

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA (CUC)
AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA (AUNAP)
(Estación Piscícola de Gigante)

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
INFORME GENERAL DE GESTIÓN

PRESENTACIÓN

El presente documento contiene los resultados finales de los proyectos de investigación que se coordinaron para ser desarrollados en la Estación Piscícola de Gigante en el periodo 2014 – 2015.

Básicamente aglutina los que corresponden a la ejecución de:

- Evaluación del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp*) en sistemas intensivos con uso de bioflocs, cero recambio de agua y disminución del nivel de proteína en el alimento
- Determinación de parámetros reproductivos, evaluación de sistemas de incubación y valoración preliminar de métodos de manejo alimenticio en etapas tempranas de la doncella (*Ageneiosus pardalis*) en la Estación Piscícola del Alto Magdalena (Gigante, huila)
- Implementación de un modelo Acupónico para la realización de procesos de transferencia tecnológica en el departamento del Huila

Para adelantar estos proyectos, la CUC estableció la modalidad de contratación directa, dependiendo del tipo de actividad a desarrollar; por tanto participaron profesionales y técnicos en diferentes áreas, desde las que se relacionan con la construcción misma de la infraestructura, hasta los que tuvieron responsabilidad

en el manejo propio de los esquemas experimentales, de acuerdo a los objetivos planteados en cada caso.

En vista de lo anterior, este informe integra los registros y resultados que fueron reportados por los encargados directos de cada uno de los proyectos. Se hace también una descripción en la que se relacionan los avances atendiendo a los objetivos que se plantearon para cada caso.

Para efectos de presentación, en este documento se tienen los siguientes anexos:

- a) Registro fotográfico del desarrollo e instalación de infraestructura en los tres proyectos de investigación
- b) Documento preliminar, en forma de artículo científico, de los resultados obtenidos en los ensayos en el sistema de biofloc
- c) Documento preliminar, en forma de artículo científico, de los resultados obtenidos en los ensayos con la incubación de doncella
- d) Versión para revisión de la cartilla sobre cultivo en sistemas de biofloc
- e) Programa de la jornada de socialización de resultados en los proyectos de investigación

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRAFICO SISTEMA DE BIOFLOC



Figura 1. Infraestructura diseñada y construida para el manejo de tilapia en sistema biofloc; **A.** Terreno inicial; **B.C.D.** Montaje de sistema biofloc.



Figura 2. Preparación de agua para montaje del sistema biofloc. **A.B.** Agua tratada con cloro y tiosulfato de sodio (dechlorinador); **C.** Mezcla de melaza y concentrado para aves; **D.** Agua prepara con melaza y concentrado; **E.** Agua inoculada con *Lactobacillos sp*; **F.** Formación de CO_2 .

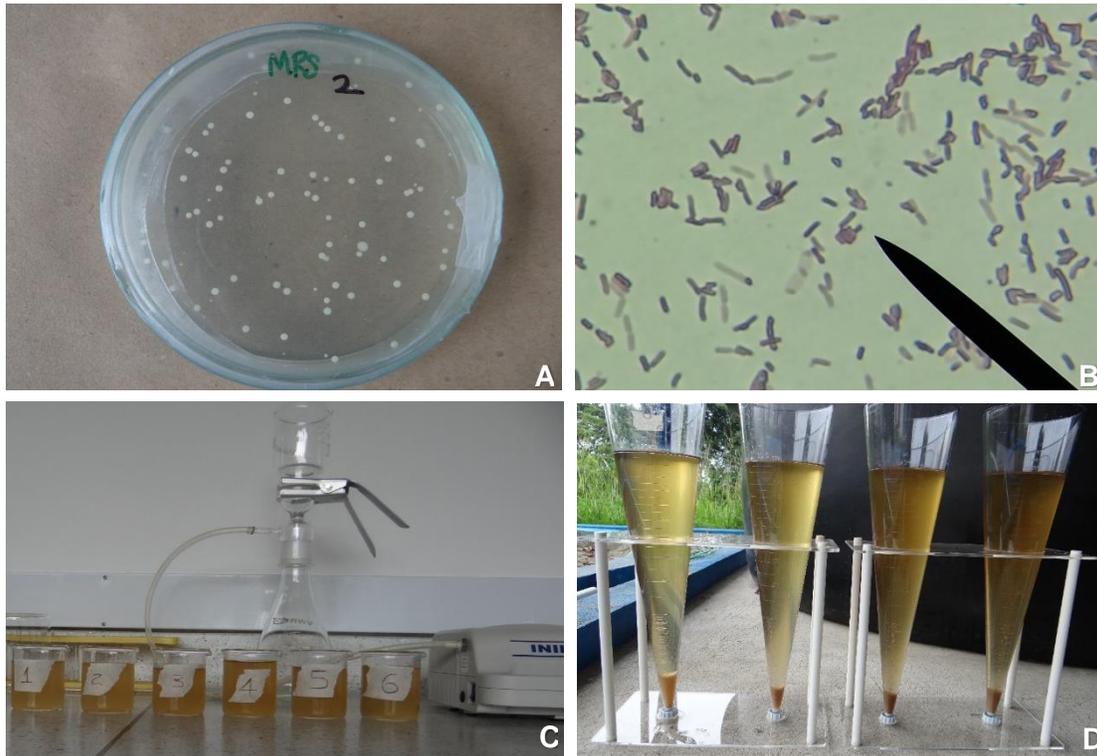


Figura 3. Manejo del sistema. **A.B.** Muestra microbiológica inicial de agua inoculada (presencia de *Lactobacillus*); **C.** Determinación de parámetros (amonio, nitritos y nitratos); **D.** Medición de floc en conos imhoff.



Figura 4. Material biológico. **A.** Alevinos iniciales; **B.** Selección de alevinos; Muestras **C.** Medición; **D.** Pesaje.

REGISTRÓ FOTOGRAFICO SISTEMAS DE INCUBACION EN DONCELLA

PROYECTO:

“Determinación de parámetros reproductivos, evaluación de sistemas de incubación y valoración de métodos de manejo alimenticio en etapas tempranas de la doncella (*Ageneiosus pardalis*) en la estación piscícola de Gigante-Huila.”

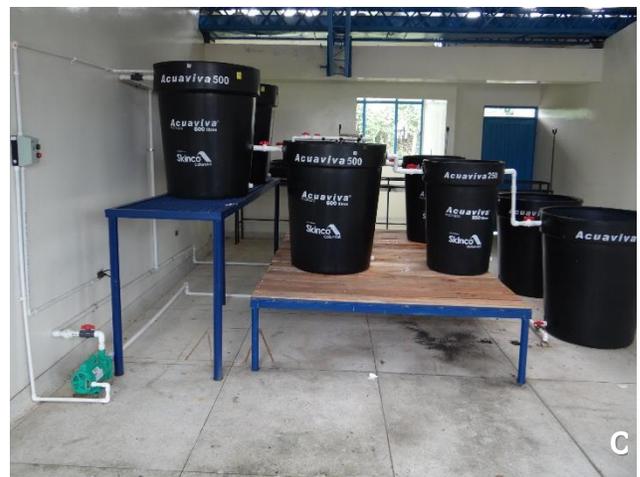


Figura 1. Infraestructura diseñada y construida para manejo de temperatura e incubación de ovocitos de doncella.



Figura 2. A.B.C. Transporte de ejemplares de doncella. **D.** Aguja y *michochip* utilizado para marcaje de reproductores. **E.** Lector de *microchip*. **F.** Marcaje de reproductores.



Figura 3. Selección y manejo biométrico de reproductores de doncella. **A.B.** Pesca, **C.** Anestesia, **D.** Pesaje.

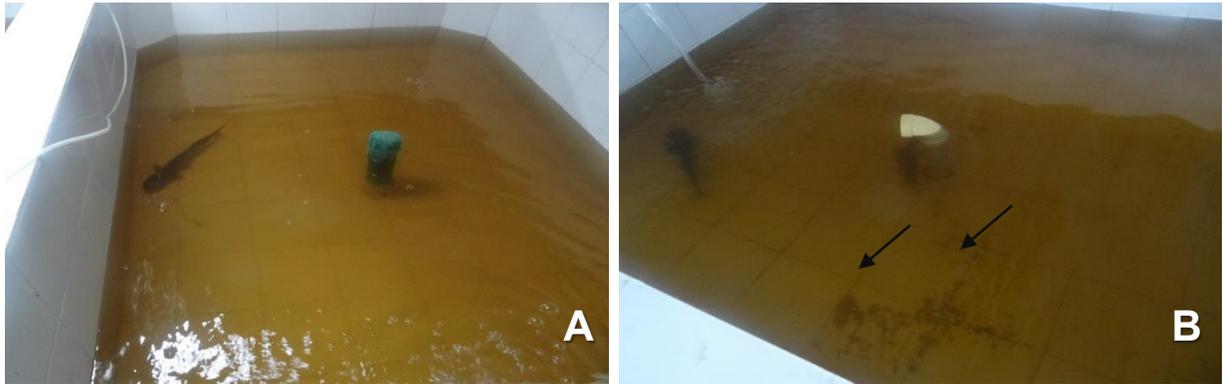


Figura 4. Manejo reproductivo en estanques. **A.** Hembra de doncella inducida hormonalmente; **B.** Ovocitos de doncella desovados.

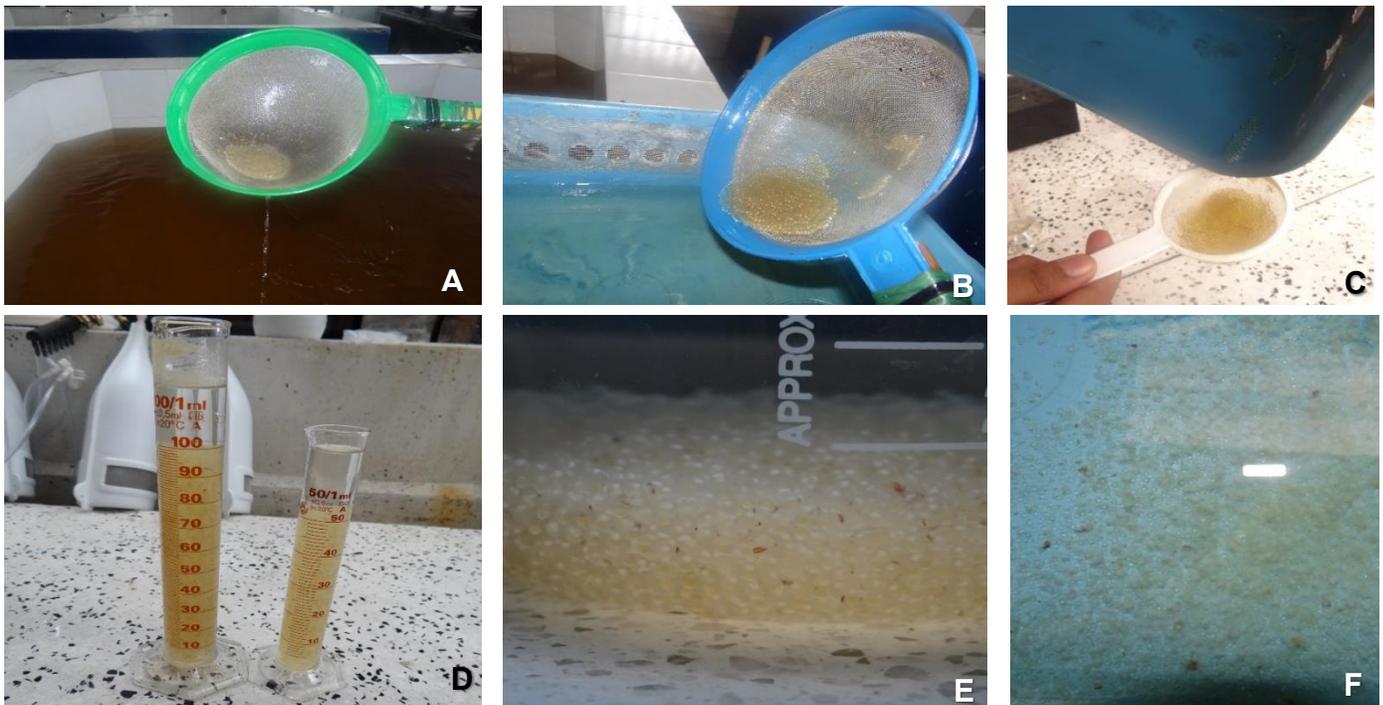


Figura 5. Recolección, cuantificación y manejo de ovocitos de doncella.



Figura 6. Selección y siembra de ovocitos. **A.** Selección de ovocitos no viables; **B.** Replicas experimentales; **C.** Siembra de ovocitos en incubadoras experimentales.

