



Evaluación de la producción de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* en sistema de biofloc con agua dulce y salobre proveniente de pozo profundo

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

BIOSUSTENTABLES

Presenta:

CRISTIAN OCTAVIO CARVAJAL PARRA

Navojoa, Sonora

Junio de 2017

ACTA DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada **Evaluación de la producción de crías de tilapia *Oreochromis niloticus* en sistema de biofloc con agua dulce y salobre proveniente de pozo profundo**, presentada por **CRISTIAN OCTAVIO CARVAJAL PARRA**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Sistemas de Producción Biosustentable.

Martha Elisa Rivas V.
Dra. Martha Elisa Rivas Vega
Director de tesis

Al.
Dr. Anselmo Miranda Baeza
Sinodal

M.C. María de los Angeles Mariscal López
Sinodal

DEDICATORIA

A mis padres Octavio y Beatriz Eugenia

Por el regalo de la vida, cariño y apoyo que me han brindado para ser una persona de bien, esforzándose para darme las herramientas para superarme, con enseñanzas de valores, dedicación y actitud positiva para no rendirme y cumplir mis sueños.

A mi esposa Milagros e hijos Dylan y Alondra

Mi adorada familia el motivo de todo esfuerzo, mi esposa que me brinda su cariño, amor y apoyo para superarme, mis hijos que son lo mejor de mi ser y alegría, sin ustedes no sería posible nada en mí. Los amo con todo el corazón.

A mis suegros Francisco (Q.E.P.D) y María Jesús

Por aceptarme como parte de la familia, brindarme cariño paternal y amor puro para sus nietos. Don chico siempre será recordado con cariño y respeto. Gracias por todo.

A mis hermanos Karlo Guadalupe y Hugo Sebastián

A pesar de no frecuentarnos, siempre los llevo en mi corazón y siempre estamos dispuestos ayudarnos cuando nos necesitamos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por darme salud para continuar por el camino que me lleve a superarme día a día.

A mi familia por estar siempre a mi lado y ser la principal razón para salir siempre adelante.

A la Universidad Estatal de Sonora por permitirme realizar mis estudios de posgrado, usar sus instalaciones, así como a todo su personal por atenciones recibidas.

Al Conacyt por la beca de posgrado con la industria número 591539.

Al Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora, por permitirme estudiar el posgrado así como utilizar sus instalaciones en el Centro Acuícola del Estado para realizar mi proyecto.

A la Doctora Martha Elisa Rivas Vega por aceptar ser mi director y Dr. Anselmo Miranda Baeza. A ambos, gracias por su apoyo en la dirección y revisión del proyecto.

Al M.C. Jesús Alberto Lizárraga Armenta por su apoyo en el laboratorio.

A mi compañero de generación José Huerta Rábago.

A mis compañeros de trabajo Francisco Javier Villegas, Lombardo García Ríos, Bernardo Valenzuela, José de la Cruz Estrella, Javier Ángel German, Rigoberto Trujillo y Elíseo Gonzáles por apoyarme en mi investigación.

RESUMEN

La calidad del agua en un cultivo de crías de tilapia determina los factores que deben mantenerse en equilibrio para el óptimo crecimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de crías de tilapia (*oreochromis niloticus*) en sistema de biofloc con agua dulce y salobre proveniente de un pozo profundo. El estudio se realizó en Centro Acuícola del Estado de Sonora (CAES) en el interior de un invernadero. El experimento se realizó con dos variantes de agua (0 ppm) y (10 ppm), ambas con su respectivo tratamiento biofloc y control, todo por triplicado. El experimento se realizó en 12 tanques cónicos con un volumen de 100L de agua cada uno, y la densidad de siembra fue de 4 ind/L. Al final del cultivo, la menor sobrevivencia correspondió al tratamiento en agua clara a 10 ppm y la mayor al tratamiento biofloc a 10 ppm. El tratamiento biofloc a 0 ppm, obtuvo la mayor talla mientras que los controles fueron los menores. El ahorro en consumo de alimento fue mayor en los tratamientos en biofloc. Los tratamientos con biofloc no presenciaron incidencias con parásitos en el periodo de cultivo, mientras que si se observó en tratamiento agua clara a 0 ppm en aleta de crías. Los tratamientos en biofloc concentraron el mayor rendimiento de alimento (45 a 49%), y adicionalmente el mejor aprovechamiento de agua (200%) menor que los controles.

