalizada por descargas eléctricas (rayos) y de forma artificial para la fabricación de fertilizantes. Posteriormente, el amonio se convierte en nitrato (NO_3^-) mediante la nitrificación (Odum, 2006). El amonio y el nitrato son asimilables por ejemplo por las plantas, que a su vez sirven para la nutrición del hombre y otros animales.

Por otro lado, el nitrato se reduce a N_2 mediante el proceso de respiración anóxico llamado desnitrificación, lo que completa el ciclo del N en la biosfera. En condiciones anaeróbicas además puede darse la reducción de nitrato a amonio por procesos asimilativos o por procesos desasimilativos (reducción desasimilativa de nitrato a amonio, del inglés DNRA). Este último es llevado a cabo en general por bacterias fermentadoras que compiten por el nitrato con las bacterias desnitrificantes en condiciones anóxicas (Atlas y Bartha, 2002).

Nitrificación

La nitrificación es el proceso aerobio, donde se da la oxidación biológica de nitrógeno amoniacal en nitrato, con la presencia de nitrito intermediario y es realizado por bacterias pertenecientes al género *Nitrosomonas* (que oxidan $N-NH_4^+$ a $N-NO_2^-$) y *Nitrobacter* (que oxidan $N-NO_2^-$ a NO_3^-) son responsables por la mayor parte de nitrificación en la naturaleza (Roldán, 1992). Son microorganismos Gramnegativos litoautotróficos no esporulados y pueden ser de morfología esférica, bacilar o espiral. La nitrificación es un proceso autotrófico, la energía necesaria para el crecimiento bacteriano

se obtiene de la oxidación de compuestos de nitrógeno, principalmente amoníaco. Para la síntesis de células nuevas, los organismos nitrificadores emplean el dióxido de carbono (carbono orgánico) (Marín, 2003).

Desnitrificación

Las bacterias desnitrificantes obtienen energía para su crecimiento a partir de la conversión en nitrógeno gaseoso, pero requieren una fuente de carbono para la síntesis celular, con frecuencia una fuente externa de carbono. La desnitrificación es un proceso respiratorio anaerobio heterotrófico del tipo anóxico, donde la reducción del nitrato hasta N_2 sigue una serie de pasos que involucran la actividad de enzimas diferentes (Roldán, 1992).

En esta vía anaeróbica, se utiliza el nitrato como aceptor final de electrones, el cual luego de una serie de pasos es reducido hasta N_2 y en algunos casos sólo hasta N_2O . Los géneros desnitrificantes más citados incluyen: *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Thiosphaera* y *Thauera*, entre otros. La mayoría de ellos son heterótrofos, pero algunos pueden crecer autotróficamente con hidrógeno y CO_2 , o con compuestos reducidos (Grant y Long, 1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

SITIOS DE MUESTREO

Esta investigación se desarrolló en la Piscícola San Silvestre S.A, ubicada en la vereda Campo Gala, Barrancabermeja - Santander (Colombia). Localizada a los 7°06'30" de latitud norte y 73°51'22" de longitud oeste, en el sitio donde inicia el caño San Silvestre (vertedero de la ciénaga San Silvestre), a una altitud de 75 msnm y valores anuales promedio de temperatura 28,5°C, humedad relativa 85% y precipitación 2500 mm.

Durante el año, la columna de agua de la ciénaga depende principalmente de la cuenca de la quebrada El Zarzal, que comprende los municipios de San Vicente de Chucurí, El Carmen y Barrancabermeja. Al final de la primera época seca del año (entre final de marzo y comienzo de abril), el área inundable y la columna de agua de la ciénaga se reduce considerablemente (IDEAM 2012, 2013).

En la Figura 2 se muestra la distribución de las unidades experimentales establecidas en el proyecto: “Desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades”. Las unidades experimentales se dotaron de aireación permanente, mediante el sistema “flauta”, con mangueras polidifusoras, utilizando un blower de 1.74 HP marca Power.

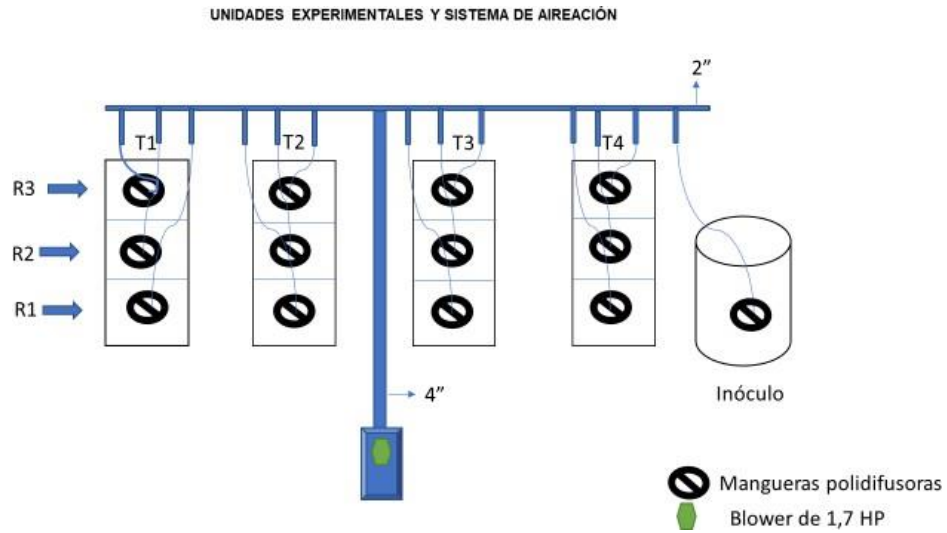


Figura 2. Unidades experimentales y sistema de aireación. Fuente: Autoría propia.



Fotografía 1. Panorámica de las instalaciones de la Piscícola San Silvestre – PSS en Barrancabermeja. Fuente: PSS 2018

METODOLOGÍA

Desempeño zootécnico durante la pre - cría y levante del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en sistema biofloc (BFT), a diferentes densidades

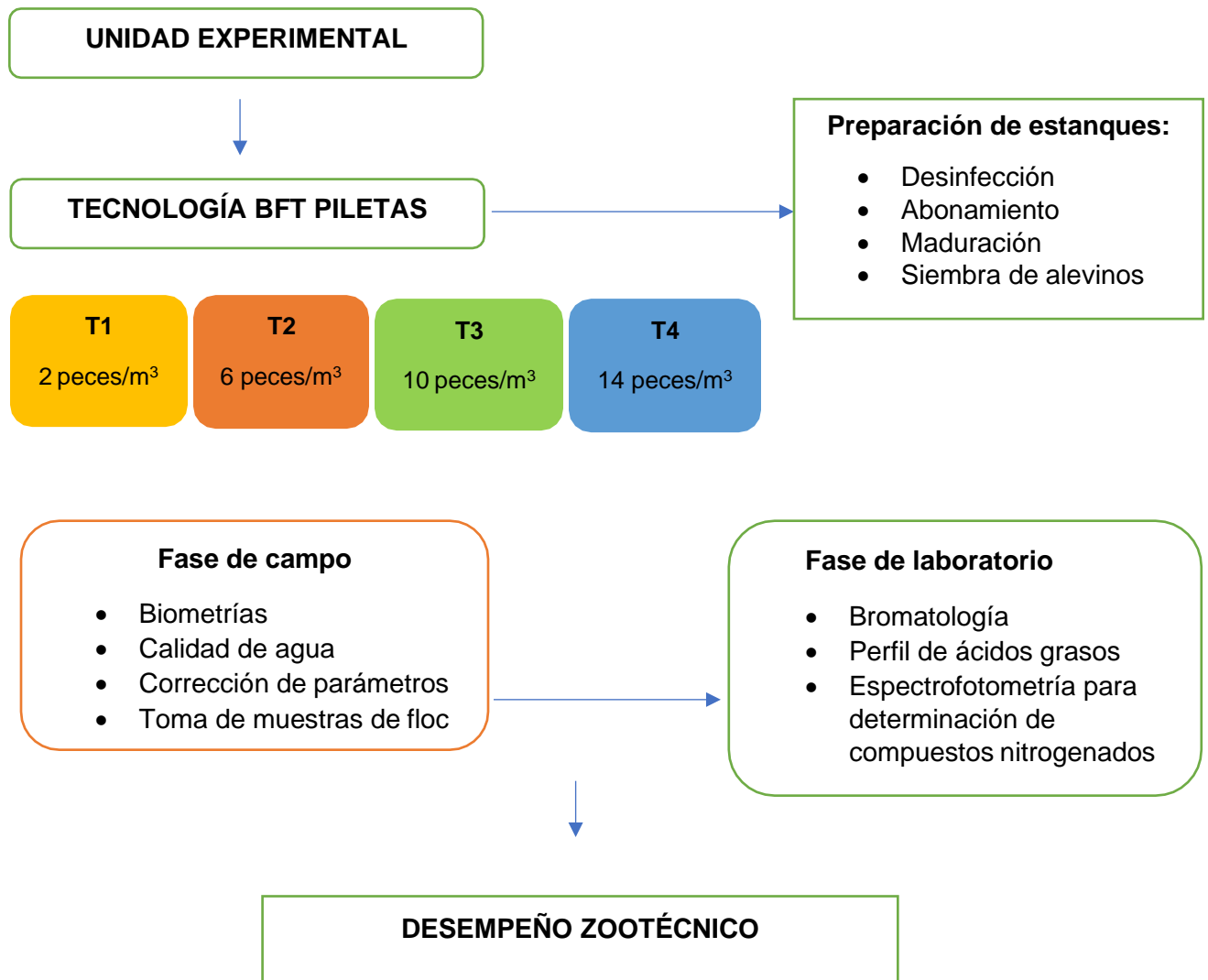


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología. Fuente: autoría propia

Tipo de estudio

El tipo de estudio es experimental.