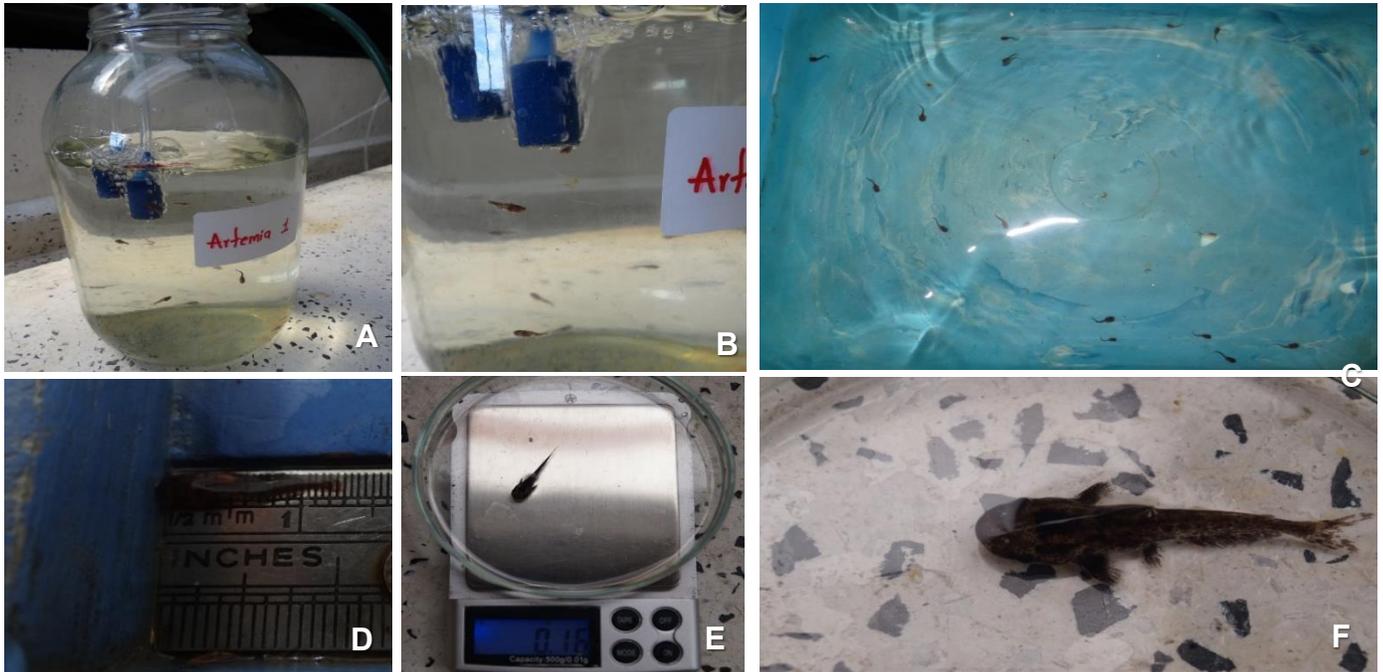


Figura 7. Ensayos de primera alimentación en larvas de doncella. **A.B.** Larvas de doncella alimentadas con Artemia (tratamiento 1); **C.** Larvas de doncellas de 20 días post eclosión; **D.E.F.** Biometría en alevinos de doncella.

REGISTRÓ FOTOGRAFICO SISTEMAS ACUAPONICO



Figura 1. Manejo de semillero de lechuga, variedad simson.



Figura 2. Construcción del sistema acuaponico.



Figura 3. Construcción de tanques de 3 m de diámetro.



Figura 4. Construcción de camas para cultivo de lechuga.



Figura 5. Semillero de plántulas de lechuga.



Figura 6. Montaje de plántulas de lechuga.

ANEXO 2

PROYECTO

EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE TILAPIA (*Oreochromis sp*) EN SISTEMAS INTENSIVOS CON USO DE BIOFLOCS, CERO RECAMBIO DE AGUA Y DISMINUCIÓN DEL NIVEL DE PROTEÍNA EN EL ALIMENTO

RESUMEN

Durante un periodo de 135 días se adelantó un seguimiento sobre alevinos de tilapia roja en un sistema de biofloc instalado en la Estación Piscícola de Gigante (Huila), evaluando dos tratamientos definidos en el suministro de concentrados comerciales para la especie con 25% (T1) y 32% (T2) de proteína bruta. El montaje se hizo en 6 tanques plásticos circulares (tres por tratamiento) que se prepararon con un inóculo de *Lactobacillus rhamnosus*, concentrado para pollos (16% PB) y melaza como fuente de carbono. La ración se calculó con base en el 8% de la biomasa presente y la melaza fue adicionada de forma diaria, sosteniendo una relación 20:1 de C:N. Los parámetros de oxígeno disuelto, pH y temperatura fueron registrados tres veces al día; el control de amonio, nitritos y nitratos se hizo de forma quincenal. El monitoreo del crecimiento de los peces en longitud total y peso se adelantó en cinco muestreos durante el periodo. La comparación estadística de parámetros de calidad de agua y de las variables zootécnicas de talla, factor de condición, mortalidad y factor de conversión alimenticia se hizo mediante Anova ($\alpha=0.05$), previa confirmación de supuestos de normalidad y homocedasticidad, y el análisis de Tukey cuando fue necesario precisar diferencias. Las pruebas de comparación incluyeron cada día de muestreo, entre las réplicas y entre los tratamientos. No se encontraron diferencias en los parámetros de calidad de agua ni en los datos finales de talla de los peces en longitud y peso, si bien la tendencia del crecimiento en los peces de T2 fue superior a los de T1. El factor de condición medio indica que la relación peso: longitud corresponde a peces en un ambiente con condiciones óptimas de manejo nutricional. Por el contrario, la variable de mortalidad fue significativamente superior en T2, lo que se supone que pudo estar asociado a las condiciones de estabilización inicial del sistema. La conversión alimenticia también fue significativamente mejor en el caso de T2. Los valores de temperatura promedio que se presentan en la estación son marcadamente inferiores a los que requiere la especie, lo que explica que el desarrollo hasta cosecha sea sustancialmente más

elevado que el que se registra en condiciones de cultivo comercial. En ese sentido se analiza que el fundamento de la operación de este sistema en el centro debe enfocarse hacia aspectos demostrativos y de transferencia de tecnología, en el marco de las labores misionales de la estación.

Palabras clave: *Oreochromis*, tilapia roja, biofloc, desempeño

INTRODUCCIÓN

Las tilapias constituyen el grupo de peces que representa el mayor crecimiento productivo a escala mundial; su adaptabilidad fisiológica a diferentes ambientes y el conocimiento general que se tiene sobre su biología reproductiva, plasticidad genética y fácil domesticación, son factores que explican dicho crecimiento (Fitzsimmons, K. 2000; FAO, 2012).

En general, son varios los sistemas que se utilizan para la producción de tilapias, los que se clasifican por la densidad de siembra y las prácticas de manejo que se aplican. Especialmente en aquellos de carácter intensivo y super-intensivo se generan limitantes ambientales que se pueden focalizar principalmente en la escala de los requerimientos hídricos, tanto en lo que concierne a su disponibilidad como en lo que tiene que ver con los posibles impactos al medio que se asocian con su uso (De Schryver et al. 2008). Es así que la utilización racional del agua se convierte cada vez más en una imposición técnica, teniendo en cuenta la disminución progresiva de las fuentes y las mayores restricciones y costos que se relacionan con el recurso.

Entre las posibilidades más novedosas y recientes, desde alrededor de los años noventa, se comienzan a desarrollar las denominadas tecnologías del biofloc (Avnimelech et al. 1994; Chamberlain y Hopkins 1994), que se basan en conceptos que combinan estanques con aireación permanente en sistemas semejantes a las plantas de tratamiento de aguas residuales, en los que se promueve la maximización del potencial de procesos microbiales, lo que al final se

traduce en la disminución de fracciones tóxicas de compuestos nitrogenados en unidades en las que se reduce significativamente el uso del recurso hídrico.

El floc es básicamente un agregado en el que se encuentran microbios, algas, protozoos y otros microorganismos, en un microambiente de detritos y partículas orgánicas que permanece en la forma de partículas en suspensión dentro una unidad de cultivo determinada (Hargreaves 2006); en conjunto con los peces se genera un ecosistema que tiene un potencial equivalente al que se podría desarrollar bajo estándares de producción intensivos y super-intensivos. Se tienen, por tanto, altas tasas de aireación que actúan proveyendo elevadas concentraciones de oxígeno disuelto y, a su vez, mecánicamente se produce una alta turbulencia que favorece la homogeneización de la mezcla; los residuos orgánicos sirven como sustrato de crecimiento para las bacterias, llevando al sistema a una condición cada vez más heterotrófica (Avnimelech 2007). En definitiva, la presencia de esta asociación permite la autodepuración y el control de la calidad del agua y, adicionalmente, tiene efectos benéficos sobre los peces al optimizar el aprovechamiento del alimento. La población microbiana es estable y activa y, en el caso de sistemas heterótrofos, hay independencia de las condiciones lumínicas y el rompimiento de la materia orgánica se da a través de un metabolismo rápido, lo que genera una producción constante de nuevo material celular bacteriano.

Las células microbiales son ricas en proteína y con su crecimiento hay una inmovilización del nitrógeno inorgánico. Para su transformación se requiere de una alta relación carbono-nitrógeno (C:N), por lo que en este tipo de sistemas se adicionan sustratos ricos en carbohidratos (melazas o harinas) o el equivalente alimenticio con un bajo contenido proteico, generando un efecto ahorrador de proteína; se disminuye así la disminución del amonio y de otras especies de nitrógeno inorgánico en el agua, lo que es el fundamento conceptual de mejoramiento de la calidad del ambiente en el interior del cultivo mismo, sin la

necesidad de disponer de agentes o mecanismos externos, a diferencia de otros sistemas de producción (Avnimelech 1999; Kubitza 2011).

Por los hábitos alimenticios que presentan, esta tecnología empieza a desarrollarse con camarones y, posteriormente, se amplía hacia las tilapias (Tacon et al. 2002; Burford et al. 2003; Burford et al. 2004; Izquierdo et al. 2006; Ju et al. 2008a); se demuestra que, para el camarón, el uso del biofloc incrementa la ganancia de peso, potenciando el efecto de las dietas formuladas y mejorando la sobrevivencia. En el país las experiencias se han basado en la aplicación de estas tecnologías para la producción de reproductores de camarones (*Litopenaeus vanammei*), tanto en monocultivo como en asociación con tilapias roja y nilótica (del género *Oreochromis*); en los ensayos realizados se ratifican las ventajas ambientales y de producción con estos sistemas, con parámetros de desarrollo considerados como óptimos (Sierra de La Rosa et al. 2009). Avnimelech (2007) postula que en tilapias el consumo del biofloc podría representar casi el 50% de la ración convencional alimenticia. Las cargas pueden llegar a ser elevadas en estos sistemas, con ensayos en los que los estándares de calidad del agua se mantienen con densidades de 20 kg m³ y supervivencias superiores al 80 % en híbridos de tilapias (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) (Crab et al. 2010). Azim y Little (2008), en tilapia nilótica, muestran sobrevivencias del 100%, con producciones superiores que superan en un 45% a los controles; no encuentran diferencias significativas en las tasas de crecimiento y producción con concentrados del 35% y 24% de proteína cruda, lo que indirectamente ratifica el papel nutricional del floc.

Se trata, no obstante, de una tecnología que en el país ha tenido escasa implementación. Los requerimientos para su aplicación están casi que limitados a la iniciativa privada y las posibilidades del universo de productores interesados esta, por tanto, relativamente restringida. En ese sentido, las posibilidades de transferencia deben ser potenciadas y esa, por definición, es una responsabilidad

que, al menos en sus inicios,

corresponde ser adelantada por sectores oficiales. Las ventajas productivas que supone, las de uso regulado del recurso y las opciones que se crean para instalar cultivos en zonas deficitarias son pilares principales que justifican adelantar esfuerzos de tipo demostrativo con este tipo de tecnologías. En este sentido, el presente documento presenta los resultados obtenidos en una primera experiencia de cultivo de tilapia roja en sistemas de biofloc en las condiciones de la Estación Piscícola de Gigante; se discuten resultados de desempeño productivo utilizando concentrados de diferente contenido proteico y se hace un acercamiento a las posibilidades técnico-económicas implicadas, todo bajo consideraciones enmarcadas en la labor misional que se desarrolla en el centro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se adelantó en las instalaciones de la Estación Piscícola de Gigante, de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). Se ubica a 900 msnm, en el municipio de Gigante (Huila), en los 0°55'16" LN y 74'25" LE, con un registro medio de temperatura de 24°C y una pluviosidad de 1250 mm al año. La fuente hídrica corresponde a la quebrada La Guandinososa y los objetivos misionales para su operación se enfocan en el fomento de la piscicultura, a través de la distribución de alevinos de varias especies, la generación de información mediante programas de investigación y la transferencia de tecnología. Entre las actividades principales que se realizan se tiene la producción de alevinos de tilapias, para lo cual dispone de una sala de incubación completamente equipada, la que opera con un sistema de recirculación cerrado que permite el control y la estabilidad de la temperatura durante los procedimientos de producción de alevinos. El sistema de producción en biofloc en la estación está conformado por seis tanques plásticos circulares con 4000 L de capacidad cada uno, más un tanque adicional de 2000 L utilizado como reservorio de agua para suplir pérdidas por evaporación. El sistema está conectado a un blower central de ½ hp, con lo que se mantiene aireación constante en todas las unidades; el

ingreso del aire es de fondo, a través de mangueras difusoras. La infraestructura se encuentra bajo cubierta.