ÍNDICE GENERAL

	Página
CARTA DE APROBACION	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
I INTRODUCCION	1
I.1 Antecedentes	4
I.1.1 Biofloc	4
I.1.2 Nutrición y alimentación de la tilapia	5
I.2 HIPOTESIS	7
I.3 OBJETIVOS	8
I.3.1 Objetivo general	8
I.3.2 Objetivos específicos	8
II MATERIALES Y MÉTODOS	9
II.1 Diseño experimental	9
II.2 Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno y pH)	10
II.3 Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia	11

II.4	Calidad de las crías (prueba de estrés e incidencia de ectoparásitos en las crías)	11
II.5	Abundancia de bacterias heterótrofas	12
II.6	Compuestos nitrogenados	12
II.7	Solidos suspendidos	13
II.8	Consumo de agua	13
III.9	Análisis de la información	13
III	RESULTADOS	14
III.1	Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno y pH)	14
III.2	Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia	14
III.3	Calidad de las crías (prueba de estrés e incidencia de ectoparásitos en las crías)	15
III.4	Abundancia de bacterias heterótrofas	17
III.5	Compuestos nitrogenados	18
III.6	Solidos suspendidos	19
III.7	Consumo de agua	20
IV	DISCUSION DE RESULTADOS	22
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
V.1	Conclusiones	27
V.2	Recomendaciones	27
VI	LITERATURA CITADA	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Sobrevivencia de las crías de tilapia después de la prueba de estrés. (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)	25
2	Figura 2. Presencia de ectoparásitos en crías. (AC 10: agua clara 10ppm y AC 0: agua clara 0 ppm)	26
3	Abundancia de bacterias heterótrofas UFC/mL, registradas en los tratamientos durante el cultivo, letras diferentes indican diferencias significativas (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)	27
4	Concentración promedio de solidos suspendidos, letras diferentes significan diferencias significativas entre los tratamientos (BFT 10= biofloc 10ppm, AC 10= agua clara 10ppm, C0= agua clara 0 ppm y BFT0= biofloc)	29

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Promedio de las variables básicas del agua, (media \pm DE) obtenidas durante el experimento (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)	23
2	Parámetros productivos (media \pm DE) de crías de tilapia en los diferentes tratamientos obtenidos a los 29 días de cultivo. Letras diferentes en el mismo renglón significan diferencias significativas (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)	24
3	Promedio de compuestos nitrogenados NAT, N-NO ₂ y N-NO ₃ (media \pm DE) detectados en los tratamientos. (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)	28
4	Cantidad de agua utilizada para reposición y recambios en los tratamientos, letras indican diferencias significativas (media \pm DE) BFT10 = Biofloc 10ppm, AC 10 = agua clara 10ppm, AC 0 = agua clara 0 ppm y BFT 0 = Biofloc 0 ppm	29

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura como fuente de productos alimenticios ha sido practicada por más de 2,000 años, reciclando desechos y manipulando nutrientes que no son utilizados directamente para consumo humano (Deutsch *et al.*, 2007). Actualmente la acuicultura es de gran importancia para la producción de alimentos con un alto valor nutritivo, logrando reducir esta necesidad en una gran parte de la población mundial.

La tilapia *Oreochromis niloticus*, es uno de los peces de mayor demanda se produce principalmente en regiones con temperaturas tropicales y cálidas (FAO, 2016). En México, durante el 2016 según la Conapesca, la producción de tilapia fue de ciento 117 mil toneladas, contribuyendo con el 1.8% de la producción mundial y alcanzando el puesto número diez. En México los principales productores se localizan en entidades con disposición de agua. En Sonora el cultivo de esta especie se deriva principalmente de la producción en sistemas semiintensivos ubicados en cuerpos de agua mediante jaulas flotantes. El Estado se ha colocado entre los diez primeros lugares dentro de los productores del país (Sagarpha, 2015).

El rápido crecimiento que ha tenido la tilapia, también ha generado impactos negativos en el medio ambiente (González–Ocampo *et al.*, 2006). Entre los impactos más importantes de la acuicultura la descarga de efluentes sobre los cuerpos de agua naturales, los cuales causan eutrofización, casos graves modifican las comunidades y alteran las cadenas tróficas Miranda-Baeza (2004).