Período de muestreo

Se realizó un diseño experimental en campo y laboratorio, utilizando cuatro unidades experimentales en sistema BFT, con una frecuencia de muestreo cada veinte días, hasta alcanzar los ochenta (80) días de cultivo.

Tamaño de la población

Se utilizaron cuatro piletas para el cultivo, correspondiente a los cuatro tratamientos. Tratamiento T1, T2, T3 y T4, en cada tratamiento se utilizaron tres replicas, en sistema BFT. El tamaño de la población se estimó tomando como referencia las dimensiones de cada pileta y las densidades de siembra en cada tratamiento, así: T1 - 2 peces /m³, T2 - 6 peces /m³, T3 - 10 peces /m³ y T4 - 14 peces /m³.

Procedimiento para la recopilación de datos

Los datos se recolectaron de forma estructurada en una bitácora y formatos diseñados para los parámetros a medir.

Para los datos de calidad de agua, se tomaron registros diarios correspondientes a temperatura (T°), sólidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica (CE), pH, % de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto (OD), utilizando un Multiparámetro digital marca YSI 556MPS®) y semanalmente se tomaron los datos relacionados con alcalinidad y dureza, por titulación.

Para los índices zootécnicos cada veinte días se realizó una biometría, donde se tomaban los datos correspondientes a peso y longitud total (Lt).

La sobrevivencia se determinó sólo hasta el final del ensayo, al vaciar las piletas se contabilizaron los peces vivos por cada replica y tratamiento.

En los formatos se tenía un apartado de observaciones, en donde se registraba cualquier eventualidad encontrada. Posterior a ello los datos se pasaban a un formato en Excel para el respectivo análisis estadístico.

PREPARACIÓN DE ESTANQUES

Adecuación de piletas: cada pileta tiene un volumen aproximado de 16 m³ (5,7m x 2,8m x 1m), en cada una de ellas se ubicó un tratamiento; cada pileta se dividió en tres secciones, donde se tuvieron las 3 réplicas. La división se hizo con malla mosquitera plástica de 1,5 mm y se sujetó a una estructura de soporte en tubo PVC de 1½”.

PROTOCOLO DE DESINFECCIÓN

Uso de detergentes: se aplican 100 gramos de detergente en 20 litros de agua, se procede a mezclar homogéneamente y restregar con una esponja las paredes internas de las piletas. Se deja reaccionar por 30 minutos y se enjuaga con abundante agua.

Uso de cloro: se aplican 2 gramos de hipoclorito de calcio al 70% en 20 litros de agua, se mezclan homogéneamente hasta disolver por completo el cloro. Una vez completada la lejía se aplica por las paredes internas del tanque. Se deja reaccionar 30 minutos y se enjuaga con abundante agua.

Uso de formalina: se aplican 10 ml de formol en una bomba de 20 litros, se fumiga homogéneamente las paredes internas del estanque. Se deja reaccionar por 30 minutos y se enjuaga con abundante agua. Además, se recomienda llenar con 10 cm del volumen total del tanque.



Fotografía 2. Protocolo de desinfección de las piletas para el control de hongos, virus y bacterias. Fuente: autoría propia.

Uso de peróxido de hidrogeno: se aplican 100 ml de peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) en 20 litros de agua, se mezclan homogéneamente y se aplican sobre la superficie del agua. Decantar y proceder al llenado.

Protocolo de floculación piscícola: con la finalidad de disminuir los sólidos presentes en el agua se utilizó cal hidratada como agente floculador o hipoclorito de calcio para precipitar el hierro. Se pesaron 100 gramos de cal hidratada en la balanza electrónica, luego en un balde de 20 litros limpio y seco, se mezcló homogéneamente hasta completar una lechada de cal. Se adicionó al raleo por toda la superficie de la pileta.

Luego de realizar la adición se esperó 24 horas y se sifoneó (sacar agua por medio tubo de desagüe), en unos 10 cm de columna vertical. Posterior al proceso de floculación se

adicionó peróxido de hidrogeno en una dosis de 100 ml y se mezcló en 20 litros de agua. De esta forma se culminó el proceso de floculación.

INÓCULO INICIAL DE FLOC Y MADURACIÓN

Para establecer el inóculo inicial del sistema biofloc se tomó agua de pozo y agua de la ciénaga San Silvestre con la activación de probiótico Pondox ®. El fomento y desarrollo de bacterias nitrificantes y heterotróficas, se logró a partir de la adición de melaza como fuente de carbono para mantener una relación C:N de 20:1. La cantidad de nitrógeno total (NT) en el cultivo (mg/L) se estimó con la ecuación propuesta por Kubitzka, 2011.

La cantidad de cantidad de melaza (g) se estimó con la ecuación (1):

Melaza = $NT \cdot (20 - 12)$, donde 20 es la relación teórica de C:N (20:1) en el manejo de los sistemas de cultivo BFT y 12 es la relación C:N (12:1) de las raciones alimenticias con 24% de PB. Durante los 30 días de maduración se evidenció, la dinámica que deben seguir los productos nitrogenados en la estabilización, para su posterior maduración del inóculo de floc y siembra de los alevinos.

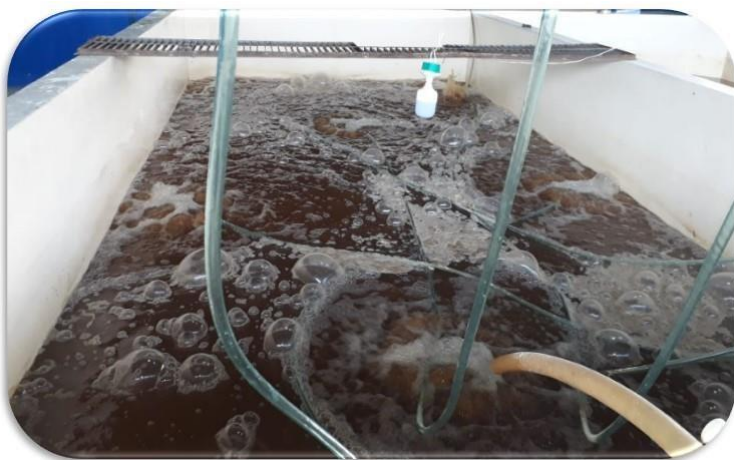
La relación C:N se estimó considerando que el 50% de las concentraciones de los alimentos comerciales utilizados en acuicultura, correspondieron a carbono y se utilizará la ecuación: $C:N = (50\% \cdot PAR) / PTAS \cdot \%PB \cdot 15,5$ (Ec. 3), donde 50% es la concentración de carbono en alimento comercial; PAR es el peso total alimento suministrado en ración; PTAS es el peso total alimento suministrado; %PB es el porcentaje de proteína del alimento y 15,5 como constante del porcentaje de nitrógeno en la proteína del alimento.



Fotografía 3. Inóculo inicial de floc en tanque de 500 lts. Fuente: autoría propia.



Fotografía 4. Siembra del inóculo de floc en las piletas. Fuente: autoría propia.



Fotografía 5. Maduración del floc en las piletas (15 días después de la siembra) .Fuente: autoría propia.



Fotografía 6. Maduración del floc en las piletas (30 días después de la siembra). Fuente: autoría propia.

SIEMBRA DE ALEVINOS

Los alevinos de bocachico fueron obtenidos mediante reproducción inducida en la Piscícola San Silvestre S.A, tomando como referencia cuatro densidades: T1 - 2 peces /m³, T2 - 6 peces /m³, T3 - 10 peces /m³ y T4 - 14 peces /m³, cada tratamiento tuvo tres réplicas, para un total de 510 animales (Tabla 1). Fueron alimentados dos veces al día durante los primeros 30 días, con alimento comercial (mojarra 40 harina), a una tasa de alimentación del 10%.

Tabla 1. Número de animales por tratamiento

Animales de experimentación		
Tratamiento	Densidad	Total de animales iniciales
T1	2 peces /m ³	33
T2	6 peces /m ³	96
T3	10 peces /m ³	159
T4	14 peces /m ³	222

Tabla 1. Muestra los cuatro tratamientos con sus respectivos número de animales. Fuente: autoría propia.