2.1 Preparación y manejo del sistema

El total de los tanques disponibles fue adecuado para el sistema de biofloc. Para el efecto, 25 días antes del ingreso programado de los peces, estos fueron llenados completamente y se adicionó hipoclorito de sodio como desinfectante, durante 24 horas. Posteriormente se empleó tiosulfato de sodio (5 mg L^{-1}) para declorar, con suministro de aireación constante por un periodo adicional de 24 horas. Pasado este tiempo se realizó el inóculo con una cepa de *Lactobacillus rhamnosus*, reconstituida en agua, hasta alcanzar un patrón de 7 en la escala de turbidez de McFarland ($2.1 \times 10^9 \text{ ufc mL}^{-1}$), sembrando 80 mL de la suspensión en cada tanque; adicionalmente se añadió melaza (4 kg tanque) y concentrado para pollos con 16% PB (4 Kg tanque). A los 15 días, previa confirmación de la existencia de flocs bacterianos, se realizó un segundo inóculo que, por cada unidad, estuvo compuesto por 30 mL de bacterias, 2 Kg de melaza y 2 Kg de concentrado para pollos (16% PB).

La siembra de los peces experimentales se realizó 12 días después. Estuvo conformada por alevinos machos provenientes de la estación. Un lote inicial de 3600 individuos previamente seleccionados por longitud total fue repartido aleatoriamente entre los seis tanques. Se hizo un seguimiento diario de la mortalidad, la cual fue consolidada después de la primera semana; de un lote adicional, clasificado bajo el mismo criterio, se completó la cantidad faltante en cada caso, de forma que al final, en cada unidad de cultivo, se contó con 1000 peces (biomasa de 1850 g por tanque). Los ensayos iniciaron con alevinos con una longitud total de $4.6 \pm 0.49 \text{ cm}$ ($\text{CV}=10.65$) y un peso medio de $1.85 \pm 0.52 \text{ g}$ ($\text{CV}=28.1$).

Al azar se designó la ubicación de los lotes para evaluar dos tratamientos experimentales basados en el suministro de concentrados comerciales,

formulados para la especie y con diferente tenor de proteína, así: T1 con 25 % PB y T2 con 32 % PB, con cada uno por triplicado. El suministro se realizó dos veces al día, en ración calculada para cada unidad con base en el 8% de la biomasa presente, porcentaje que se mantuvo durante todo el seguimiento.

Como fuente de carbono para el manejo del biofloc se utilizó melaza, la que se adicionó también diariamente; la cantidad fue ajustada con base en lo reportado por De Schryver et al. (2008), manteniendo una relación 20:1 de C:N. Todo el sistema contó con aireación permanente las 24 horas del día. El agua perdida por evaporación fue repuesta aproximadamente cada 15 días, para lo cual se dispuso de un tanque de reserva de 2000 L, en el cual se mantuvo agua declorinada, también constantemente aireada. El ensayo de cultivo tuvo una duración de 135 días

2.2 Registro de datos

Tres veces al día se registró la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, utilizando una sonda multi paramétrica HACH 40 Q. Amonio, nitritos y nitratos se midieron en un equipo Spectroquant Merck NOVA 60.

La medición de los peces en longitud total (cm) y peso (g) se realizó periódicamente durante el periodo, aproximando hasta 0.1 cm y 0.1 g respectivamente. Con estos datos se calculó el factor de condición de Fulton ($K = \text{Peso Longitud total}^{-3}$) para cada grupo y para cada muestreo. La mortalidad fue registrada y tabulada diariamente.

Los ajustes de la ración se hicieron cada 15 días con los estimados de crecimiento, incluyendo el nivel de las pérdidas. Los datos se confirmaron con base en los muestreos en longitud y peso que se efectuaron. El registro del consumo fue diario.

2.3 Análisis de datos

Los datos se presentan de forma descriptiva. Mediante análisis de varianza (ANOVA) se compararon las longitudes y pesos, en cada muestreo, por tratamiento y, para evaluar el posible efecto de la unidad experimental, entre los tanques. La mortalidad total entre tratamientos fue también comparada mediante ANOVA. Se comprobaron los supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas. Cuando fue necesario se aplicó análisis de Tukey para precisar las diferencias. El nivel de significancia fue $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de agua

En lo que se refiere a los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH, fue una constante la estabilidad de los valores durante todo el periodo de seguimiento; mediante análisis de varianza se comprobó que no se presentaron diferencias significativas entre los promedios en las tres horas de registro diario, ni entre las unidades de cultivo. Como se ve en la tabla 1, los rangos de variación fueron estrechos en todos los casos.

Tabla 1. Registros medios de parámetros de calidad de agua en las unidades experimentales durante el periodo experimental

Parámetro	Tanque	Promedio	CV	Máximo	Mínimo
Oxígeno disuelto (mg L⁻¹)	1	7.41±0.44	5.93	8.59	6.22
	2	7.89±0.22	2.75	8.21	7.23
	3	7.84±0.28	3.50	8.26	7.00
	4	7.8±0.29	3.69	8.26	6.76
	5	7.8±0.32	4.13	8.38	6.37
	6	7.7±0.3	3.93	8.12	6.66
Temperatura (°C)	1	23.78±1.04	4.37	26.60	21.30
	2	23.06±0.76	3.31	25.00	21.20
	3	22.91±0.64	2.79	24.40	21.20
	4	22.93±0.73	3.19	24.50	21.10
	5	23.12±0.66	2.84	24.60	21.50
	6	23.43±0.81	3.46	25.20	21.50
pH	1	7.92±0.262	3.31	8.60	7.27

2	8.05±0.22	2.72	8.60	7.70
3	7.97±0.26	3.31	8.67	7.08
4	8.22±0.21	2.53	8.80	7.89
5	8.06±0.26	3.27	8.70	7.61
6	8.19±0.2	2.45	8.66	7.86

Como manejo estándar para prevenir la toxicidad de nitritos, se aplicó sal marina hasta una concentración de 2 ppt, la que se mantuvo constante durante todo el tiempo experimental. En el caso del oxígeno disuelto, los valores mínimos superaron siempre los requerimientos de cultivo de la especie y, tanto el sistema de aireación como el manejo dado al sistema no generaron limitantes; los registros máximos, por encima de los 7.6 mg L⁻¹ que es el valor de saturación en las condiciones de altitud y temperatura de la estación, indican que hubo algún grado de producción adicional por fotoautótrofos presentes.

Una consideración similar se tiene con el pH el que, en general, se mantuvo en valores ligeramente alcalinos; Para este último, la estabilidad sugiere que la acción principal de transformación del amonio estuvo representada por bacterias heterotróficas, si bien en una ocasión hubo necesidad de corregir la alcalinidad mediante la adición de bicarbonato de sodio.

La temperatura fue igualmente estable entre las unidades y, especialmente, indica que la localización individual de estas dentro del módulo no afecta el parámetro. Aun así, los valores medios que se tienen bajo las condiciones de la estación se encuentran en un nivel en el cual el desempeño de la especie se ve afectado; esto se verá posteriormente en el análisis de los resultados de crecimiento y direcciona, bajo las mismas condiciones, el principal carácter demostrativo que tiene el sistema en el centro, en cuanto a modelo de infraestructura y procedimientos de manejo que se deben aplicar en un sistema de biofloc.

Por otro lado, los

parámetros de nitrógeno amoniacal total, nitritos y nitratos fueron medidos con una periodicidad mayor (alrededor de 15 días); salvo las lógicas concentraciones de amonio elevadas al inicio de la preparación del sistema, una vez empezó la transformación a nitratos, los compuestos nitrogenados en general no superaron valores considerados críticos durante el seguimiento, con registros de amonio y nitritos cercanos a cero, siendo la especie predominante los nitratos. La comparación estadística no arrojó diferencias significativas entre las unidades de cultivo para ninguno de los tres parámetros.

Diariamente fue medida la cantidad de floc en cada tanque utilizando conos Imhoff. En los primeros días posteriores a la siembra, el volumen se encontró en valores inferiores de 10 mL. Con el sistema estabilizado, para todos los casos y con pequeñas variaciones la cantidad fue superior a 20 mL, llegando hasta 50 mL en algunas de las mediciones. Cuando este valor se alcanzó, se realizó una evacuación de los sedimentos acumulados.

Estas experiencias son relativamente nuevas en el país, por lo que los datos disponibles son escasos y en la mayoría se encuentran sin publicar. Registros de un seguimiento particular, experimental, se muestran en la tabla 2; en este caso, durante 50 días, se evaluó el crecimiento de tilapia roja en un sistema de biofloc ya consolidado (aguas maduras), iniciando con peces de 1,2 g, en una densidad de 100 peces m^{-3} y alimentados hasta aparente saciedad con un concentrado comercial del 32% de PB.

Es evidente que, comparados con los resultados aquí obtenidos, los parámetros de calidad de agua, excepto en el pH, muestran diferencias sustanciales. A pesar de ser un sistema de agua dulce, en el sistema se presentan concentraciones elevadas de minerales, lo que se explica por el origen de la fuente utilizada (aguas de pozo profundo). En cuanto a los compuestos nitrogenados, se puede inferir que el sistema está en una aparente estabilidad, es decir que el ciclo del nitrógeno está funcionando y su efectividad reside en este caso en la asociación de

bacterias del tipo gram (-), esporuladas y las específicas del ciclo del nitrógeno, que están presentes en el sistema productivo, lo que explica qué a pesar de concentraciones de nitrógeno amoniacal elevadas no se presentó mortalidad al finalizar el ensayo. Kubitz (2011), con un montaje experimental de 50 días para la producción de juveniles de tilapia de 25 gr, a partir de 6 g de peso inicial (260 peces por 0,6 m³, alimentados al 3% de la biomasa día con concentrados del 40 y 36% de PB), reporta los parámetros de calidad de agua que se muestran en la tabla 3. Para Azim & Little (2008), quienes realizaron un ensayo de crecimiento con *T. nilótica* por 90 días en biofloc y variando el tenor proteico (24 y 35% de PB) indican variaciones importantes en los parámetros de calidad de agua y sugieren que uno de los principales problemas es la pérdida de la capacidad buffer de este sistema, la tabla 4, indica los promedios de los parámetros registrados.

Tabla 2. Parámetros indicativos de la calidad de agua en un sistema de Biofloc consolidado.

Fuente. Granja Piscícola River Fish Farm. (Comunicación Personal David-Ruales, et al., 2015-Sin publicar)

PISCÍCOLA RIVER FISH FARM (MONTERÍA-CORDOBA)						
PARÁMETRO	1	2	3	4	PROM	DE
Amonio (NH ₄ ⁺ -N mg/L)	5,79	6,5	9	6,2	6,87	1,45
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N mg/L)	22	23,5	32	23,5	25,25	4,56
Nitratos (NO ₃ ⁻ - N mg/L)	36,5	38	23	38	33,88	7,28
Calcio (ppm)	377,5	353,5	300	350,5	345,38	32,57
Magnesio (ppm)	177,5	174,5	177	174,5	175,88	1,6
Potasio (ppm)	107	101	72,5	102,5	95,75	15,71
Dureza (CaCO ₃ mg/L)	180	178	183	185	181,5	3,1
Alcalinidad (CaCO ₃ mg/L)	188	185	184	191	187	3,2
pH	8,03	8,15	7,86	8,15	8,05	0,14
Temperatura (°C)	29,65	29,65	30,5	29,65	29,86	0,43
Oxígeno Disuelto (ppm)	12,67	12,67	12	12,07	12,35	0,37
Conductividad (µS)	4,5	5,04	4,5	5,09	4,78	0,33
SDT (mg/L)	2,48	3,56	3,79	4,21	3,51	0,74
Salinidad (ppt)	1,8	1,8	1,84	1,8	1,81	0,02

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua para juveniles de Tilapia roja en biofloc

Adaptada de Kubitzka (2011)

Parámetros de Calidad de Agua Azim & Little 2008									
PARÁMETRO	1	3	5	7	9	11	13	PROM	DE
Amonio (NH ₄ ⁺ -N mg/L) 35%PB	0	2,5	8	2,5	4	4	1	3,14285714	2,4
Amonio (NH ₄ ⁺ -N mg/L) 24%PB	0,5	0,5	1	4	0,3	2,5	1	1,4	1,3
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N mg/L) 35%PB	0	1,2	0,6	0,4	2,2	1,25	0,2	0,83571429	0,7
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N mg/L) 24%PB	0	0,4	0,2	0	0,5	1,5	1,5	0,58571429	0,6
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N mg/L) 35%PB	0	50	100	175	185	300	250	151,428571	99,5
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N mg/L) 24%PB	0	50	100	100	140	180	200	110	65,2
CO ₂ (mg/L)	2	5	10	9	14	18,4	18,2	10,9428571	5,8
Alcalinidad (CaCO ₃ mg/L)	VARIABLE ENTRE 8 A 250								
pH	7,5	8	8	7,6	6,7	6,6	6,4	7,25714286	0,6
Temperatura (°C)	26	29	29	29	29	30	26	28	1,5
Oxígeno Disuelto (ppm)	7	5	7	6	6	5	6	6	0,8

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua para juveniles de *T. nilotica* en biofloc

Al comparar estos resultados con los datos de los ensayos anteriores, se presenta una similitud para pH, temperatura y OD con el presente estudio; los datos registrados en la tabla 3 para los residuos nitrogenados indican claramente presencia de bacterias asociadas al ciclo del nitrógeno, este hallazgo se deba probablemente a las condiciones de maduración del sistema y a la relación C:N para cada ensayo; de hecho, se sabe por registros teóricos que incrementar esta relación a través de la adición de diferentes fuentes de carbono (melaza, harinas, etc)

permite que la conversión de nitrógeno tóxico sea más eficiente y se convierta en biomasa microbiana como fuente de alimento disponible para los peces en este tipo de sistemas productivos (Avnimelech, 1999; Hargreaves, 2006). La tabla 4, muestra resultados muy variables para los productos nitrogenados y a su vez grandes diferencias con los valores de Nitratos con respecto a los resultados de las tablas 2 y 3; además se observa una gran variación en los resultados de la alcalinidad. En general se puede de afirmar que este tipo de sistemas tiene un

comportamiento muy particular que los hace complejos a la hora de encontrar explicaciones desde el manejo de los sistemas tradicionales, por lo tanto se necesitan más estudios que permitan estandarizar los diferentes resultados al respecto de los principales parámetros de calidad de agua que se deben tener en cuenta en este tipo de sistema.