En algunas zonas semi-tropicales, limitaciones de agua y la disminución de la temperatura ambiental durante los meses de otoño e invierno, reducen la producción

en sistemas tradicionales, en estas zonas se han incorporado estructuras tipo invernadero durante esta época. Los sistemas de mínimo recambio de agua permiten minimizar el uso de este recurso y aprovechar nutrientes que se generan en el medio (Avnimelech, 1999).

La tecnología de biofloc BFT por su sigla en inglés, ha contribuido en mantener una calidad del agua óptima en sistemas de bajo recambio (Avnimelech, 2007) de esta manera se potencializa el ahorro del agua, aprovechando los residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos a través de los microorganismos presentes. En estos sistemas dominan las comunidades bacterianas quimiofotoautótrofas y heterótrofas (Avnimelech, 2009). Entre las bacterias más comunes en los sistemas BFT se encuentran las oxidantes de amonio (NH_4) y nitrito (NO_2), su actividad es esencial para mantener bajos los niveles de estos compuestos potencialmente tóxicos aumentar la sobrevivencia y crecimiento adecuado de los peces (Timmons, 2002). El cultivo en biofloc consiste en un proceso sistematizado que permite elevar la biomasa y reciclar nutrientes que serán fuente de alimento, incrementando la sustentabilidad.

La mayoría de los estudios de producción de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) en biofloc se han realizado en etapa de engorda, siendo escasa la información relacionada en la producción de alevines (Ekasari *et al.*, 2015). En estudios previos de cultivo de tilapia en biofloc se han obtenido sobrevivencias mayores al 95% (López-Elías *et al.*, 2015).

Durante la etapa de crías los peces son más susceptibles a problemas relacionados con parásitos y bacterias. Entre las principales causas se encuentra el estrés debido

a altas densidades y a la manipulación durante el proceso de hormonado. Para contrarrestar esta problemática, Sinha *et al.*, (2008), demostraron que el uso de biofloc tiene un efecto positivo, al generar condiciones favorables que reducen el riesgo de contraer infecciones por *Aeromona* sp. y *Vibrio* sp, enfermedades recurrentes. El biofloc se caracteriza por ejercer un incremento de microorganismos heterotróficos los cuales compiten y reducen la cantidad de géneros de bacterias perjudiciales (Wu *et al.*, 2012). De la misma manera se ha demostrado que generan altas cantidades de organismos de zooplancton, protozoarios y ciliados que viven adheridos en la materia orgánica en forma de flóculos (De Schryver *et al.*, 2008 Crab *et al.*, 2007).

En el Centro Acuícola del Estado de Sonora se ha manifestado un gran interés en utilizar técnicas que impulsen y lo hagan crecer en el rubro, adaptándose a las condiciones del medio ambiente, biológicas y limitaciones que presenta principalmente con el acceso de agua dulce.

El estudio permitirá incrementar la sustentabilidad del laboratorio con beneficios en: a) ahorro de agua para cultivo, b) incremento de sobrevivencia y crecimiento de las crías, c) aprovechamiento de infraestructura del centro para utilizarse durante todo el año, d) aprovechamiento de agua de pozo, durante meses sin aporte de agua de riego o dulce.

I.1 ANTECEDENTES

I.1.1 Biofloc

Los flóculos se componen de materia colonizada por bacterias heterotróficas, cianobacterias cocoides y filamentosas, protozoos flagelados y ciliados y rotíferos (Ballester, 2010). Pueden alcanzar varios milímetros y es más denso que el agua por lo que tienen a sedimentarse (Martínez *et al.*, 2010).

En los cultivos, el control de compuestos nitrogenados tóxicos, inicia en el metabolismo de carbono y la inmovilización del nitrógeno por los procesos microbianos, las bacterias y otros microorganismos utilizan hidratos de carbono (azúcares, almidón y celulosa), para generar energía, para crecer y generar nuevas células, el proceso lo obtiene degradando el alimento no consumido, excreta y heces (Moss, 2002)

Dentro de la poca información acerca de crecimiento en biofloc de crías de *Oreochromis niloticus*, se encuentra el estudio realizado por (García Ríos, 2015) el cual concluyó, que la presencia de bioflóculos redujo considerablemente la cantidad de agua y el alimento utilizado en un cultivo de alevines utilizando diferentes fuentes de carbono.