Cada 20 días se realizó muestreo biométrico, con aproximadamente el 20% de los peces de cada tratamiento, se midió la longitud total (Lt) con un ictiómetro graduado en milímetros y el peso total con una balanza analítica (Ohaus, PioneerTM Analytical, USA). En cada muestreo se estimó: ganancia en peso (Gp), Ganancia en longitud total (Gl), Ganancia diaria de peso (Gdp), Tasa específica de crecimiento en peso (G), Supervivencia (S) y Factor de Conversión Alimenticia (FCA).

FASE DE CAMPO

VARIABLES AMBIENTALES

Se utilizó una sonda multiparamétrica (YSI - Profesional plus), para medir dos veces al día, las variables: oxígeno disuelto, pH, temperatura, % de saturación de oxígeno, sólidos totales y conductividad. Además, se utilizó el equipo DR 3900, para medir amonio total (NAT), NH₃, NO₂, NO₃. De otra parte, la alcalinidad y la dureza se midieron por titulación, utilizando el titulador digital HACH de ácido sulfúrico, 0,1600 N, una vez por semana.

Variables biológicas

Las muestras de floc fueron tomadas mensualmente usando una malla 80 µm y un tanque sedimentador (100 l), posteriormente fueron secadas en un horno por diez minutos y puestas al calor del sol, pero bajo sombra por 12 horas. Las muestras se empacaron, rotularon y refrigeraron, para luego ser enviadas al laboratorio para su posterior análisis.

FASE DE LABORATORIO

Se realizó bromatología a los floc de cada tratamiento y sus respectivas réplicas, que fueron producto del sistema de cultivo BFT.

Se hizo la evaluación bromatológica, el perfil de ácidos grasos y espectrofotometría para determinación de compuestos nitrogenados. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos que se recolectaron a través de los formatos de campo, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) y todas las variables fueron sometidas a pruebas de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (test de Bartlett). Se aplicó Análisis de Varianza (ANOVA), seguido de la prueba de rango múltiple de Duncan. En todos los casos, se utilizó un nivel de confianza mayor al 95%. El análisis estadístico se realizó con ayuda del software SAS versión para Windows 9,2 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA).

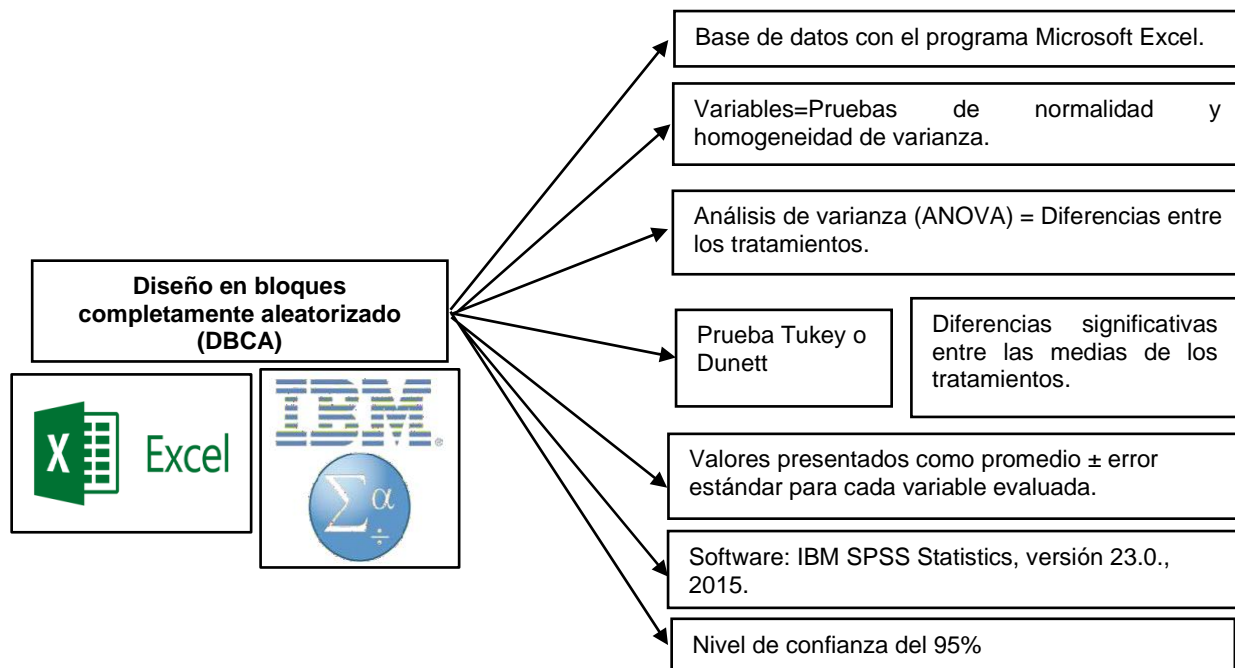


Figura 4. Diseño experimental y análisis estadístico

Fuente: Autoría propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desempeño productivo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos, respecto a los parámetros longitud total (Lt) y peso (P).

Tabla 2. Longitud total (Lt) inicial y final, por tratamiento

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	V _P
Longitud inicial (cm)	3,8				
Longitud final (cm)	14,3	12,5	11,4	12,1	0,0008<0,05

La tabla 2 muestra las longitudes de los animales al inicio y final de la etapa experimental para cada uno de los tratamientos. Fuente: Autoría propia.

Tabla 3. Peso inicial y final, por tratamiento

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	V _P
Peso inicial (g)	0,9				
Peso final (g)	35,3	22,0	17,0	20,9	0,0008<0,05

La tabla 3 muestra el peso de los animales al inicio y final de la etapa experimental para cada uno de los tratamientos. Fuente: Autoría propia.

Los resultados permiten establecer que el bocachico cultivado en sistema BFT, en las condiciones medioambientales y de calidad de agua de la ciénaga San Silvestre en Barrancabermeja (Santander - Colombia), presentó el mejor desempeño en aumento de peso, a una densidad de 2 p/m³ (T1), con una diferencia significativa respecto de los demás tratamientos (T2 - 6 p/m³, T3 - 10 p/m³ y T4 - 14 p/m³).

La ganancia en peso de los ejemplares sembrados a una densidad de 2 p/m³, fue de 34,4 g en un período de 80 días, lo que arroja una tasa de crecimiento de 0,43 g/día.

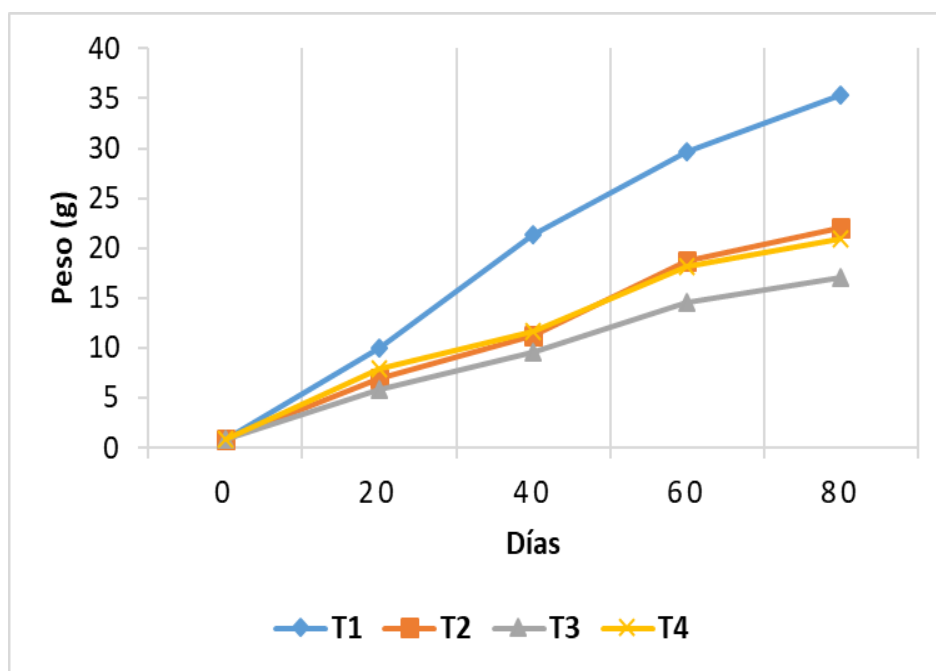


Figura 5. Peso de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT. Fuente: Autoría propia