Desempeño

Como fue anotado, la longitud total y el peso con los que se dio inicio al ensayo fue de 4.6 cm y 1.85 g respectivamente. A partir de este primer muestreo y hasta el final del seguimiento se realizaron cuatro tomas adicionales de datos, en los días y con los resultados que se resumen en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Longitud total (cm) de los alevinos de tilapia en cada una de las réplicas (promedio \pm DE) durante el periodo experimental

DIA	TRATAMIENTO 1				TRATAMIENTO 2			
	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
1	4.6 \pm 0.49	4.6 \pm 0.49	4.6 \pm 0.49	4.6	4.6 \pm 0.49	4.6 \pm 0.49	4.6 \pm 0.49	4.6
45	5.83 \pm 1.013	6.0 \pm 1.297	6.31 \pm 1.369	6.05	5.22 \pm 1.13	5.65 \pm 1.077	5.71 \pm 1.089	5.57
90	8.24 \pm 2.13	7.78 \pm 1.45	8.34 \pm 1.78	8.12	7.95 \pm 1.55	8.74 \pm 1.23	8.87 \pm 1.68	8.52
120	9.39 \pm 1.79	8.62 \pm 1.33	10.53 \pm 1.37	9.51	9.57 \pm 2.08	9.19 \pm 2.13	10.67 \pm 2.23	9.81
135	10.13 \pm 2.21	9.66 \pm 1.35	10.64 \pm 1.87	10.14	9.77 \pm 3.78	11.14 \pm 2.18	12 \pm 2.33	11.52

Tabla 6. Peso (g) de los alevinos de tilapia en cada una de las réplicas (promedio \pm DE) durante el periodo experimental

DIA	TRATAMIENTO 1				TRATAMIENTO 2			
	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
1	1.85 \pm 0.52	1.85 \pm 0.52	1.85 \pm 0.52	1.85	1.85 \pm 0.52	1.85 \pm 0.52	1.85 \pm 0.52	1.85
45	4.67 \pm 1.94	6.43 \pm 3.88	4.34 \pm 1.547	5.15	3.23 \pm 2.45	3.16 \pm 1.627	3.87 \pm 2.28	3.42
90	10.92 \pm 4.35	9.9 \pm 5.31	15.54 \pm 6.9	12.12	13.57 \pm 7.67	11.15 \pm 6.55	17.98 \pm 11.22	14.23
120	17.93 \pm 10.09	13.47 \pm 6.06	24.57 \pm 8.99	18.66	21 \pm 13.17	19.4 \pm 15.35	24.66 \pm 16.63	21.69
135	20.3 \pm 11.76	16.05 \pm 5.94	23.03 \pm 12.62	19.79	24.03 \pm 24.57	27.93 \pm 16.01	30.2 \pm 56.43	27.38

En la comparación efectuada entre los tratamientos no se presentaron diferencias significativas en las variables de longitud y peso en ninguno de los muestreos realizados. Es decir que, al finalizar el seguimiento, el crecimiento en talla de los peces fue equivalente para los concentrados con 25 y 32 % de proteína bruta que fueron evaluados. La comparación entre réplicas, en la que tampoco se demostró la existencia de diferencias, es un indicador de que la ubicación de las unidades de producción de biofloc dentro de la estructura no tiene efectos sobre el desarrollo, al menos hasta el rango de tallas que fue trabajado.

Se determinó que los modelos que mejor describen el crecimiento en longitud y peso de los alevinos en este sistema y bajo las condiciones de la estación son de tipo exponencial y significativos; dada la ausencia de diferencias entre las réplicas, para su cálculo se utilizó el valor medio obtenido en cada tratamiento para las dos variables. En las figuras 1 y 2 se presentan gráficamente los datos y las ecuaciones de regresión de mejor ajuste (R^2).

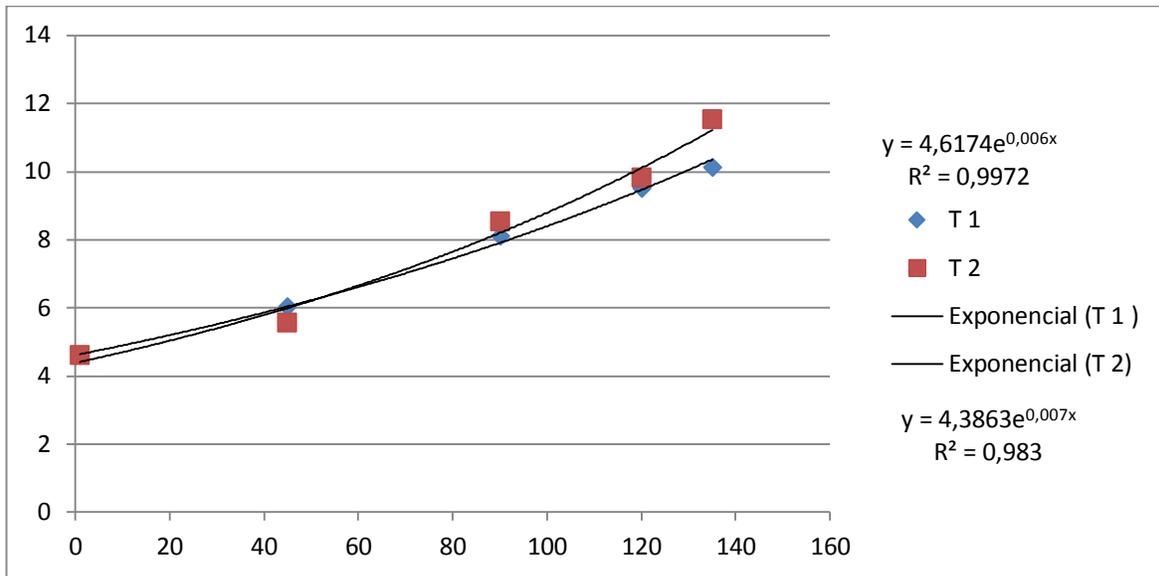


Figura 1. Gráfica de crecimiento en longitud total (cm) a través del tiempo (días) de los peces en los dos tratamientos indicando las ecuaciones de regresión para cada caso

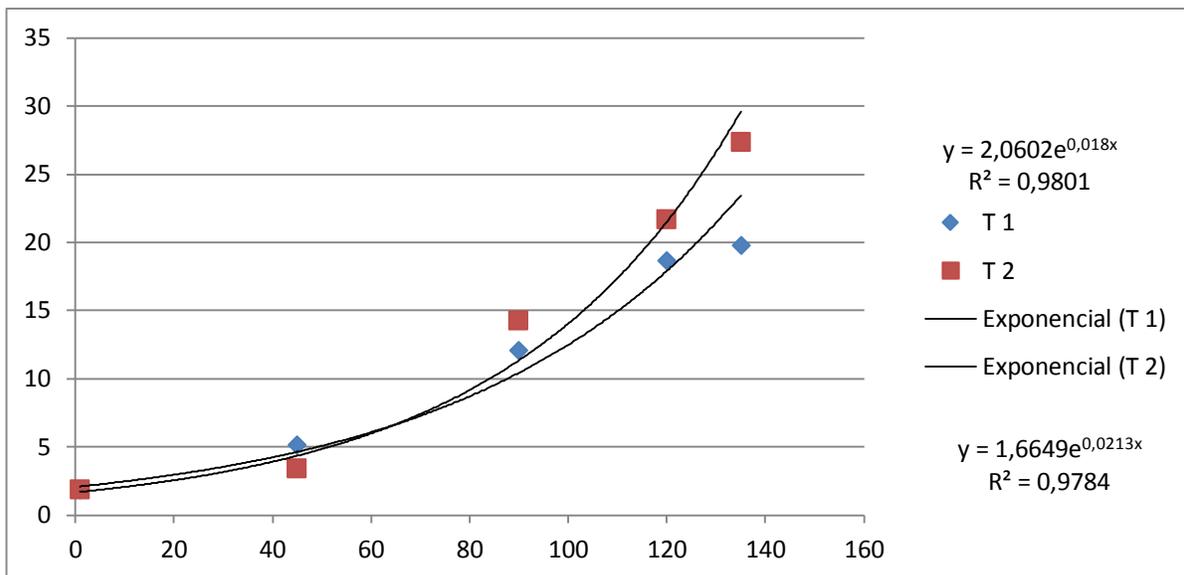


Figura 2. Gráfica de crecimiento en peso (g) a través del tiempo (días) de los peces en los dos tratamientos indicando las ecuaciones de regresión para cada caso

Fue evidente que las longitudes y pesos alcanzados después de 135 días de cultivo son marcadamente inferiores a los que se registran en las condiciones medias en las que se adelanta el cultivo de tilapias en la región, lo que obviamente tiene su mayor explicación en el valor de temperatura promedio que se tiene en la estación. Aunque la extrapolación debe considerarse con cautela y asumiendo que la

tendencia se mantiene, con la curva de crecimiento en peso que fue definida para el T2 (el de mayor pendiente), se tendrían tallas superiores a los 400 g a partir del mes 8 de cultivo en el sistema, partiendo de alevinos con unos 4.5 cm de

longitud total. La siembra con peces de mayor tamaño (alrededor de 7 – 8 cm) significaría una reducción de unos 2 meses en el tiempo previsto para cosecha.

La evaluación del estado general de los peces se realizó indirectamente a través del factor de condición (K de Fulton); los resultados durante el periodo se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Condición (K) de los peces durante el seguimiento

DIA	TRATAMIENTO 1				TRATAMIENTO 2			
	R1	R2	R3	Promedio	R1	R2	R3	Promedio
1	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
45	2.36	2.98	1.73	2.35	2.27	1.75	2.08	2.03
90	1.95	2.10	2.68	2.24	2.70	1.67	2.58	2.32
120	2.17	2.10	2.10	2.12	2.40	2.50	2.03	2.31
135	1.95	1.78	1.91	1.88	2.58	2.02	1.75	2.14
Promedio	2.07	2.17	2.06	2.10	2.37	1.97	2.07	2.14

En general, los valores medios obtenidos se ajustan a lo reportado para la especie en diferentes sistemas de cultivo. No obstante, en un ajuste basado en la ecuación que describe la relación teórica peso:longitud como $\text{Peso} = 0.043 * \text{Longitud total}^{2.681}$ que registran García et al. (2014), es interesante observar que en el inicio del experimento los valores de K fueron inferiores a los que resultan del modelo (1.90 vs 2.53 en el día 1); una regular condición inicial podría ser un factor que podría explicar los picos de mortalidad que fueron registrados durante las dos primeras semanas siguientes a la siembra de los peces.

En lo concerniente a la mortalidad, el comportamiento entre los tratamientos fue diferencial, aunque fue estadísticamente igual entre las réplicas de cada uno. En

efecto, la media de las pérdidas fue significativamente superior en el tratamiento T2, al que fue suministrado el concentrado con mayor porcentaje de proteína (32%). La tabla 8 presenta los promedios.

Tabla 8. Porcentajes de mortalidad en las réplicas de cada uno de los tratamientos experimentales

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio*
1	43.08	44.46	63.78	50.44 ^a
2	87.45	70	56.69	71.38 ^b

*Los superíndices indican diferencias significativas

La evolución de la mortalidad a través del tiempo, registrada diariamente, se muestra gráficamente en las figuras 4 y 5.