Por otra parte, Ekasari *et al.* (2015), concluyeron que los alevines de tilapia *Oreochromis niloticus* obtuvieron sobrevivencias mayores a 98 %, mientras que en el control la sobrevivencia fue menor a 95 %; de igual manera los organismos cultivados en biofloc fueron más resistentes y obtuvieron mejores sobrevivencias al ser confrontadas a pruebas de suspensión en medio con *Streptococcus agalactiae* (107

UFC/mL), por 6 horas. Del mismo modo tuvieron un mejor desempeño en las pruebas de estrés a altas salinidades (35 g/L NaCl). Estudios recientes indican que el biofloc aporta mejoras en la sobrevivencia y crecimiento, creando un efecto prebiótico reduciendo enfermedades (Martínez Córdova *et al*, 2014).

I.1.2 Nutrición y alimentación de tilapia

La tilapia es un pez omnívoro que se alimenta de fitoplancton, perifiton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, así como de fauna bentónica y de capas bacterianas asociadas al detritus. Los organismos adultos pueden filtrar diversas partículas suspendidas, incluyendo el fitoplancton y bacterias que atrapan en las mucosas de la cavidad bucal, aunque en los cultivos tradicionales, la mayor fuente de nutrición la obtiene ramoneando sobre las capas de perifiton (FAO, 2013).

En las etapas de alevín y de cría, las tilapias son predominantemente filtradoras y consumen más plancton. La ingestión dentro del agua no es un proceso directo, las partículas de alimento son tomados generalmente con la boca llena de agua. La boca tiene otra función importante al servir como una bomba que hace penetrar abundante agua con oxígeno hacia las branquias. La alimentación es muy importante en el cultivo de peces; el alimento como productor de energía es usado para formar más biomasa e incrementar el peso, muchos peces utilizan el 85 % del alimento para producir energía y solamente entre el 10 y 15 % para crecer (Delgadillo, 2012).

Avnimelech (2007) comparó dos cultivos experimentales de tilapia, uno de ellos con alimento balanceado y otro que además incluía bioflóculos; y observó que la recuperación de proteína en el segundo era del doble ya que en el sistema BFT los

organismos se encontraban consumiendo los bioflóculos constantemente. También se determinó que a pesar del consumo, la cantidad de bioflóculos en la columna de agua se mantenía constante, ofreciendo a los peces alimento vivo de forma permanente.

En otro estudio de Azim y Little (2008) se evaluó la calidad de los bioflóculos en un cultivo de tilapia con dos alimentos (24% y 35% de proteína), los resultados indicaron que no hubo diferencia en el contenido de lípidos y proteínas, así como en cantidad de energía.: 31.15, 21.6, 18.45 y 16.25%, sin encontrar diferencias en el contenido de proteína. Por otro lado López-Elías (2015) reportó que la composición nutricional de los bioflóculos desarrollados en un cultivo de tilapia en agua salada tuvo un contenido de proteína de 23.7 a 25.4% y los lípidos estuvieron entre 2.6 y 3.5%. De igual manera, Megahed (2010) evaluó la calidad de los bioflóculos desarrollados en un cultivo de camarón (*Penaeus semisulcatus*) alimentado con diferentes niveles de proteína cruda en la dieta (19.9%) y lípidos (11.8%) promedio de los agregados desarrollados en los cuatro tratamientos

I.2 HIPÓTESIS

La tilapia del Nilo es una especie con amplia tolerancia para habitar en ambientes con alta concentración de sólidos suspendidos, tiene capacidad de alimentarse de ellos y resiste niveles moderados de salinidad, por lo que los parámetros de producción serán similares en cultivos de tilapia en biofloc con agua dulce y en biofloc con salinidad de 10 ppm.

I.3 OBJETIVOS

I.3.1 Objetivo general

Evaluar el uso del biofloc en la producción de crías de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* en agua dulce y salobre (10 ppm) para determinar si existen diferencias significativas respecto al sistema tradicional de agua clara.