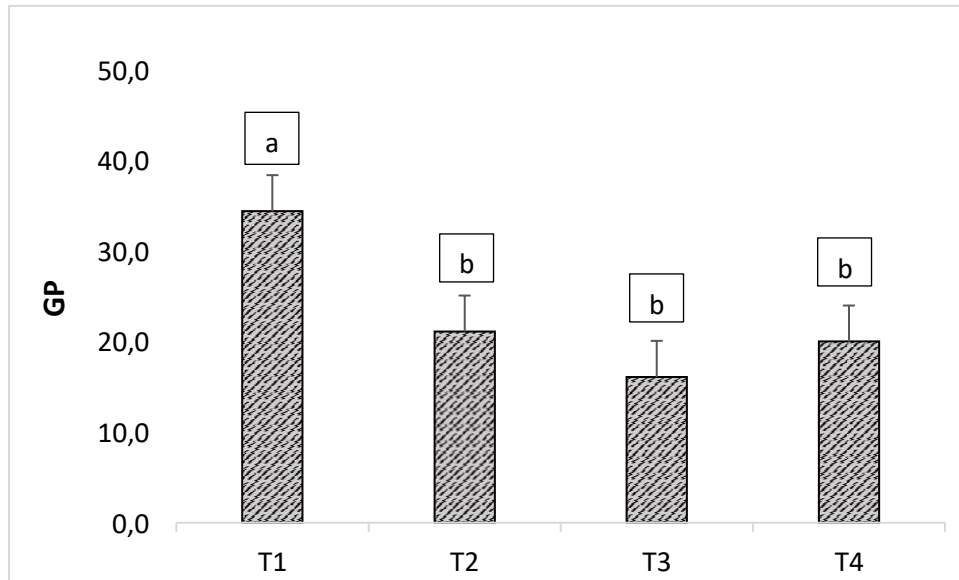


Figura 6. Ganancia de peso en bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT. Fuente: Autoría propia

De la misma manera, los resultados obtenidos respecto a longitud total (Lt) y ganancia en longitud muestran al T1 - 2 p/m³, como el tratamiento que presentó el mejor desempeño sobre los demás tratamientos.

Los tratamientos T2 - 6 p/m³, T3 - 10 p/m³ y T4 - 14 p/m³, presentaron los menores incrementos en talla, sin diferencias significativas.

La ganancia en longitud de los ejemplares sembrados a una densidad de 2 p/m³, fue de 10,5 cm en un período de 80 días.

Los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes con los resultados obtenidos por Ayazo-Genes *et al* en 2018, quienes encontraron que a la densidad de 5 p/m³ el bocachico presentó los mejores rendimientos en peso.

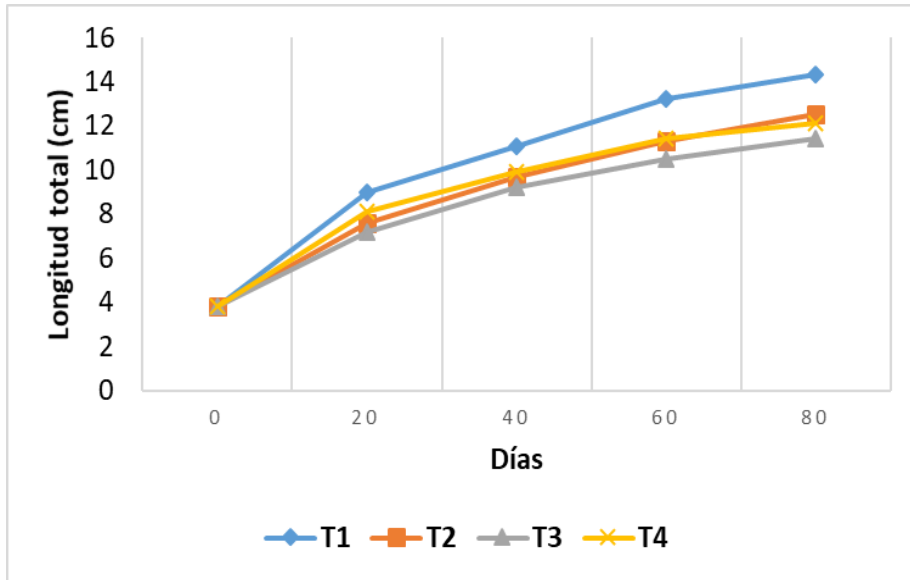


Figura 7. Longitud de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT. Fuente: Autoría propia.

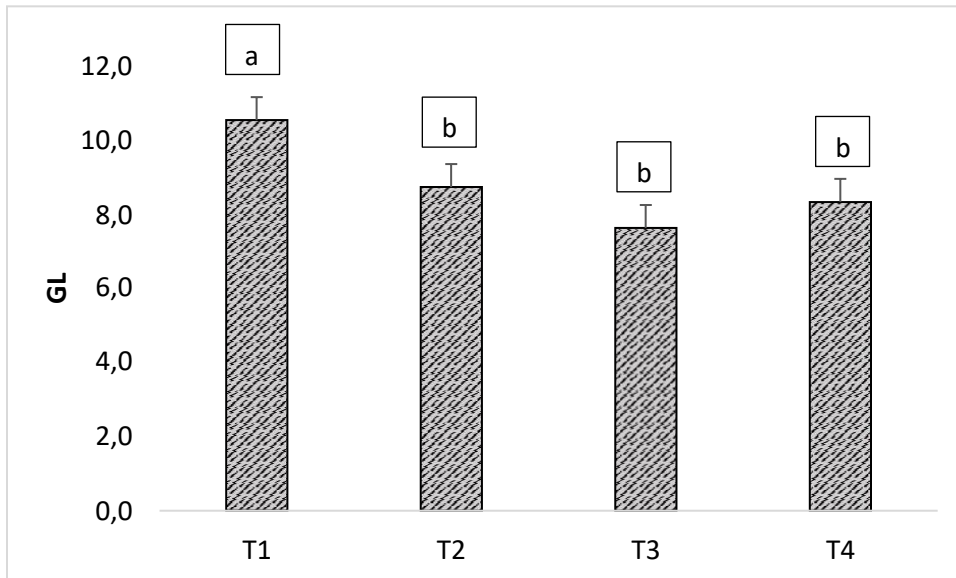


Figura 8. Ganancia de longitud en bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de pre-cría y levante en sistema BFT. Fuente: Autoría propia

Sobrevivencia

Los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos, respecto a la variable sobrevivencia se relacionan a continuación.

Tabla 4. Sobrevivencia por tratamiento

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	V_p
# Animales iniciales	33	96	159	222	
Sobrevivencia (%)	66,66±7,130 ^a	62,42±23,98 ^a	65,42±23,98 ^a	68,19±19,55 ^a	0,9773 > 0,05

La tabla 4 muestra el porcentaje de sobrevivencia correspondiente a cada uno de los tratamientos durante la fase experimental. Fuente: Autoría propia

Con base en los resultados de sobrevivencia entre tratamientos, no se observó diferencia significativa ($V_p=0,97>0,05$). Es de aclarar que la sobrevivencia pudo estar afectada por variaciones ambientales no controladas ni analizadas en esta investigación, adicionalmente, en las fechas de experimentación se presentaron problemas eléctricos que contribuyeron negativamente a disminuciones de oxígeno al momento de no tener funcionando los aireadores, aunque los problemas se solucionaron en la menor brevedad posible, la disminución del oxígeno por horas consecutivas pueden afectar el rendimiento y sobrevivencia de los animales.

Bromatología del floc

El análisis bromatológico realizado a los flóculos de los cuatro tratamientos presentó valores para proteína entre 27,9% a 36,7% y para extracto etéreo entre 1,1% y 2,2%.

Rodríguez-Tobar *et al* en 2018, realizaron el Análisis proximal de la harina de Biofloc del cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y encontraron que los porcentajes de proteína están en el rango de 25 a 50%, siendo los más común entre 30 - 45%; y que el porcentaje de grasa varía de 0,5 a 15%, el más común se encuentra en el rango de 1 y 5%.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son consistentes con las cifras reportadas en el sistema BFT para otras especies de cultivo.

Para destacar, el tratamiento T4 - 14 p/m³, que presentó el flóculo con mayor valor de proteína 36,7%, dato que podría ser atribuido a dos condiciones: una mayor cantidad de compuestos nitrogenados producto del metabolismo de una mayor cantidad de individuos y una cantidad superior de alimento suplementario no consumido por los peces.

Tabla 5. Bromatología de los flóculos del sistema BFT

Composición	T1	T2	T3	T4
Materia seca (%)	89,1	94,8	92,2	91,2
Proteína (%)	28,7	27,9	32,6	36,7
Energía Mcal/Kg	3,3	3	3,1	2,4
Extracto etéreo (%)	1,7	1,4	1,1	2,2
Cenizas (%)	30,2	38,8	33,7	22,4

La tabla 5 muestra bromatología de los flóculos del sistema BFT en el cultivo de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en etapa de pre-cría y levante. Fuente: Autoría propia

Además del análisis bromatológico, a las muestras de floc se les realizó un “perfil de ácidos grasos”, para analizar su contenido.

Para resaltar en este trabajo, el caso particular de los ácidos grasos *C18:1n-9c* (ácido oléico) y *C18:2n-6c* (ácido linoléico), en los cuales se obtuvieron valores superiores a los que obtuvo Alzate-Díaz en 2017, quien evaluó los ácidos grasos de la biomasa del floc de cachamas cultivadas en sistema BFT.

Para el *C18:1n-9c* en este trabajo se obtuvieron valores entre 28,9 - 32,8%, mientras que Alzate-Díaz en 2017 reporta valores entre 22,2 - 27,8%. Para el caso del *C18:2n-6c*, en este trabajo se obtuvieron valores entre 10,6 - 16,7%, mientras que Alzate-Díaz en 2017 reporta valores entre 13,0 - 14,8%.