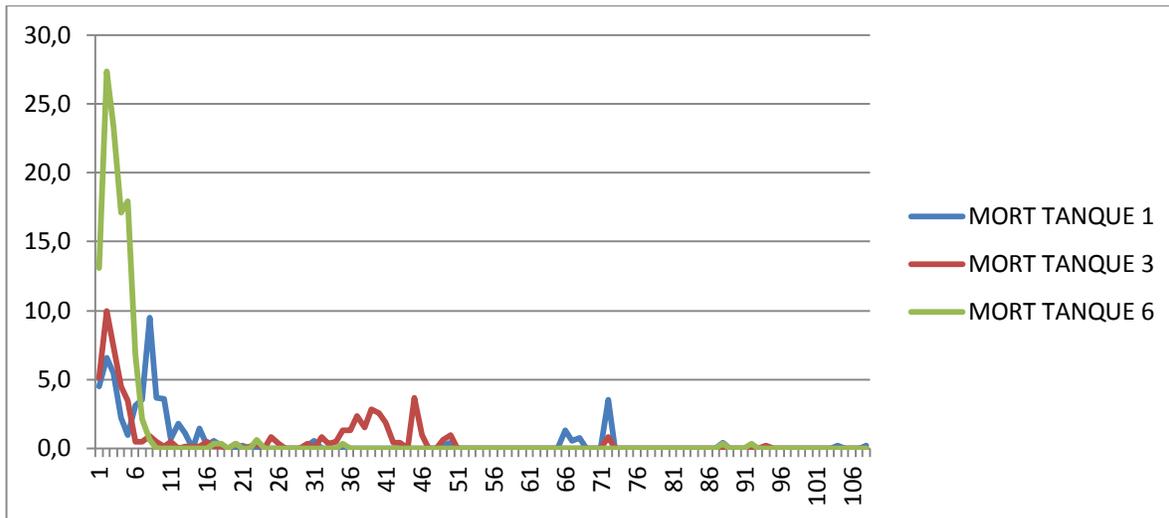


Figura 4. Comportamiento de la mortalidad a través del tiempo en las réplicas correspondientes al tratamiento 1

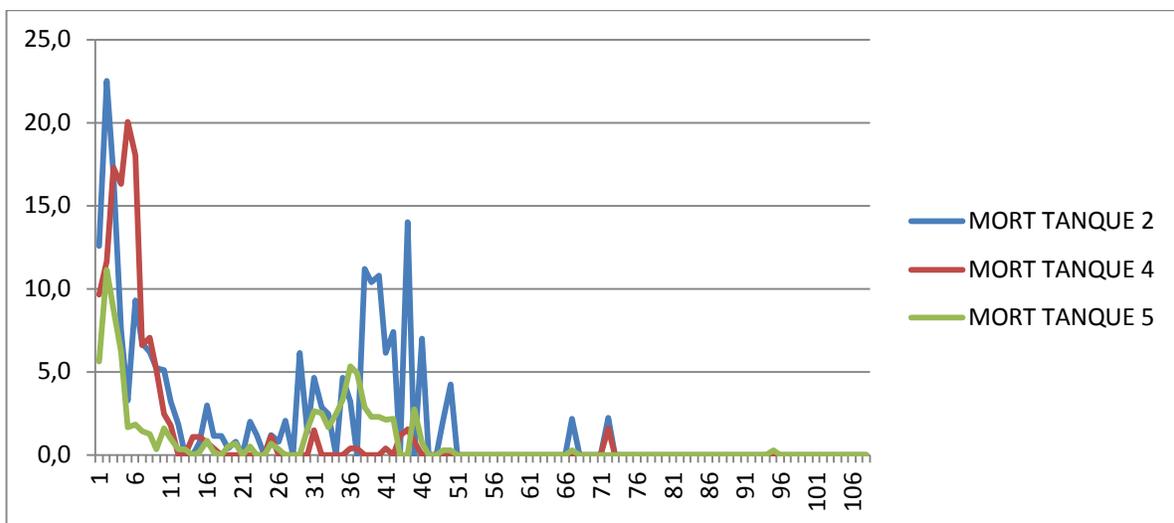


Figura 5. Comportamiento de la mortalidad a través del tiempo en las réplicas correspondientes al tratamiento 2

La configuración gráfica muestra de forma relativamente clara que, en los dos tratamientos, se presentó un periodo inicial que se corresponde con el momento inmediatamente posterior a la siembra y que tuvo una duración de alrededor de dos semanas, en el que las pérdidas fueron sustancialmente elevadas; aunque esto podría asociarse a varios factores, entre ellos el de el mismo manejo previo realizado sobre los peces, la explicación más razonable estaría dada en que la estabilización del sistema aún no se alcanzaba en el momento de la introducción, especialmente en lo que podría asociarse con la concentración de amonio.

Se trata de un

comportamiento que mostró ser similar en todas las unidades y, de hecho, cuando se comparan las pérdidas acumuladas en periodo (medidas en el día 15), el resultado es que en este momento no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Aproximadamente después de la segunda semana, la mortalidad en T1 se estabiliza, condición que prevalece hasta finalizar el ensayo. Por el contrario, en las réplicas de T2 hay un periodo en el que la mortalidad alcanza un segundo pico, cuyo acumulado es el que finalmente genera el que las mortalidades finales sean, en media, superiores para este tratamiento. Como esto ocurre de forma simultánea y fue relativamente similar para las tres réplicas de T2 es de suponer que la causa podría asociarse precisamente al tipo de alimento utilizado y no a otro factor relacionado con el agua ni con las unidades de cultivo; como no se detectó que alguna de las concentraciones de compuestos nitrogenados fuera superior a los límites seguros, se especula que para T2 el tiempo de estabilización es más extenso, precisamente por el mayor tenor de proteína y, posiblemente, por una relación C:N inferior a la considerada como óptima; no es una afirmación concluyente, por lo que su confirmación requiere una valoración posterior.

El consumo y la eficiencia del concentrado fueron superiores en los peces de T1, en las tres réplicas, con diferencias significativas respecto a T2. Aún con las diferencias, los datos del Factor de Conversión Alimenticia (FCA), resumidos en la tabla 9, son concordante con los que se registran en condiciones de cultivo para esta etapa. El aporte nutricional del floc mismo es una cuestión por evaluar.

Tabla 9. Valor medio del Factor de Conversión Alimenticia (FCA) en cada tratamiento experimental

TRATAMIENTO	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	ΔW (g)	Biomasa 1 (Kg)	Biomasa 2 (Kg)	Δ Biomasa (Kg)	Cantidad alimento (Kg)	FCA
1	1.85	19.79	17.94	4.68	25.31	20.63	35.2	1.71 ^a
2	1.85	27.38	25.53	4.21	20.26	16.06	51.26	1.48 ^b

^aLos superíndices indican diferencias significativas

La tabla 10, presenta un resumen de algunos de los parámetros productivos de las valoraciones que sirvieron para la comparación con los datos aquí encontrados; se observa claramente la existencia de diferencias sustanciales para algunos de los sitios referenciados. En particular, en la Granja River Fish Farm se presenta el mejor desempeño, con una ganancia diaria de peso (GDP) de 2.3 g día⁻¹; estos resultados se explican por la madurez alcanzada en el sistema y a la calidad de la fuente de agua, tal como fue descrito anteriormente (tabla 2). La cantidad de iones y la estabilidad en los valores de alcalinidad generan en este caso dos condiciones importantes; la primera es la de sostener un sistema buffer, lo que controla las variaciones de pH y, en segundo lugar, con este nivel de alcalinidad se dispone de una elevada fuente de carbonatos que favorecería la acción de las bacterias nitrificantes, además del grupo de heterótrofos que se mantienen por la vía de la adición de carbohidratos externos (melaza). Los indicadores zootécnicos fueron los más bajos en las condiciones de la estación, lo que tiene su explicación mas razonable en el valor medio de la temperatura, alejado del óptimo (>27 C) que requiere la especie; un efecto adicional de la baja temperatura se tiene sobre la

dinámica misma de las comunidades bacterianas, lo que pudo tener efecto sobre el tiempo en el que el sistema logró la madurez necesaria inicial.

CASOS DE ESTUDIO

PARÁMETRO	PRESENTE ESTUDIO		RIVER FISH FARM	KUBITZA 2011		AZIM&LITTLE 2008	
	25% PB	32% PB	32% PB	36% PB	40% PB	24% PB	35% PB
PESO INICIAL (gr)	1,85	1,85	1,2	7,2	7,1	99,61	100,69
PESO FINAL (gr)	19,79	27,38	115,75	24,8	21,9	127,51	140,72
DIAS EXPERIMENTALES	135		50	50		90	
GDP (gr)	0,13	0,19	2,3	0,35	0,30	0,31	0,44
SOBREVIVENCIA %	49,56	28,62	98%	99	99,6	100	100

CONCLUSIONES

Como las condiciones de temperatura promedio que se mantienen en la estación están fuera del rango que se considera óptimo para que la especie manifieste un desarrollo productivamente interesante en cultivo, los periodos hasta cosecha comercial se proyectan como sustancialmente mayores a los que se determinan para localidades que superan los 26 °C. En tal sentido, la instalación del sistema de producción de biofloc en el centro debe suponer, por tanto, un esquema operativo orientado más hacia aspectos demostrativos y de transferencia de tecnología que a una producción propiamente dicha.

Hasta las tallas alcanzadas después de 135 días de seguimiento, con tratamientos basados en concentrados comerciales del 24 y 32% de PB, no se demostró respuesta diferencial en parámetros zootécnicos básicos. No obstante, la curva de crecimiento en peso con 32% de PB muestra una tendencia que, de mantenerse, sería superior a la obtenida con 24 % de PB y una proyección para obtener pesos superiores a los 400 g después del mes 8 de cultivo. Para el caso particular de la estación, el protocolo de manejo debe considerar que la siembra inicial debe realizarse con alevinos con una talla superior a la utilizada en esta evaluación.

El sistema de biofloc en la estación se logró estabilizar y se sostuvo en funcionamiento durante el periodo experimental; los valores del factor de condición

que evidenciaron los peces son indicadores de un ambiente que sugiere condiciones de una adecuada nutrición, en las que el consumo de flocs bacterianos



"Acuicultura y Pesca con responsabilidad"

fue complemento a la dieta



ofrecida. Al no presentarse problemas asociados a patologías durante los ensayos se refuerza la conclusión anterior.

El pico de mortalidad inicial que se presentó en todas las unidades parece asociarse a situaciones de manejo relacionadas con el periodo que demanda la estabilización plena del sistema en la estación.

REFERENCIAS

Avnimelech Y, Kochva M, Diab S. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 1994; 46 (3):119–31.

Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 1999; 176: 227–35.

Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 2007; 264: 140–47.

Azim M, Little D. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 2008; 283(1-4):29-35.

Burford M, Thompson P, McIntosh P, Bauman R, Pearson D..Nutrient and microbial dynamics in high intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 2003; 219: 393–411.

Burford M, Thompson P, McIntosh P, Bauman R, Pearson D. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero exchange system. *Aquaculture*, 2004; 232: 525–37.

Chamberlain, G.W., Hopkins, S.J., 1994. Reducing water use and feed cost in intensive ponds. *World Aquaculture* 25, 29–32.

Crab R, Chielens B, Wille M, Bossier P, Verstraete W. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, 2010; 41: 559-567.

David-Ruales, CA, Arboleda-Chacón, L1; Taborda-Arboleda, M1; Londoño-Franco, L.F.; Gonzales, J.; Restrepo-Ocampo, D. Comunicación personal. 2015, derivada del proyecto: "Seguimiento en fase de precria de tilapia roja (*Oreochromis spp*) y cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en sistemas con bioflocos y sistema tradicional, una comparación".

De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, Boon N, Verstraet W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 2008; 277: 125–37

FAO. Fisheries and aquaculture information and statistics service. FAO: Roma, 2012.

García A, Tume J, Juárez V. Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo. Ciencia y Desarrollo, 2014; 15 (2): 47 - 55

Fitzsimmons, K. 2000. Future trends of tilapia aquaculture in the Americas. Pages 252–264 in B.A. Costa-Pierce and J.E. Rakocy, eds. Tilapia Aquaculture in the Americas, Vol. 2. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

Hargreaves A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. Aquacultural Engineering, 2006; 34: 344–363.

Izquierdo, M., Forster, I., Divakaran, S., Conquest, L., Decamp, O., 2006. Effect of green and clear water and lipid source on survival, growth and biochemical composition of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition 12, 192–202

Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., 2008a. Enhanced growth effects on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. Aquaculture Nutrition 14, 533–543.

Kubitza F. Criacao de tilapia em sistema com bioflocos sem renovacao de agua. Panorama da AQUICULTURA. Brasil. 2011; Vol. 21 No. 25: 14-23.

Ross, LG. Environmental physiology and energetics. Beveridge and BJ MacAndrew Edits. Tilapias: Biology and Exploitation. Chapter four: 89-128 pp. Kluwer Academic Publisher 2000.

Sierra-De la Rosa J., Martínez-Pardo X., Mendoza-Rivera M. Evaluación del cultivo de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva en el sector camaronicultor colombiano. Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia – CENIACUA. Cartagena, 2007. 48p

ANEXO 4

(VERSIÓN PARA REVISIÓN)

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE PECES EN SISTEMAS DE BIOFLOC



**AUTORIDAD NACIONAL DE
ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP**

ESTACIÓN PISCÍCOLA DE GIGANTE

PRESENTACIÓN

En los procesos que implican el mejoramiento o adaptación de esquemas productivos se tiene la implementación sustentada de sistemas alternativos a los tradicionalmente aplicados. Son las necesidades crecientes y cambiantes, además de las limitaciones al acceso a recursos de todo tipo, las motivaciones que impulsan la búsqueda de nuevas opciones. Particularmente en piscicultura, estos son algunos de los condicionantes que han justificado el redireccionamiento hacia esquemas operativos con los que se busca combinar el sostenimiento de altos niveles de producción con un uso más eficiente del recurso hídrico.

Así, dentro de las posibilidades de utilización del agua, la alternativa que ofrece la denominada tecnología del biofloc se convierte en una opción con interesante potencial. Además de integrar la un manejo conservador del agua con el mantenimiento de una escala productiva intensiva, con estas tecnologías se abren escenarios en los que la actividad puede ser realizada en zonas que tradicionalmente se hubiesen considerado deficitarias y, por tanto, no aptas para la producción de peces. En esencia significa que, cumpliendo ciertos estándares de manejo, el rango ambiental en el que la actividad piscícola puede adelantarse se amplía enormemente utilizando cultivos con biofloc.

La Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP es consciente de estos desafíos y, en consecuencia, ha establecido programas operativos con los que busca ampliar el rango de apoyo estatal, en lo que se refiere a obtener y exponer resultados de experiencias investigativas propias que soporten técnicamente estas opciones, todo con un complemento basado en la instalación de módulos que sirvan a los usuarios como ejemplos demostrativos funcionales en infraestructura y manejo.

Esta cartilla es uno de los productos que surgen de tales esfuerzos. Se trata de una introducción práctica a los parámetros involucrados en la implementación de las tecnologías del biofloc y en la que se incluyen también algunos de los resultados directamente obtenidos en las instalaciones de la Estación Piscícola de Gigante.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho que la pesca de captura está alcanzando límites de explotación máxima, por lo que se estima que para atender la demanda de una población creciente la producción acuícola deberá crecer cinco veces más en las próximas décadas, previendo un consumo per cápita que para el año 2050 podría ser de dos a tres veces superior al actual. La producción acuícola continental realizada en estanques en tierra depende del uso de importantes niveles de recursos hídricos los que, a nivel global, son cada vez más escasos y costosos. Se tiene también que alrededor del 41% de la población mundial vive cerca de las cuencas de los ríos, generando una elevada presión ambiental sobre sistemas que se catalogan como frágiles, por lo que se espera que para el 2050 un 70% de la población mundial se enfrente a problemas de insuficiencia de agua.

Desde la década de los 70 la producción acuícola en el mundo ha crecido a una tasa media anual del 8,3%, en un desarrollo que se tiene sus bases en técnicas de producción intensivas; la respuesta a las demandas de un mayor mercado también ha estado acompañada por un incremento en aspectos de impacto ambiental que, en una generalización, se relaciona con la generación de efluentes contaminantes conformados por alimento no consumido, heces, compuestos orgánicos e inorgánicos (amonio, fósforo, carbono orgánico disuelto, entre otros), causando deterioro en los cuerpos de agua receptores. La acuicultura compite también en el uso de suelos y aguas con otras actividades como urbanización, consumo doméstico, agricultura, conservación de humedales, recreación y turismo.

Con base en valoraciones sobre la real sustentabilidad de la acuicultura, la FAO (1997) propuso la implementación de Buenas Prácticas de Manejo que, como principal objetivo, busca hacer de la acuicultura una actividad ambiental, social y económicamente sostenible; así, varios sistemas para lograr tal certificación están siendo propuestos y se pretende que pueden ser adoptados y cumplidos por los principales mercados globales, incluyendo entre otros, sistemas productivos ecológicamente más sustentables como policultivos, sistemas integrados, sistemas de recirculación y biofloc los que, de hecho, ya se manejan en algunos países de la mano con soportes y acciones legales y conciencia del consumidor final. En particular, sobre el uso de tecnologías del biofloc, y a pesar de que existe abundante información acerca de su aplicación, en Colombia son pocas las experiencias que se han replicado, con escasas referencias de trabajos realizados en aguas continentales y aún menos datos se registran sobre procedimientos relacionados con montaje y seguimiento.

Con fundamento en este marco general, la presente cartilla busca exponer conceptos orientadores y ofrecer herramientas que sirvan de referencia para el inicio de emprendimientos productivos con este tipo de sistemas. Para efectos de presentación, hasta donde fue posible, se omitieron citas bibliográficas dentro del texto; no obstante, al final se incluyen referencias especializadas, las que pueden ser consultadas por usuarios interesados en profundizar sobre biofloc.

CONTEXTO

Bajo la modalidad de intensivo se encuentra la aplicación de diferentes posibilidades, de acuerdo a la infraestructura utilizada. Se tienen, por ejemplo, invernaderos con tanques en “v”, raceways (o canales de alto flujo), canales de irrigación, recirculación, acuaponía y jaulas flotantes; por lo general, la densidad de siembra varía en el rango de 10 a 600 peces/m³, con productividades que van desde los 5 a los 300 kg/m³. Se reconoce que las principales limitantes a las que están sujetos están representadas por los elevados costos de inversión debidos a infraestructura y manejo, la dependencia absoluta de aceites y harinas de pescado, además de las altas tasas de contaminantes que vierten a los cuerpos de agua por los efluentes. En la tabla 1 se comparan los parámetros de producción que caracterizan cada una de estas opciones.

Tabla 1. Relación entre densidad de siembra y productividad en sistemas piscícolas de tipo superintensivo

Sistema de producción	Densidad de siembra (peces/m ³)	Productividad (Kg/m ³)
Invernaderos con tanques en “v”	10-40	5 -20
Raceways	20-80	10-40
Canales de irrigación	40-100	20-50
Recirculación y acuaponía	50-200	25-100
Jaulas flotantes	100-600	50-200

Fuente: adaptada de Zimmermann y Fitzimmons (2004)

Un conjunto de medios y procedimientos relativamente reciente para la producción acuícola (con desarrollo desde mediados de los noventa), corresponde a la denominada **Tecnología del Biofloc**; se impulsa como consecuencia del uso de estanques mixtos con aireación permanente en sistemas parecidos a las plantas de tratamiento de aguas residuales, en los que se busca implementar condiciones dirigidas a maximizar el potencial de procesos microbiales, con ventajas adicionales que se asocian a una operación productiva que requiere cero o

limitado recambio. La tecnología del biofloc es básicamente una combinación de procedimientos con los que se controla la calidad del agua, especialmente a través del manejo de las relaciones entre el carbono y el nitrógeno (C/N).

En esencia, el término biofloc describe un macro agregado, de alto contenido proteico, en el que se encuentran bacterias, algas, protozoos y otros microorganismos unidos a detritos y partículas orgánicas, relacionadas todas en un único ecosistema que permanece en suspensión (figura 1); en este tipo de ecosistemas hay altas tasas de aireación y de distribución homogénea del biofloc en la columna de agua. Los residuos orgánicos actúan como un sustrato para el crecimiento de bacterias, llevando al sistema a una condición cada vez más heterotrófica. La presencia de esta asociación microbial posibilita aplicar medidas de control de la calidad del agua y, a su vez, optimizar el uso del alimento.



Figura 1. Detalle de un floculo; el señalador indica un nematodo asociado a algas y detritos.

La población microbiana de tipo heterotrófico es estable, activa y tiene independencia de las condiciones lumínicas, lo que implica un metabolismo rápido de la materia orgánica, con la producción consecuente de nuevo material celular bacteriano; cuando las relaciones de carbono y de nitrógeno están balanceadas, el amoníaco y otras fuentes de nitrógeno orgánico son convertidos en biomasa. Al adicionar carbohidratos al sistema, el crecimiento de este tipo de bacterias se ve estimulado y se da el consumo permanente del nitrógeno para la producción de proteínas microbiales, con lo que se eliminan los riesgos tóxicos de estos compuestos. Se infiere por tanto que la tecnología del biofloc incrementa la calidad

del agua, disminuyendo la concentración del amoníaco de manera más eficiente que la que se daría únicamente con procesos de nitrificación.

En principio, la tecnología se desarrolló para camarones aprovechando sus hábitos filtradores y los resultados de varios estudios concluyen que en estos organismos el uso del biofloc incrementa la ganancia de peso, potencia el aprovechamiento de las dietas formuladas (efecto ahorrador de la proteína) y mejora la sobrevivencia. Particularmente en Colombia, CENIACUA (2009) ha liderado la investigación en las tecnologías, tanto en camarones como en cultivos asociados con tilapias roja (*Oreochromis spp*) y nilótica (*Oreochromis niloticus*) en ambientes salinos. Se reporta que, para tilapias, la producción alcanzó pesos medios de más de 500 gramos en cuatro meses, valores considerados óptimos, confirmando también que se presenta un aprovechamiento directo del biofloc por parte de los peces.

Otros autores han estimado, con base en el flujo del nitrógeno a través del biofloc, que en tilapias este puede llegar a representar casi el 50% de la ración convencional alimenticia. Con alevinos híbridos (*Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*) se corrobora la efectividad del sistema para mantener óptimas condiciones de calidad de agua, con altas densidades en cosecha (20 Kg/m³) y porcentajes de sobrevivencia entre el 80 y el 97%; también en juveniles de tilapia nilótica, se ha determinado que la adición de fuentes ricas en carbohidratos como el almidón, en una relación C/N de 16:1, controla de forma significativa las concentraciones del nitrógeno amoniacal total (TAN) acumulado, cuando se compara con controles sin biofloc, mejorando de manera equivalente los porcentajes de sobrevivencia (96%, en comparación a 22% de los controles) y la ganancia diaria de peso diaria (1.4 vs 1 gramo de los controles); se tiene que la calidad nutricional del biofloc es apropiada para la especie y algunos trabajos presentan sobrevivencias del 100%, con una producción neta por pez que supera en un 45% a los controles, permitiendo incluso que utilizando concentrados de menor contenido de proteína se logren los mismos niveles de crecimiento.

MANEJO Y CONTROL DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN SISTEMAS CON BIOFLOC

Toda característica del agua que en un sistema de producción pueda afectar la sobrevivencia, la reproducción, el crecimiento o la producción de una especie en cultivo, influye directamente sobre las decisiones de manejo y causa impactos ambientales, por lo que diferentes parámetros deben ser registrados, analizados y ajustados de forma permanente. Es precisamente por los principios que son el

fundamento de un sistema de biofloc que esta rutina adquiere un papel primordial, con cuyo estricto control se soportará el éxito del cultivo. En general, los siguientes parámetros de calidad son los que se consideran como fundamentales:

- a) **Oxígeno disuelto (OD):** es, independientemente del sistema de cultivo, el condicionante de calidad de agua de mayor impacto, por lo que en biofloc debe ser monitoreado diariamente. El nivel de consumo del OD es una función del ingreso del alimento y tiene relación con la concentración de la comunidad microbiana que lleva a cabo los procesos de transformación de la materia orgánica en un ambiente que debe ser aerobio. Por ejemplo, en camarón (*Litopenaeus vannamei*) se ha establecido que cerca del 40% del OD disponible se emplea en el crecimiento de los microorganismos asociados al biofloc. Por tanto, el nivel de la aireación puede ser estimado con base en la densidad de siembra o calculado en función de la tasa de alimentación; al menos una concentración de 5 – 6 mg/L debe ser sostenida en el caso de las tilapias en biofloc, de lo que se deduce que es obligatorio instalar un sistema de respaldo al principal, necesario para suplir los requerimientos en el evento en el que ocurra una falla en la fuente primaria de suministro de aireación. A modo de referente operativo, un blower de 1 HP es suficiente para proveer las necesidades de alrededor de 30 – 50 m³ de agua.
- b) **Temperatura:** puesto que los peces son organismos cuyo metabolismo depende de la temperatura, este factor tendrá incidencia en la tasa de crecimiento que, dentro de los límites vitales que tiene cualquier especie, se verá favorecida o disminuida conforme esta sea mayor o menor respectivamente. Aunque en sistemas con biofloc, precisamente por el bajo recambio, el parámetro tiende a mantener un valor estable, lo cual es una ventaja operativa, el registro debe ser diario y, preferiblemente, en dos o tres horas diferentes. Se requiere contar con un valor promedio que servirá tanto para la programación de la producción como para contar con el referente que determinará la fracción tóxica del amonio producido.
- c) **pH:** en general, el rango recomendado para la producción de peces está entre 6.5 y 9. Al igual que con la temperatura, la medición diaria es conveniente, pues es también un registro necesario para la determinación de la toxicidad del amonio. En sistemas de biofloc existe una gran influencia de la materia orgánica sobre el pH, pues puede hacer que disminuya hasta niveles de riesgo. Se controla con la adición de bicarbonato de sodio (NaHCO₃), con lo que se

- d) incrementa la alcalinidad, regulando la magnitud de las fluctuaciones y ofreciendo una fuente adicional de carbono para las bacterias nitrificantes.
- e) **Alcalinidad:** determina la capacidad del agua para amortiguar los cambios en el pH. La actividad de las bacterias nitrificantes es responsable de la mayoría de las pérdidas de alcalinidad en sistemas intensivos son biofloc. Cuando esta disminuye, el pH puede reducirse drásticamente, inhibiendo la función bacteriana, incluyendo la de las bacterias nitrificantes importantes. Al no haber asimilación, el amoníaco se acumula hasta el punto donde se restringen apetito y la respuesta de alimentación, afectando en última instancia, el rendimiento. La alcalinidad debe mantenerse entre 100 y 150 mg/L, como CaCO_3 , controlándose a través de la adición periódica de bicarbonato de sodio. La medición regular de la alcalinidad se convierte por tanto en una norma obligada en sistemas de biofloc.
- f) **Desechos Nitrogenados:** como se anotado, en sistemas de producción de tipo intensivo se da una formación importante de desechos nitrogenados inorgánicos. El concentrado de los peces contiene elevados niveles de proteína y un alto porcentaje de esta no es aprovechada; de manera general, cerca del 70 al 75% de la proteína del alimento no se transforma y se pierde, principalmente por dos vías: la primera como alimento no consumido, y la segunda como productos de excreción provenientes del metabolismo. Así, el nitrógeno que se incorpora al agua (denominado como Nitrógeno Amoniacal Total - TAN), corresponde a la suma del amonio no ionizado (NH_3 , muy tóxico) y del amonio ionizado (NH_4^+); la cantidad (concentración o porcentaje) de cada una de estas fracciones dependerá del pH, la salinidad y la temperatura. Se tiene que en temperaturas más altas, a superior pH y una elevada salinidad, la presencia de la fracción tóxica (el amonio no ionizado) será igualmente mayor.