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de los flóculos del sistema BFT

Ácido graso	T1	T2	T3	T4
C14:0	3,74	1,49	2,32	1,79
C16:0	27,87	25,68	25,97	25,41
C16:1	5,15	3,99	5,05	5,38
C18:0	8,68	6,8	9,96	7,61
C18:1n-9t	0,41	0,28	0,37	0,05
C18:1n-9c	28,91	40,71	32,88	35,31
C18:1n-7	11,15	4,28	12,83	8,83
C18:2n-6c	14,09	16,77	10,62	15,62
Total	100	100	100	100

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos de los flóculos del sistema BFT en el cultivo de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en etapa de pre-cría y levante. Fuente: Autoría propia

Parámetros de calidad de agua

Respecto a los parámetros de calidad de agua registrados durante el cultivo, los resultados muestran que los valores para temperatura, oxígeno disuelto y pH en los cuatro tratamientos no presentaron diferencias y estuvieron dentro del rango esperado para este sistema de cultivo.

Para los parámetros alcalinidad, dureza y conductividad se presentaron diferencias marcadas en los valores para los cuatro tratamientos.

El parámetro Sólidos Disueltos Totales - SDT, presentó diferencias importantes entre los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento T1 - 2 p/m³ el de menor valor y los tratamientos T2 - 6 p/m³, T3 - 10 p/m³ y T4 - 14 p/m³, los de mayores valores. Estas cifras son consecuentes con las densidades, pues a menor densidad menor cantidad de SDT y a mayor densidad mayor valor de SDT.

Tabla 7. Parámetros de calidad de agua registrados durante el cultivo de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de pre-cría y levante. Fuente: Autoría propia

PARÁMETRO	T1	T2	T3	T4
<i>T</i> (°C)	27,73 ± 0,10	27,50 ± 0,62	27,60 ± 0,61	27,65 ± 0,60
<i>OD</i> (MG.L ⁻¹)	7,19 ± 0,51	7,37 ± 0,41	6,80 ± 0,53	7,05 ± 0,07
<i>PH</i>	7,87 ± 0,12	8,00 ± 0,20	8,12 ± 0,23	8,10 ± 0,26
<i>ALCALINIDAD</i> (MG.L ⁻¹)	149,35 ± 47,75	229,75 ± 99,86	171,10 ± 34,53	159,20 ± 38,28
¹⁾				
<i>DUREZA</i> (MG.L ⁻¹)	77,75 ± 24,09	104,53 ± 13,77	108,00 ± 24,06	84,30 ± 10,15
<i>NAT</i> (MG.L ⁻¹)	3,22 ± 2,29	3,37 ± 2,75	3,48 ± 2,86	2,94 ± 2,17
<i>NH₃</i> (MG.L ⁻¹)	2,81 ± 4,80	3,25 ± 5,84	0,33 ± 0,32	2,71 ± 4,87
<i>CONDUCT.</i> (μS)	751,53 ± 394,57	4358,80 ± 319,86	4012,93 ± 416,78	3407,60 ± 396,56
<i>SDT</i> (MG.L ⁻¹)	463,33 ± 242,10	2687,10 ± 189,40	2471,30 ± 261,69	2095,0 ± 243,69
<i>NO₂</i> (MG.L ⁻¹)	0,68 ± 0,97	0,38 ± 0,43	0,31 ± 0,21	0,29 ± 0,18
<i>NO₃</i> (MG.L ⁻¹)	11,10 ± 10,75	18,55 ± 10,39	17,80 ± 9,33	13,20 ± 3,96

Discusión general

Un cultivo de peces exitoso se basa en la comprensión de cada una de las etapas de desarrollo de la especie. Una de las etapas que requiere mayor cuidado y es crucial en un sistema de producción, es la etapa de pre - cría y levante, donde las nuevas tecnologías como el biofloc - BFT hacen su mayor aporte para el buen desempeño de las producciones.

En el desarrollo de la piscicultura de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), se conocen bien las tecnologías de reproducción inducida, manejo de primera alimentación y el levante de alevinos, logrando de esta manera producir grandes cantidades de alevinos, cuyo destino muchas veces son grandes lagos (reservorios de agua), en donde se cultivan extensivamente o programas de repoblamiento en cuerpos de aguas naturales. Los primeros estudios sobre el cultivo en fase de engorde de esta especie tienen más de 10 años, en los cuales, la mayoría concluyen que los mejores resultados se consiguen cuando se siembra el bocachico a bajas densidades (1 a 0,3 peces/m²), necesitando hasta dos años para alcanzar peso promedio de 500 g.

La densidad de siembra trabajada en el presente estudio oscilo entre (2 - 14 peces/m³); mostrando mejor ganancia en longitud y peso para el tratamiento que tenía menor cantidad de peces por metro cúbico, lo que coincide con reportes en los cuales la densidad de siembra de especie como el bocachico se incrementó a densidades no evaluadas de (5 - 20 peces/m³); obteniéndose los mejores resultados de crecimiento a la densidad más baja (5 peces/m³); pero sin diferencias en el factor de condición y la sobrevivencia con las más altas densidades evaluadas. Sugiriendo con ello que densidades

no superiores a los 10 peces/m³, pueden ser implementadas en los sistemas de cultivo biofloc para esta especie en la fase de pre-engorde, al permitir adecuado desempeño en crecimiento y variables productivas. Aunque el estudio mencionado coincide con que los mejores resultados se dan a densidades más pequeñas, cabe considerar que ellos no arrojaron diferencias significativas en el factor de conversión. Lo que indica que es posible utilizar las densidades más altas sin alterar su rendimiento productivo.

Uno de los aspectos que se ve afectado por la densidad de siembra de cualquier cultivo, es la sobrevivencia, que para el presente trabajo estuvo entre el 62% y el 68%, aproximadamente. En algunos reportes de estudios similares, la sobrevivencia obtenida fue superior al 80%, la cual se considera alta para esta especie, ya que en cultivos en estanques en tierra bien sea en policultivo o con presencia de superficies fijadoras, registra sobrevivencias menores de 30%. Los buenos resultados de sobrevivencia obtenidos en los ensayos con biofloc, se sugieren como consecuencia del bienestar y adaptación de los animales al sistema de cultivo.

Los parámetros de crecimiento para el bocachico en diferentes densidades arrojaron diferencias a una densidad de 2 p/m³ (T1), con una diferencia significativa respecto de los demás tratamientos (T2 - 6 p/m³, T3 - 10 p/m³ y T4 - 14 p/m³).

La ganancia en peso de los ejemplares sembrados a una densidad de 2 p/m³, fue de 34,4 g en un período de 80 días, lo que arroja una tasa de crecimiento de 0,43 g/día. Estos resultados se encuentran por debajo de lo reportado para otras especies como cachama y tilapia, cultivadas en el mismo sistema de biofloc, donde se registran ganancias de peso de 1,3±0,2 g/día, o lo reportado por Poleo *et al.* (2011) en las mismas especies,

pero en sistema RAS, donde se alcanzaron ganancias de peso de $2,33 \pm 0,03$ g, a densidades de 31 peces/m³. Aunque estos valores difieren de lo reportado en nuestro estudio, cabe considerar que se trata de especies de cultivo comercial, las cuales en etapas de crecimiento se comportan diferente a las especies nativas. A eso se le suma lo reportado por Granado (2000), quien afirma que la densidad puede reducir el crecimiento debido a la competencia por el espacio, además de otra serie de situaciones relacionadas con la calidad de agua, como la alta generación de metabolitos, y aunque estos sistemas como (BFT y RAS) disminuyen estos impactos, sigue aun incidiendo la densidad de siembra de manera negativa sobre el crecimiento.

Atencio 2017, indica que el bocachico puede ser levantado en sistemas biofloc a densidades de 5 y 10 peces/m³, produciendo buenos resultados cuando se trabaja con reproductores. Otro autor (Ayazo 2018,) indicó que el mayor crecimiento se registró a densidades menores, lo que concuerda con lo reportado en el presente trabajo, concluyendo que el cultivo de bocachico en fase de pre-engorde es posible con biofloc a densidades de por lo menos 5 peces/m³.

En general, para que un ejemplar de bocachico alcance un peso comercial de 350 gramos, requiere por lo menos 12 meses de cultivo. No es común evaluar fases de pre-engorde en esta especie, por lo que no existen reportes previos de cultivo de bocachico en esta fase que permitan su comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio; el cual puede considerarse el primer intento de tecnificación del cultivo de la especie con la tecnología de cultivo biofloc.