Cuando se ha medido el valor del TAN presente y se dispone de los datos promedio de temperatura y pH, se puede estimar la fracción tóxica con la tabla 2. Como ejemplo, el valor resaltado (2.48) indica el porcentaje del amonio tóxico (no ionizado) en un sitio con una temperatura de 30 °C y un pH = 7.5. Así, si el TAN total es de 2 mg/L, el amonio no ionizado será de $2 \text{ mg/L} \times (2.48/100) = 0.0496$; como en tilapias la concentración a la cual el 50% de la población muere (LC50) es de 2.5 mg/L y por seguridad se debe trabajar con un 10% de este valor (o sea, de 0.25 mg/L), el valor encontrado se encuentra dentro del rango tolerable, luego no representa riesgo para los peces. Con la tabla es fácil

observar que con el mismo de TAN pero en un pH más elevado, la concentración del amonio tóxico alcanzaría valores letales para los peces.

Tabla 2. Porcentaje de amonio no ionizado ($\text{NH}_3\text{-N}$) con respecto al nitrógeno amoniacal total (TAN) y en relación con el pH y a la temperatura del agua.

Temperatura(°C)	pH					
	6.5	7	7.5	8	8.5	9
20	0.125	0.396	1.24	3.8	11.2	28.4
21	0.135	0.425	1.33	4.1	11.9	29.9
22	0.145	0.457	1.43	4.4	12.7	31.5
23	0.156	0.491	1.54	4.7	13.5	33.0
24	0.167	0.527	1.65	5.0	14.4	34.6
25	0.180	0.566	1.77	5.4	15.3	36.3
26	0.193	0.607	1.89	5.8	16.2	37.9
27	0.207	0.651	2.03	6.2	17.2	39.6
28	0.221	0.697	2.17	6.6	18.2	41.2
29	0.237	0.747	2.32	7.0	19.2	42.9
30	0.254	0.799	2.48	7.5	20.3	44.6

En un cultivo con biofloc se promueve la transformación de los productos nitrogenados a partir de la instalación de una importante comunidad microbiana que los captura y remueve del sistema lo que impide que sus concentraciones se eleven hasta niveles tóxicos. Para lograr este efecto existen tres mecanismos, con grupos de microorganismos que pueden transformar el TAN a través de procesos diferentes, así:

- a) Sistemas fotoautótrofos (algas y cianobacterias)
- b) Sistemas heterótrofos (bacterias)
- c) Nitrificación por bacterias quimio-autótrofas

El medio acuático es complejo y los tres grupos pueden estar presentes en un momento dado, pero cada uno en concentraciones que dependerán del estado del cultivo, el diseño del sistema y, particularmente, de la estrategia de manejo aplicada. Una posibilidad para modificar la dominancia de un grupo se da a través del incremento de la tasa de alimentación, la densidad de siembra y la magnitud de la adición de las fuentes de carbono.

Cuando se tiene un alto suministro de alimento, los procesos de depuración por bacterias heterotróficas y por la nitrificación quimio-autotrófica tienden a dominar. Cada uno tiene ventajas y desventajas, tal como se muestra en la tabla 3, donde se compara la eficiencia en la remoción de 1 gramo de amonio; se observa claramente que con este último se necesitan al menos 15 gramos de carbohidratos por cada gramo de TAN a remover; por el contrario, el sistema nitrificante no requiere de adición de fuentes de carbono, en vista de que se obtiene la energía por medio de la oxidación del TAN pero, a su vez, consume más alcalinidad, lo que implica el uso de iones bicarbonato (como el bicarbonato de sodio, NaHCO_3) para mantener el pH; es también un sistema que se establece de forma más lenta, lo que resulta en la acumulación de los productos intermediarios (nitritos y nitratos). En los dos procesos se consume una cantidad equivalente de OD, pero con la asimilación heterotrófica se produce un 65% más de CO_2 (dióxido de carbono) por cada gramo de TAN, lo cual puede representar un riesgo en sistemas cerrados.

Tabla 3. Comparación entre los sistemas de asimilación de $\text{NH}_3\text{-N}$ por medio de nitrificación y de bacterias heterotróficas.

CONSUMO por g $\text{NH}_3\text{-N}$	Nitrificación (g)	Heterotrofia (g)
Carbohidratos	0	15.17
Alcalinidad	7.05	3.75
OD	4.18	4.71
Biomasa bacteriana producida	0.2	8.07
CO_2 producido	5.85	9.65
$\text{NO}_3\text{-N}$ producido	0.976	0

Fuente: adaptada de Ebeling et al. (2006)

g) Sólidos en suspensión: En un sistema de biofloc ya estable o maduro, la medición constante de los sólidos en suspensión (SS) se convierte en una importante herramienta de manejo. Para el efecto se utilizan conos IMHOFF (o algún medio similar), que son recipientes graduados de 1 L de capacidad; se llenan con el agua de la unidad de cultivo y se mide, después de 20 minutos, el volumen del material sedimentado. Si bien se trata de una medida indirecta, se considera que niveles de 10 a 30 mL son indicativos de una producción adecuada de flóculos bacterianos (figura 2). Aun así, la valoración detallada del tipo del agregado es indispensable para una mejor caracterización del sistema, tal como se verá posteriormente.



Figura 2. Cono Imhoff para sedimentación y medición de sólidos en suspensión

RELACIÓN CARBONO/NITROGENO EN SISTEMAS DE BIOFLOC

Se trata de la piedra angular que sostiene la eficiencia de estos sistemas; el manejo de la relación variará según el tipo de transformación del amonio que se pretenda mantener. Como se mencionó, en el ambiente de cultivo están las siguientes posibilidades (figura 3):

- a) Fotoautotrófico. En este caso dominan las algas, que son menos eficientes en la remoción de compuestos nitrogenados; la relación C/N es cercana a 10:1.
- b) Heterotrófico. Se basa en el establecimiento de comunidades compuestas por bacterias heterotróficas, como eje principal para la transformación de los compuestos nitrogenados en biomasa bacteriana; es el más eficiente en términos de eliminación, pero requiere la aplicación constante de carbohidratos para que la relación C/N sea de 20:1.
- c) Quimioautotrófico. Hay presencia simultánea de sistemas nitrificantes y bacterias heterotróficas, por lo que la relación C/N es del orden de 15:1; en esta opción la fuente de carbono está dada en el HCO_3^- y el CO_2 , por lo que al haber un consumo permanente de la alcalinidad, la evaluación y manejo del parámetro y su relación con el pH es absolutamente necesaria.



Figura 3. A) Indica un sistema típicamente heterotrófico; B) Un sistema autotrófico y C) Un sistema quimio-autotrófico

En la elección del sistema principal que se aplicará intervienen varios factores, que involucran desde los objetivos de producción buscados, la experiencia misma y hasta las condiciones particulares que se dan en cada localidad. El tipo de microorganismos que se desarrollen en los bioflóculos puede variar dependiendo de la proporción C/N. Por ejemplo, bajo 10:1 se pueden desarrollar principalmente bacterias autotróficas o microalgas y con una proporción de 20:1 o más, se obtendrá el desarrollo de una mayor proporción de bacterias heterotróficas.

Conforme se incrementa el contenido proteico del concentrado utilizado, se necesitará un mayor aporte de carbohidratos buscando compensar la relación C/N. El cálculo de la cantidad de carbohidratos que deberán ser adicionados al sistema se realiza a través de una serie secuencial de operaciones sencillas. A continuación se detalla un ejemplo adaptado para el caso de un cultivo de tilapias, diseñado para mantener un sistema con biofloc de tipo heterotrófico.

- a) Porcentaje de alimentación diario: 2 % de la biomasa
- b) Por cada kilogramo de biomasa presente se añadirán entonces 20 gramos de concentrado
- c) Teniendo en cuenta que se usa un concentrado con el 30 % de proteína, la cantidad de proteína a suministrar será de $20 \text{ gramos} \times 0.3 = 6 \text{ gramos}$ por cada kilogramo de peces por día
- d) Como el 16 % de la proteína es nitrógeno (N), la cantidad de N que ingresa al sistema por cada kilogramo de peces al día será aproximadamente igual a $6 \text{ g} \times 0.16 = 0.96 \text{ gramos}$
- e)

- f) En tanto del N del alimento solo se aprovecha el 25% (luego, el 75% se excreta o se encuentra en el alimento no consumido), la cantidad de nitrógeno que se incorpora realmente al sistema será igual a $0.96 \text{ g de N} \times 0.75 = 0.72 \text{ gramos por kilogramo de pez/día}$
- g) Al definir que para un sistema heterotrófico se mantendrá una relación C/N de 20:1, significa que por cada gramo de nitrógeno que se incorpora al agua se requiere adicionar 20 gramos de carbono. Para este ejemplo, la cantidad de carbono que se debe incorporar se calcula multiplicando los 0.72 gramos de nitrógeno obtenidos $\times 20 \text{ gramos de carbono} = 14.4 \text{ gramos de C por cada kilogramo de pez al día}$
- h) De esta cantidad de carbono, una parte es aportada por el concentrado mismo y la otra debe ser adicionada. El contenido de carbono en el alimento cambia según su porcentaje de proteína. Como referente, la tabla siguiente muestra la relación que se presenta en diferentes concentrados, valores con los que se hará la corrección correspondiente.

ALIMENTO (%PB)	RELACIÓN C:N
15	21,5:1
16	20:01
20	16:01
24	12:01
30	10,7:1
32	10,08:1
36	9:01
40	8,06:1
50	6,45:1

Tabla 4. Relación C/N para concentrados con diferentes porcentajes de proteína bruta (%PB)

- i) Para este caso particular, el alimento con el 30% de proteína presenta una relación C/N de 10.7:1. Así, por cada gramo de nitrógeno se tienen 10.7 gramos de carbono en el concentrado; como ya fue calculado que se requieren 14.4 gramos de carbono por kilogramo de biomasa y se dispone de 10.7 gramos en el alimento, la diferencia deberá ser aportada por una fuente externa ($14.4 - 10.7 = 3.7 \text{ gramos de carbono}$).
- j) En el ejemplo se asume que la fuente de carbono a utilizar será melaza. Este producto cuenta con un 40% de contenido de carbono. Por tanto, la cantidad de 3.7 gramos que fue calculada se divide por 0.4, lo que da un
- k)

valor final de 9.25 gramos de melaza que deben ser adicionados diariamente al cultivo por cada kilogramo de biomasa presente.

La dosificación a la cual el carbón orgánico es añadido es un parámetro que debe ser tenido en cuenta para el manejo de los bioflóculos. Con base en los cálculos ya descritos, la fuente (en este caso la melaza) se puede incorporar diariamente (situación conveniente, pero requiere más labor), o bien en acumulados semanales. De cualquier forma, el carbohidrato genera un consumo inmediato de OD, por lo que debe controlarse y la adición se realizará cuando las concentraciones de oxígeno disuelto sean seguras (por lo general, se efectúa en momentos diferentes a los del suministro del alimento y no en horas de la mañana).

IMPLEMENTACIÓN DE UN CULTIVO CON BIOFLOC

Se ha mencionado que, en términos de transformación de desechos, en los sistemas con biofloc pueden coexistir varios mecanismos simultáneamente. No obstante, en la práctica, se diferencian dos posibilidades que tienen que ver con la forma en que se ubican las unidades de cultivo con respecto a la intensidad luminosa, lo que definirá las características de las comunidades que se van a asociar con los bioflóculos. Sistemas expuestos directamente a la luz solar propiciarán la proliferación de microalgas y otros organismos fotoautótrofos (aguas con tonalidad verde), mientras que en condiciones de oscuridad o con poca intensidad luminosa, se promoverá el desarrollo de bacterias heterótrofas (típicamente aguas que adquieren un color café).

Independientemente de la modalidad a utilizar, la instalación de estos esquemas alternativos, bien por la transformación de granjas existentes o bien por nuevas construcciones es una decisión de tipo empresarial que debe estar sólidamente sustentada; las altas inversiones que se requieren en casos de producción intensiva deberán, entre otros, considerar factores de calidad y cantidad a producir para mercados previamente evaluados, los diseños posibles, capacidad para responder anticipadamente en casos que, como el biofloc, se ajustan a un mayor grado de especialidad en el manejo y que, por tanto, se justifican cuando están basados en valoraciones con garantía de control total, seguridad y retorno de la inversión.

Bajo el supuesto de que se cuenta con la infraestructura instalada, las consideraciones técnicas para proceder con la preparación y manejo de las unidades de cultivo se resumen en:

- Siempre es conveniente que el llenado inicial sea con agua completamente limpia; para esto, una decantación o filtración previas pueden ser recomendables, dependiendo de la cantidad de sólidos de la fuente y, como desinfectante, se puede utilizar entre 5 mL de hipoclorito de sodio por litro de agua. Con aireación constante, el periodo de desinfección será de 24 a 36 horas, al cabo de las cuales se agrega tiosulfito de sodio (5 mg por litro), con lo que se neutraliza cualquier residuo de cloro.
- En el sistema, la aireación instalada deberá operar permanentemente a través de un ventilador (blower) al que se le une una manguera poli-difusora o cualquier componente que permita el fraccionamiento de las burbujas y su dispersión uniforme por la totalidad del tanque de cultivo. En el cálculo de la cantidad de manguera poli-difusora se debe tener en cuenta la producción de aire del equipo (en m^3 por hora) y de la capacidad de transporte de la manguera a instalar (en m^3 por hora) (figura 4). En definitiva, el resultado final debe ser el de un burbujeo fino, que sea uniforme para todo el volumen y que permita garantizar la suspensión total de los sólidos; la acumulación de estos últimos por causa de una suspensión ineficiente es una situación no deseable y altamente perjudicial en sistemas de biofloc (figura 5).