Los análisis proximales obtenidos en el presente estudio de los flóculos mostraron una proteína cruda de 28,7 para T1, 27,9 para T2, 32,6 para T3 y 36,7 para T4. En cultivo de tilapia nilótica se reportaron flóculos con proteína entre 39% - 48% y lípidos crudos entre 12,6% y 43,3%, con suministro de alimento comercial del 32% PB. Sin embargo, los resultados del presente estudio son parecidos a los reportados por Luo et al. (2014), quienes encontraron flóculos con 30,9% de PC y 1,3% lípidos en un cultivo de tilapia nilótica alimentado con concentrado comercial del 43,6% PC y 6,5% de lípidos. Estos autores consideraron buenos resultados en cultivos de biofloc, con resultados idóneos en condición corporal debido al aporte proteico del floc bacteriano.

Es de recalcar que aportar mayor cantidad de proteína en el alimento no significa niveles altos en el floc, ya que estos dependen de la composición biológica del mismo (Azim y Little 2008; Ju et al. 2008). Sabry et al. (2015) indicaron que el exceso de proteína en los flóculos, puede estar asociado al suministro de fuentes de nitrógeno no proteico (urea, cloruro de amonio, nitrato de amonio, etc.) que se utilizan regularmente en la activación del biofloc. Para el caso de los lípidos, altos niveles se pueden presentar en el floc cuando lo integran organismos como diatomeas principalmente (Widanarni y Maryam, 2012).

Diferentes autores como Schryver y Verstraete (2009), sugirieron que el nivel de ceniza de los flóculos bacterianos depende la fuente de carbono empleado para el control del amonio. Widanarniy Maryam (2012) reportaron ceniza entre 25,1 y 28,7% utilizando melaza, mientras que Hussain et al. (2014), suministrando harina de maíz y arroz, encontraron 18% de ceniza en flóculos bacterianos. Los valores de ceniza en el presente

estudio (entre 22,4 y 38,8), se asemejan a lo reportado usando melaza y harinas, pero difieren de flóculos formados a partir de glucosa donde el nivel de ceniza no superó el 6% (Long et al., 2015). Sin embargo, los valores de ceniza reportados podrían estar influenciados por los niveles de ceniza contenidos en el alimento empleado y al inóculo del floc, Azim y Little (2008). Millamena (2002), sugiere que, para el caso de ceniza, niveles aceptables dependen del hábito alimenticio de la especie, pero que en general debe ser menor al 13%.

Con base en lo anterior, se puede indicar que el floc con el cual se trabajó en el presente estudio satisfacía los requerimientos nutricionales para el bocachico, considerando los niveles de proteína y lípidos requeridos para la especie. En un estudio realizado por Azim y Little (2008), en Tilapia del Nilo con crecimiento 45% mayor para los tanques con biofloc comparados con sistema de recirculación de agua (RAS), confirmaron la utilización de los flóculos como alimento por parte de los peces, señalando no haber encontrado diferencias significativas en términos nutricionales entre los tratamientos de biofloc cuyos alimentos tenían niveles 35% y 24% de proteína cruda; lo cual sugiere que, la calidad de los flóculos es independiente a la calidad del alimento.

En cuanto a los parámetros de calidad de agua, se mantuvieron dentro de los rangos aceptables para este tipo de cultivos. El oxígeno disuelto en todos los tratamientos se mantuvo alto, con valores promedio entre 6,8 y 7,3 mg/l y con altos porcentajes de saturación (>80%). Reportes en otras especies como tilapia, indican que 70,5% de saturación es adecuada para cultivo comercial de tilapias en sistema biofloc Kubitzka (2011). Es importante recalcar que en cultivos de biofloc el uso de aireadores es de vital

importancia para mantener los niveles óptimos de oxígeno disuelto requeridos por los peces y microorganismos, esperando de estos últimos que se encarguen de la eliminación de los compuestos nitrogenados, descomposición aeróbica de la materia orgánica y de la nitrificación. Además, la aireación cumple indirectamente otro papel fundamental y es mantener en suspensión los floc para que no se precipiten.

La temperatura promedio para este estudio estuvo alrededor de los 27°C, manteniéndose dentro del rango para el cultivo de bocachico y el desarrollo de otras comunidades de microorganismos. Lango 2012, afirmó que temperaturas tropicales (27 a 28°C) son ideales para mantener una alta concentración de bacterias suspendidas en la columna de agua, lo cual garantiza una adecuada velocidad de reacción del proceso de remoción de compuestos nitrogenados.

Para el parámetro de pH se registró en un valor promedio alrededor de 8,0 durante el tiempo de cultivo. Para Saavedra (2006), las especies tropicales presentan buen crecimiento con rangos de pH entre 6,5 y 9,0. Así mismo Poleo *et al.* (2011), reportan que especies como la cachama blanca crece bien a altas densidades en sistemas cerrados (RAS y SCR) con pH de 7,6 y Kubitza (2011) sugiere pH entre 7,0 y 8,0 para cultivo de tilapia en un sistema de biofloc.

La dureza total se mantuvo con valores por encima de 77,75 mg/l CaCO₃, con un valor máximo de 108,00 mg/l CaCO₃. Kubitza (2011), sugirió que valores de dureza superiores a 150 mg/l CaCO₃ son tolerables para el desarrollo de especies como la tilapia en sistemas biofloc; mientras que Poleo *et al.* (2011), reportan valores de 458,7 mg/L

CaCO₃ en cultivos de cachama blanca a alta densidad sin efectos evidentes en el crecimiento. Tenemos entonces que, los valores registrados en el presente estudio están muy por debajo de lo reportado en otros ensayos, lo cual se asocia a la condición del agua con la que se trabajó (ciénaga San Silvestre), que posee valores de dureza bajos (aguas blandas).

La alcalinidad registrada en este estudio en promedio para los cuatro tratamientos fue de 177,35 mg/l CaCO₃, dato que se ubica muy por encima del límite superior del rango recomendado (60 - 100 mg/l CaCO₃), por Kubitza (2011) para sistema BFT. Superando el rango recomendable para las especies de cultivo en este tipo de sistemas, sin embargo, Azim y Little (2008), indican que los sistemas biofloc pierden su capacidad buffer, por lo tanto, requieren adiciones frecuentes de carbono, con el fin de estabilizar el sistema.

En sistemas intensivos con nulo recambio de agua las bacterias son agentes principales en el mantenimiento de la calidad del agua y lo hacen a través de dos categorías funcionales: la asimilación heterotrófica del amoníaco y la nitrificación quimio-autotrófica de las bacterias (Ebeling *et al.*, 2006; Hargreaves, 2006).

En el tratamiento T2 se presentaron los mayores valores para NAT (3,37 mg/L) y para NH₃ (3,25 mg/L). En cultivos de tilapia con tecnología biofloc, se han reportado valores de NAT entre 2,0 y 2,4 mg/L, mientras que en cultivos de camarón los reportes oscilan entre 0,1 y 2,9 mg/L de NAT. El amonio no ionizado (NH₃), es la fracción tóxica del NAT. El rango de NH₃ registrado en el presente estudio es similar al reportado en

cultivo de peces y camarones con tecnología biofloc, en la mayoría de los casos valores cercanos a 3,0 mg/L.

Los valores de NO₂ - durante el período experimental fueron relativamente cercanos en los cuatro tratamientos, en un rango entre 0,29 y 0,68 mg/L, lo cual sugiere que este parámetro dependió más del manejo del sistema, que de la densidad de peces en cada tratamiento. Pérez - Fuentes et al. 2016, en cultivo de *Oreochromis niloticus* en sistema de biofloc registraron valores de NO₂ - entre 0,7±0,9 y 1,3±0,8 mg/L con densidades de 75 peces/m³. Por su parte, los valores de NO₃ - registrados en este ensayo (rango entre 11,10 ± 10,75 y 18,55 ± 10,39 mg/L), fueron inferiores a los reportados (40,7 y 48,4 mg/L de NO₃-) por Pérez - Fuentes et al. en tilapia.

CONCLUSIONES

Con el siguiente trabajo se logra concluir que;

Es posible cultivar bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en la etapa de levante, en sistema BFT a una densidad de 2 p/m³ y obtener buenos rendimientos en peso y talla, mejorando las posibilidades de la especie que normalmente se cultiva en sistemas extensivos o en policultivo.

En cuanto a la sobrevivencia, los porcentajes coinciden en todos los tratamientos, y con trabajos anteriores, que presentan porcentajes más altos, tienen también consideraciones diferentes en cuanto a metodología.

Las propiedades nutricionales del floc, lo hacen favorable para el cultivo de especies filtradoras como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), además de esto es indispensable en cuanto a calidad de agua monitorear constantemente la relación N/C, que garantice las condiciones idóneas y no interfieran con el desempeño productivo del animal.

ASPECTOS ÉTICOS

Con la realización de esta investigación no se afectaron los ecosistemas de humedales cercanos a la Piscícola San Silvestre S.A., ni tampoco la ictiofauna. La especie que se trabajó es una especie nativa de la región, por lo que no reviste peligro en caso de fuga.

Las cepas bacterianas utilizadas se consideran inocuas y no revisten peligro de infección para animales o humanos. Para resaltar, que se siguieron todas las normas de asepsia, de acuerdo con lo establecido en el Manual Básico de Sanidad Piscícola – Capítulo: consideraciones de higiene (FAO, 2011).

PLAN DE DIFUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sirven como trabajo de grado para el programa de Zootecnia de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Además, los resultados serán socializados en congresos y/o simposios.

BIBLIOGRAFÍA

- Asturiano J, Sorbera L, Ramos J, Kime D, Carrillo M, Zanuy S. (2002).
Groupsynchronous ovarian development, ovulation and spermiation in the
European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) could be regulated by shifts in gonadal
steroidogenesis. *Rev Sci Mar*; 66: 273–282.
- Atencio, V. J. (2000). Impactos de la Hidroeléctrica Urrá en los peces migratorios del
río Sinú. *Revista Temas Agrarios* 5 (9): 29-40.
- Atencio-García, V., Espinosa-Araujo, J., Pérez, E., Pardo-Carrasco, S. (2013). Evaluación
de dimetilacetamida como crioprotector para la crioconservación de semen de
bocachico *Prochilodus magdalenae*. *Rev Med Vet*; 45: 151-158.
- Atencio-García, V., Kerguelén, E., Wadnipar, L., Narváez, A. (2003). Manejo de la
primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Rev MVZ
Córdoba*; 8(1): 254-60.
- Atencio-García, V., Kerguelén-Durango, E., Robert-Petro, E. (2013). Desempeño
reproductivo del bocachico *Prochilodus magdalenae* inducido dos veces en un
mismo año. *Rev MVZ Córdoba*; 18(1): 3304-3310.
- Atlas RM, Bartha, R., (2002). *Ecología Microbiana y Microbiología ambiental*. Pearson
Education. S.A. Madrid.
- AUNAP-UNIMAGDALENA (2014). Informes gráficos capturas desembarcadas Sepec, en el
río
magdalena.<http://sepec.aunap.gov.co/InformesAvanzados/DesembarcoEspecie>.
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology – A practical Guide Book*. The

- World Aquaculture Society. 272 pp.
- Ayazo-Genes, J., Pertuz-Buelvas, V., Espinosa-Araujo, J., Jiménez- Velásquez, C., Atencio-García, V., Prieto-Guevara, M. (2018). Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc. *Rev Biotecnología en el Sector Agropecuario Agroindustrial*.16:(1). doi: <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.629>
- Bobe, J., Labbe, C. (2010). Egg and sperm quality in fish. *Rev General and Comparative Endocrinology*; 165: 535–548.
- Brady NC, (1984). *The Nature and Properties of Soils*. Macmillan New York, NY, pp.283-302.
- Burford, M., Thompson, P., McIntosh, R., Bauman, R., Pearson, D. (2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219: 393–411.
- Butts, I., Galvano, P., Johnson, K., Wilson, C., Pitcher, T. . (2013). Ovarian fluid influences sperm performance in lake trout, *Salvelinus namaycush*. *Rev Reproductive biology*; 13: 172–175
- Butts, I., Johnson, K., Wilson, C., Pitcher, T. (2012). Ovarian fluid enhances sperm velocity based on relatedness in lake trout, *Salvelinus namaycush*. *Theriogenology*; 78: 2105–9.
- Collazos LLF y Arias CJA. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. 2014;19(1): 77–86.

- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., Verstraete, W. (2010) The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquacult Res.* 2010;41:559–567.
- De Jesus, L., Bogerd, J., Vieceli, F., Branco, G., Camargo, M., Cassel, M., Moreira, R., Yan, C., Borella, M. (2017). Gonadotropin subunits of the characiform *Astyanax altiparanae*: Molecular characterization, spatiotemporal expression and their possible role on female reproductive dysfunction in captivity. *Rev General and Comparative Endocrinology*; 246: 150–163. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ygcen
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. (2008) The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture.* 2008;277:125-137.
- Duncan, N., Sonesson, K., Chavanne, H. (2013). Principles of finfish broodstock management in aquaculture: control of reproduction and genetic improvement. *Rev advances in aquaculture hatchery technology*; 23-75
- Ebeling, J., Timmons, M., Bisogni, J..(2006) Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture.* 257:346-358.
- Ekasari, J., Deasy, A., Waluyo, S., Bachtiar, T., Surawidjaja, E., Bossier, P., De Schryver, P.(2014) The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture.* (426-427):105-111.
- FAO. (2011), Manual Básico de Sanidad Piscícola: Capítulo 4. Métodos de intervención

en caso de aparición de enfermedades: FAO.

García, J., Celis, L., Villalba, E., Mendoza, L., Brú, S., Atencio, V., Pardo, S. (2011)

Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 58(II), 2011, p. 71-83.

García-Cruz, E., Peña-Osorio, K., Gómez-Ramírez, E., Hurtado-Giraldo, H. (2014).

Efecto del pH sobre la proporción oocitaria de *Paracheirodon axelrodi*, en cautiverio. *Rev. Orinoquia*; 18(2)

Goetz, F., Bergman, H. (1978). The effects of steroids on final maturation and ovulation

of oocytes from brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and yellow perch (*Perca flavescens*). *Rev Biol. Reprod*; 18: 293–298. <http://dx.doi.org/10.1095/biolreprod18.2.293>.

Goetz, F., Garczynski, M. (1997). The ovarian regulation of ovulation in teleost fish.

Rev Fish Physiol. Biochem; 17: 33–38.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1007765902327>.

Grant, W. D. y Long, P.E. (1989). *Microbiología ambiental*. Acribia.

Grier, J., Uribe-Aranzábal, M., Patiño, R. (2009). The ovary, folliculogenesis and

oogenesis in teleosts. In: Jamieson BJM, editor. *Reproductive biology and phylogeny of fishes (agnathans and bony fishes) phylogeny reproductive system viviparity spermatozoa*. Enfield: Rev Science Publishers; 25–84.

Grier, H. (1981). Cellular organization of the testis and spermatogenesis in fishes. *Rev*

American Zoologist; (21): 345 - 347.

- Honji, R., Nóbrega, R., Pandolfi, M., Shimizu, A., Borella, M., Moreira, R. (2013). Immunohistochemical study of pituitary cells in wild and captive *Salminus hilarii* (Characiformes: Characidae) females during the annual reproductive cycle. *Rev Springer Plus*; 2: 460–474.
- Honji R, Caneppele D, Pandolfi M, Lo Nostro F, Moreira R. (2015). Gonadotropins and Growth Hormone Family Characterization in an Endangered Siluriform Species, *Steindachneridion parahybae* (Pimelodidae): Relationship with annual reproductive cycle and induced spawning in captivity. *Rev Anat. Rec*; 298: 1644–1658
- Hoysak DJ, NR Liley. Fertilization dynamics in sockeye salmon and a comparison of sperm from alternative male phenotypes. *J Fish Biol.* (2001); 58: 1286-1300. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb02286>.
- Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (2012), 2013 y 2014 (Versión preliminar) : Tomo I: Variabilidad Climática y Cambio Climático 2014.
- Kobayashi M, Sorensen P, Stacey N. (2002). Hormonal and pheromonal control of spawning behavior in the goldfish. *Rev Fish Physiol. Biochem*; 26:71-84.
- Koulisch S, Kramer C, Grier H. (2002). Organization of the male gonad in a protogynous fish. *Thalassoma bifasciatum* (Teleostei: Labridae). *Rev J. Morphol*; 254: 292– 311.
- Krejszeff S, Targoska K, Zarski D, Kucharczyk D. (2010). Artificial reproduction of two different spawn-forms of the chub. *SHORT COMMUNICATION Rev*,

Reproductive biology; 10 (1): 67

Kubitza F. (2011). Criação de tilapias em sistema com bioflocos sem renovação de água.

Panorama da AQUICULTURA.21(125):14– 23.

Lahnsteiner F, Weisman T, Patzner, R. (1995). Composition of the ovarian fluid in 4 salmonid species: *Onchorhynchus mykiss*, *Salmo trutta f lacustris*, *Salvelinus lacustris* and *Hucho hucho*. *Rev Reprod. Nutr*; 35: 465–474.

Lahnsteiner F. (2002). The influence of ovarian fluid on the gamete physiology in the Salmonidae. *Fish Physiology and Biochemistry*; 27: 49–59.

Lahnsteiner F. (2003). Morphology, fine structure, biochemistry, and function of the spermatic ducts in marine fish. *Tissue Cell*; 35:363-373.

Lahnsteiner, F. (2000). Morphological, physiological and biochemical parameters characterizing the overripening of rainbow trout eggs. *Rev Fish Physiology and Biochemistry*; 23: 107–118.

Levavi-Sivan B, Biran J, Fireman E. (2006). Sex steroids are involved in the regulation of gonadotropin-releasing hormone and dopamine D2 receptors in female tilapia pituitary. *Rev Biol. Reprod*; 75: 642-650.

Levavi-Zermosky B, Yaron Z. (1986). Changes in gonadotropin and ovarian steroids associated with oocyte maturation during spawning induction in the carp. *Rev Gen. Comp. Endocrinol*; 62: 89-98

LONG, L., YANG, J., LI, Y., CHONGWU, G. and WUA F. (2015) Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*).