Figura 4. Parrillas con manguera poli-difusora para tanques plásticos de $4 m^3$ cada uno.



Figura 5. Aireación uniforme en todo el volumen del tanque

- Con el agua ya tratada, se prepara el cultivo adicionando 1 Kg de melaza y 1 Kg de concentrado molido fino para pollos (con un contenido del 16 al 20 % de proteína) por cada m^3 , con lo que se alcanza una relación C/N entre 16:1 y 20:1 (figura 6). Simultáneamente se agregan 2 Kg de sal marina por m^3 , lo que permite control sobre los efectos letales de los nitritos (NO_2^-). Aunque se puede esperar que bacterias nitrificantes aparezcan de forma normal en el cultivo en un periodo de 15 – 20 días, el proceso puede ser agilizado inoculando una cepa comercial, con 10 mililitros de suspensión por cada m^3 .



Figura 6. Adición inicial de concentrado para pollos (16 al 20 % de proteína) y melaza en relación 1:1

• Para agilizar los procesos de maduración y que prevalezcan bacterias benéficas, es también factible adicionar una cepa comercial de probióticos, de los cuales se encuentran varias opciones comerciales. Estas se reconstituyen en agua y se utiliza un patrón visual estándar de turbidez (7 en la escala de McFarland), lo que indica una concentración bacteriana suficiente para el inóculo inicial. En este caso se siembran 20 mL de la solución por cada m³ de volumen de la unidad de cultivo (figura 7).

Figura 7. Color típico lechoso para una cepa cualquiera de microorganismos probióticos reconstituida hasta un patrón de 7 en la escala de turbidez de McFarland



- Después de confirmar la maduración del sistema, con base en la comprobación visual de la formación de flóculos y en el comportamiento y tendencias de los registros de calidad de agua (particularmente en compuestos nitrogenados), se procede con la introducción de los peces. En el caso de un cultivo programado sin que haya movimiento de los animales, es decir que se mantiene la cantidad de ingreso hasta cosecha, los cálculos de número inicial de alevinos se realizan para soportar biomásas finales que pueden estar en un rango de 20 a 35 Kg por m³.
- Como fue anotado, el cultivo con biofloc requiere obligada aireación permanente; esto implica que para solventar cualquier falla en un equipo, se debe contar con unidades adicionales de reserva. Igualmente, la suspensión en el suministro eléctrico tendrá que superarse con la instalación de generadores de emergencia. Es de reiterar que la falta de aireación, aún en periodos cortos de tiempo, puede resultar en la desestabilización total del sistema y en la pérdida total de los peces presentes.

- La evaluación constante de la calidad del floc es parte de las rutinas obligadas de manejo. De manera directa se puede valorar el tamaño de los flóculos y su conformación en términos de los organismos que aparecen asociados; se trata de prevenir que se formen algas filamentosas, pues estas pueden generar mal sabor en los peces. Al limitar la intensidad

lumínica sobre las unidades (con polisombra, por ejemplo) la situación se puede corregir. Naturalmente estas observaciones requieren de equipos ópticos no siempre presentes en las granjas.

- De manera indirecta, las características de los flóculos en los conos Imhoff es una primera aproximación que resulta ser muy útil en la práctica. Idealmente, la sedimentación después de 20 minutos debe ser pareja; cuando hay nube de sólidos o flóculos muy separados, es también posible que haya presencia de algas filamentosas o cianobacterias, lo que debe confirmarse mediante microscopio. Una alta variación en la cantidad de sólidos suspendidos en el tiempo podría indicar excesos de concentrado.
- Además de lo anterior, los registros de amonio, nitritos, nitratos y alcalinidad son los indicativos más confiables. Procesos eficientes de nitrificación se demuestran por el consumo de amonio y la alcalinidad. Niveles de nitritos cercanos a cero y marcadamente inferiores a los de nitratos evidencian que las transformaciones de desechos nitrogenados se están dando de forma normal dentro de la unidad de cultivo.
- Siendo los nitritos la forma que puede representar una mayor toxicidad dentro del proceso de nitrificación que va desde el amonio hasta los nitratos, es absolutamente indispensable disponer de información constante sobre su concentración. Cuando los valores se ubican en límites de riesgo, un control efectivo se puede realizar por la vía de la adición de sal al sistema. Para efectos de cálculo de la sal a añadir, la cantidad de cloro (Cl) que se debe mantener se estima en 6 gramos del ion (Cl) por cada gramo de nitritos presente (NO_2^-). Para calcular esta cantidad se pueden aplicar dos vías:

Sostener

permanentemente una concentración de 3 partes por mil (ppt). Significa la adición de 3 gramos de sal por cada litro de agua, lo que equivale a 3 kilogramos de sal por cada m³ de volumen de agua en la unidad de cultivo.

- Si se dispone de la concentración de nitritos (NO₂⁻), el valor se multiplica por 10 y por el volumen del tanque; por ejemplo, con nitritos en 4 mg/L en un tanque de 25 m³, la cantidad de sal sería de 4 mg/L x 10 x 25 m³ = 1000 g = 1 kg de sal.

- Finalmente, el comportamiento de los peces y el análisis de los parámetros de desempeño (crecimiento en longitud y peso, ganancia en desarrollo,

factor de condición, homogeneidad de los lotes, factor de conversión, entre otros), son parte fundamental del manejo controlado en este tipo de sistemas.

MÓDULO DEMOSTRATIVO CON PRODUCCIÓN EN BIOFLOC EN LA ESTACIÓN PISCÍCOLA DE GIGANTE

Con el objetivo fundamental de habilitar nuevas posibilidades para investigación, capacitación y de transferencia tecnológica, en una ampliación de las opciones de atención técnica para el sector piscícola, en la estación se adecuó un espacio para el montaje de una unidad demostrativa para la operación y manejo de un sistema de cultivo con biofloc. El módulo está diseñado de forma que permita adelantar trabajos con soporte para diseños experimentales válidos y suficiente rigor científico; tiene apoyo y complemento con el resto de facilidades de laboratorios, equipos y materiales con los que se cuenta en el centro.

En la siguiente serie de figuras se expone con detalle la configuración general de la infraestructura y equipos con los que cuenta el módulo.

CONSIDERACIONES FINALES

La conveniencia de implementar cultivos con biofloc se puede resumir en que se logra una relación funcional entre el uso mínimo de agua con el mantenimiento de niveles intensivos de producción. Se sostiene un ecosistema estable que, bien manejado, puede perdurar por largos periodos de tiempo. Con este marco, la actividad piscícola puede adelantarse en áreas en las que no sería posible bajo los estándares que se determinan para cultivos convencionales. La reducción en la escala de uso del agua y, en consecuencia, una menor carga contaminante producto del proceso son valores agregados con favorables implicaciones ambientales, tanto para el piscicultor como para las autoridades reguladoras.

No obstante, es necesario entender que sostener un sistema con biofloc abre una dimensión más compleja, pues en este caso el manejo se direcciona hacia un control efectivo, constante y estricto de la calidad del agua. Esto básicamente significa que, además de los aspectos relacionados con los peces mismos, el piscicultor debe adquirir experiencia en el monitoreo, interpretación y control de una serie de parámetros que en otros esquemas no estarían siendo considerados con la misma rigurosidad. Es también claro que para lograr este objetivo, además de la infraestructura, se debe contar con equipamientos adicionales de laboratorio y con una programación de rutinas sobre el sistema que adquieren un carácter mucho más estricto e intensivo que en otros esquemas.

BIBLIOGRAFÍA

Avnimelech Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227–235

Avnimelech Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140–147

Avnimelech Y, Verdegem MCJ, Kurup M, Keshavanath P. 2008. Sustainable land-based aquaculture: rational utilization of water, land and feed resources. *Mediterranean Aquaculture Journal* 1, 45–55

Azim ME, Little DC. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29–35

Bosma RH, Verdegem MCJ. 2011. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livestock Science* 139, 58–68

Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico Piscícola Surcolombiano – CDT. 2015. Biofloc: Una alternativa en la producción en cultivo de tilapia. Neiva (Huila). 30 p

Crab R, Defoirdt T, Bossier P, Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357, 351–356

De Schryver P, Crab R, Defoirdt T, Boon N, Verstraete W. 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125–137

Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257, 346–358

Kubitza F. 2011. Criação de tilapias em sistema com biflocos sem renovação de água. *Panorama da Aquicultura*, 14-21 p

Nootong K, Pavasant P. 2011. Effects of Organic Carbon Addition in Controlling Inorganic Nitrogen Concentrations in a Biofloc System. *Journal of the World Aquaculture Society* Vol 42 (3)

Piedrahita RH. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226, 35–44

Schneider O, Sereti V, Eding EH, Verreth JAJ. 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquaculture Engineering* 32, 379–401.

Sierra de La Rosa JF, Martínez-Pardo X, Mendoza-Rivera M. 2009. Evaluación del cultivo de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis spp*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva del sector camaronicultor Colombiano. COLCIENCIAS - CENIACUA - ACUACULTIVOS EL GUAJARO - C.I. AGROSOLEDAD S.A. 45p

Zimmermann S, Fitzsimmons K. 2004. Tilapicultura intensiva. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, 239-266

ANEXO 5

JORNADA DE SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS - PROGRAMA

CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA NO. 000137 DEL 24 DE ENERO DE 2014, ENTRE LA AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP- Y LA CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC

Proyectos:

- “Determinación de parámetros reproductivos, evaluación de sistemas de incubación y valoración de métodos de manejo alimenticio en etapas tempranas de la doncella (*Ageneiosus pardalis*) en la estación piscícola de Gigante-Huila.”
- “Evaluación del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp*) en fase de alevinaje en sistemas intensivos con uso de Bioflocs, bajo recambio de agua y disminución del nivel de proteína en el alimento”
- “Implementación de un Modelo Acuaponico para la realización de Procesos de Trasferencia Tecnológica en el Departamento del Huila”.

JORNADAS DE CAPACITACIÓN ESTACION PISCICOLA DE GIGANTE RESULTADOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

DIRIGIDO A: Piscicultores tipo AREL y pescadores de la Región

CUPO: 20 personas

SITIO DE REALIZACIÓN: Estación Piscícola de Gigante (Gigante-Huila)

FECHA: 24 y 25 de noviembre de 2015

PRESENTACIÓN

Dentro de la labor misional de la Estación Piscícola de Gigante, la producción y distribución de alevinos se complementa con actividades relacionadas con la generación de información y la correspondiente socialización de los resultados obtenidos.

En este marco, en la vigencia del año 2014 y con ejecución durante el 2015, en la Estación se adelantó el desarrollo de tres proyectos de investigación, cuyos resultados se pretende presentar ante piscicultores tipo Arel de la región.

Además de los resultados técnicos, uno de los objetivos principales que se tienen con esta jornada es la demostración práctica de la incorporación de nuevas alternativas de manejo de los cultivos. Esto obedece a la identificación de necesidades y a la cada vez más evidente inquietud de parte del sector para acceder a información no fácilmente disponible por otros medios. Recursos importantes han sido destinados para que nueva infraestructura en la estación sirva en calidad de módulo demostrativo, con lo que se espera ofrecer a los cultivadores regionales el producto de experiencias ya implementadas en la práctica.

PROGRAMACIÓN

Primer Día (Martes, 24 de noviembre)

08:00 - 08:30 am Recepción de invitados e inscripción

08:30 - 09:00 am Instalación del Evento

- Palabras de la Profesional de La Estación Piscícola de Gigante: Adriana Fresneda
- Presentación del esquema general de la jornada por Rafael Rosado Puccini

PROYECTO SOBRE MANEJO REPRODUCTIVO DE DONCELLA

09:00 - 10:00 am Aspectos reproductivos de la doncella

- Características reproductivas de la especie
- Comportamiento reproductivo en el medio y en cautiverio
- Protocolos de inducción

10:00-10:15 am Refrigerio

10:15-11:00 am Desarrollo embrionario y larvario

11:00-12:00 am

Sistemas de incubación y manejo inicial de larvas y alevinos

- Tipos de incubadoras
- Temperatura de manejo
- Prácticas de alimentación inicial

12:00-01:30 pm Almuerzo

PROYECTO SOBRE SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVO PECES/PLANTAS: ACUAPONÍA

01:30-02:00 pm Presentación

02:00-04:00 pm Visita guiada a instalaciones de producción en acuaponía

04:00-04:15 pm Refrigerio

04:15-06:00 pm Montaje de proyectos y cálculo de parámetros de producción

Segundo Día (Miercoles, 25 de noviembre)

PROYECTO SOBRE SISTEMAS DE CULTIVO EN BIOFLOC

08:00-09:00 am Presentación

09:00-10:15 am Visita guiada a instalaciones de producción con Biofloc

10:15-10:30 am Refrigerio

10:30-12:00 am Protocolos de manejo y cálculos productivos

12:00-01:30 pm Almuerzo

01:30-02:00 pm Clausura de la jornada y entrega de certificados

Nota: la organización del evento asume los refrigerios y almuerzos.