- Aquaculture, 448, p. 135-14.
- Lubzens E, Young G, Bobe J, Cerdà J. (2010). Oogenesis in teleost: How fish eggs are formed. *Rev General and Comparative Endocrinology*; 165(3): 367-489.
- Maldonado-Ocampo J, Ortega-Lara A, Usma J, Galvis G, Villa-Navarro F, Vásquez L. (2005). *Peces de los Andes de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, DC.
- Marín Galvin R, (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid.
- Miura T, Miura C. (2003). Molecular control mechanisms of fish spermatogenesis. *Rev Fish Physiol. Biochem*; 28: 181–186.
- Miura T, Yamauchi K, Takahashi H, Nagahama Y.(1992). The role of hormones in the acquisition of sperm motility in salmonid fish. *J. Exp. Zool.* 261: 359–363.
- Mojica J, Castellanos C, Usma S, Álvarez R. (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. La serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- Monroy DMC, De Lara AR, Castro MJ, Castro MG y Emerenciano CM. (2013) *Composición y abundancia de comunidades microbianas*. *Rev Biol Mar Oceanogr.*

;48(3):511-520.

Moreira R, Honji R, Melo R, Narcizo A, Amaral J, Araújo R, Hildsorf A. (2015). The involvement of gonadotropins and gonadal steroids in the ovulatory dysfunction of the potamodromous *Salminus hilarii* (Teleostei: Characidae) in captivity. *Rev Fish Physiol. Biochem*; 41 (6): 1435–1447

Morisawa S, Ishida K, Okuno M, Morisawa M. 1993. Roles of pH and cyclic adenosine monophosphate in the acquisition of potential for sperm motility during migration from the sea to the river in chum salmon. *Rev Mol. Reprod. Dev*; 34: 420–426.

Morisawa S, Morisawa M. 1986. Acquisition of potential for sperm motility in rainbow trout and chum salmon. *Rev J. Exp. Biol*; 126: 89–96.

Morisawa S, Morisawa M. 1988. Induction of potential for sperm motility by bicarbonate and pH in rainbow trout and chum salmon. *Rev J. Exp. Biol*; 136: 13–22.

Mylonas C, Zohar Y. 2000. Use of GnRHa-delivery systems for the control of reproduction in fish. *Rev Fish Biol*; 10: 463–491. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012279814708>.

Nagahama Y, Yamashita M. 2008. Regulation of oocyte maturation in fish. *Develop. Growth Differ*; 50: 195-219

Nagahama Y. 1983. The functional morphology of teleost gonads. In: Hoar WS, Randall DJ, Donaldson EM (eds). *Rev Fish Physiology*; (9): 223-276

Nagahama, 1994. Endocrine regulation of gametogenesis in fish. *Int. J. Dev. Biol*.

- Obando-Bulla MJ, Gómez-Ramírez E, TovarBohórquez MO, Rincón L, Caldas-Martínez ML, Hurtado-Giraldo H. 2013. Estudio morfométrico y topológico del cerebro del pez Neón Cardenal, *Paracheirodon axelrodi* (Characiformes: Characidae). *Rev Actu Biol*; 35(98):45-61.
- Odum, Eugene y Gary W. Barret. *Fundamentos de ecología*, 5ª. ed. ISBN 970-686-470-9.
- Ohta H, Ikeda K, Izawa T. 1997a. Increases in concentration of potassium and bicarbonate ions promote acquisition of motility in vitro by Japanese eel spermatozoa. *Rev J. Exp. Zool*; 277: 171–180.
- Olaya-Nieto C, Solano D, Florez O, Blanco H, Segura F. 2001. Evaluación preliminar de la fecundidad del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en el río Sinú, Colombia. *Rev MVZ Córdoba*; 6(1):31-3
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma (Italia): 2018.
- Podhorec P, Kouril J. 2009. Induction of final oocyte maturation in Cyprinidae fish by hypothalamic factors: a review. *Rev Vet Med*; 54: 97–110.
- Ray AJ, Seaborn G, Leffler JW, Wilde SB, Lawson A, Browdy CL. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*. 2010;310:130–138.
- Ray JA, Lotz JM. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three

- heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. *Aquacult Eng.* 2014;63:54–61
- Ray JA, Lotz JM. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. *Aquacult Eng.* 2014;63:54–61.
- Reading B, Sullivan C. 2011. Vitellogenesis in Fishes. En: Farrell A. *Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment.* San Diego US. p. 635 – 646.
- Roldan Gabriel P. Nutrientes de los ecosistemas acuáticos: el fósforo y el nitrógeno. En: Roldan Gabriel P. *FUNDAMENTOS DE LIMNOLOGIA NEOTROPICAL.* Primera edición. Editorial Universidad de Antioquia;1992. P 295-324.
- Rosengrave P, Taylor H, Montgomerie R, Metcalf V, McBride K, Gemmell NJ. 2008. Chemical composition of seminal and ovarian fluids of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and their effects on sperm motility traits. *Rev Comparative Biochemistry and Physiology Part A*; 152: 123–9.
- Rurangwa E, Kime D, Ollevier F, Nash J. 2004. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in cultured fish. *Rev Aquaculture*; 234: 1-28.
- Schulz R W, De França L R, Lareyre J L, LeGac F, Chiarini-Garcia H, Nobrega R H, Miura T. 2010. Spermatogenesis in fish. *Rev General and Comparative Endocrinology*; 165: 390–411
- Schulz R W, De França L R, Lareyre J L, LeGac F, Chiarini-Garcia H, Nobrega R H, Miura T. 2010. Spermatogenesis in fish. *Rev General and Comparative Endocrinology*; 165: 390–411

- Scott A, Baynes S. 1980. A review of the biology handling and storage of salmonid spermatozoa. *Rev J. Fish Biol*; 17: 707-739.
- Scott A, Sumpter J, Stacey N. 2010. The role of the maturation-inducing steroid in male fishes: a review. *Rev J. Fish Biol*; 76: 183–224.
- Senthilkumaran B, Joy P. 1995. Changes in hypothalamic catecholamines, dopamine-beta-hydroxylase, and phenylethanolamine-N-methyltransferase in the catfish *Heteropneustes fossilis* in relation to season, raised photoperiod and temperature, ovariectomy, and estradiol-17beta replacement. *Gen. Comp. Rev Endocrinol*; 97: 121-134.
- Sloman K. 2011. The diversity of fish reproduction. En: Farrell A. *Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment*. San Diego US. 613 – 615.
- Sulistyo I, Fontaine P, Rinchar J, Gardeur J, Migaud H, Capdeville B, Kestemont P. 1998. Reproductive cycle and plasma levels of steroids in male Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Rev Aquat Living Resour*; 11: 101–110.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440\(00\)00146-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0990-7440(00)00146-7).
- Takashima F, Hibiya T. 1995. IX Gonads. In: Takashima F, Hibiya T (eds). *An atlas of fish histology: Normal and Pathological Features*. 2nd ed. Kodansha Ltd., Tokyo, Japan, Pp 128-153.
- Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FW, Summerrfelt ST, Vinci BJ. 2002a. *Recirculating aquaculture systems*. 2 ed. New York: Cayuga Aqua Venture, 769 p.
- Urbach D, Folstad I, Rudolfson G. 2005. Effects of ovarian fluid on sperm velocity in

- Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Rev Behavioural Ecology and Sociobiology*; 57: 438–44.
- Valbuena RD, Cruz CP. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp*). *Orinoquia*. 2006;10(1):57–63.
- Valdebenito I, L Paiva L, Berland M. 2011. Atresia folicular en peces teleósteos: una revisión. *Rev Arch Med Vet*; 43: 11-25
- Vazzoler AEA de M.1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. São Paulo, Brasil: EDUEM.
- Wildner D, Grier H, Quagio-Grassiotto I. 2013. Female germ cell renewal during the annual reproductive cycle in Ostariophysians fish. *Rev Theriogenology*; (79): 709–724. journal homepage: www.theriojournal.com
- Wojtczak M, Dietrich G, Slowinska M, Dobosz S, Kuzminski H, Ciereszko A. 2007. Ovarian fluid pH enhances motility parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa. *Rev Aquaculture*; 270: 259–264
- Yaron Z, Bogomolnaya A, Drori S, Biton I, Aizen J, Kulikovsky Z, Levavi-Sivan B. 2009. Spawning Induction in the Carp: Past Experience and Future Prospects - A Review. *Rev The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*; 61(1): 5-26.
- Yoshikuni M, Nagahama Y. 1991. Endocrine regulation of gametogenesis in fish. *Bull. Inst. Zool., Acad. Sinica, Monogr*; 16: 139-172.
- Young-Ho Ahm (2006). Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: A review. *Process Biochemistry* Article in press.

Zarski D, Palin´ska-Zarska K, Łuczynska J, Krejszeff S. 2017. The type of spawning agent affects the egg composition during out-ofseason spawning but not during in season spawning in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *REV. General and Comparative Endocrinology*; 245: 19–29. journal homepage: www.elsevier.com/locate/ygcen