I.3.2 Objetivos específicos

1. Evaluar las variables básicas del agua (O_2 , temperatura y pH) y los compuestos nitrogenados (NAT, $N-NO_2$ y $N-NO_3$) en los diferentes tratamientos para determinar diferencias significativas entre ellos.
2. Determinar el crecimiento y la mortalidad de las crías de tilapia en los diferentes tratamientos para determinar diferencias significativas entre ellos.
3. Determinar el factor de conversión alimenticia y la tasa de eficiencia proteica en los diferentes tratamientos y compararlo con el desarrollo obtenido en condiciones tradicionales de cultivo.
4. Evaluar calidad de las crías en los diferentes tratamientos mediante una prueba de estrés.
5. Evaluar el consumo de agua utilizada durante el experimento en los diferentes tratamientos.

II MATERIALES Y METODOS

II.1 Diseño Experimental

El estudio se realizó en el laboratorio del Centro Acuícola del Estado de Sonora, consto de un experimento factorial de 2 x 2. El cual consistió en cultivar crías en el sistema tradicional con agua clara a 0ppm de salinidad (AC 0) y en sistema tradicional con agua a 10 ppm de salinidad (AC 10); por otro lado, se cultivaron tilapias en sistema de biofloc con agua dulce (BFT 0) y con agua a 10 ppm de salinidad (BFT 10). Cada tratamiento se desarrolló por triplicado.

El biofloc fue promovido con 3 días de anticipación a la siembra, para ello se usó agua filtrada a 100 micras. Se agregó un inóculo de bacterias heterótrofas proporcionado por el laboratorio de investigación de la UES-Navojoa (1% del volumen de cultivo a concentración de 50×10^6 UFC/mL). Para la generación bioflóculos se agregó azúcar como fuente de carbono (2.5 g por cada 100L) alimento molido con 35% de proteína (2.5 g por cada 100L).

Se suministró aireación vigorosa con mangueras de plástico y una piedra aireadora. La temperatura del agua se mantuvo según el ambiente. Cuando los sólidos suspendidos totales alcanzaron una concentración de entre 25 y 50 mg/L se procedió a la siembra de los alevines a una densidad de 4 ind/L. En los tratamientos con biofloc no se realizaron recambios de agua, solo se repusieron las pérdidas por evaporación.

Obtención de las crías

Para la obtención de las crías, los reproductores (*Oreochromis niloticus*) se colocaron en tinas de 6,000 litros en una relación 1:3 (macho: hembras) y se le dieron las condiciones adecuadas para su reproducción según el protocolo del Centro Acuícola del Estado de Sonora. Después 20 días aproximadamente, se realizó colecta de los huevecillos, los cuales fueron colocados en una incubadora artificial tipo McDonald para su eclosión.

Producción de tilapia revertida

Después de absorber el vitelo se les proporciono alimento hormonado, (17 alfa-metil-testosterona), por un periodo de 21 días para su masculinización. Las crías resultantes de éste proceso fueron usadas para realizar el experimento.

Una vez que las crías fueron introducidas en el sistema de biofloc los organismos se alimentaron con 50% de la ración diaria, mientras que los organismos que se cultivaron en agua clara se les suministro el 100% de alimento correspondiente, de acuerdo a los resultados previos de García-Ríos (2015)

II.2 Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno y pH)

Diariamente a partir de la siembra se realizó el monitoreo de la temperatura y del oxígeno disuelto en los tanques de cultivo, ambas variables se midieron con un oxímetro digital marca YSI 55. El pH se midió con un potenciómetro digital Denver Instruments pH-10. En todos los casos estos instrumentos fueron previamente calibrados de acuerdo a las instrucciones de los respectivos manuales de operación.

II.3 Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia

Para determinar el crecimiento, se tomaron 20 organismos de cada tanque en períodos de diez días. Se midió el peso individual (con una balanza digital Ohaus con precisión de décimas de gramo) la diferencia entre ambos se expresó como incremento en gramos de peso vivo. La sobrevivencia en cada tratamiento se determinó mediante el conteo inicial y final del número de alevines.

Adicionalmente se realizaron estimaciones del factor de conversión alimenticia (FCA), y eficiencia proteica (EP), con base en los resultados de crecimiento y de consumo de alimento.

Ecuaciones para obtener valores:

$$FCA = \frac{\text{total alimento suministrado}}{\text{biomasa final total}}$$

$$EP = \frac{\text{biomasa ganada final}}{\text{proteína consumida}}$$

II.4 Calidad de las crías (prueba de estrés e incidencia de ectoparásitos en las crías)

La calidad de las crías se evaluó mediante una modificación de la prueba de estrés sugerida por (Manosalvas-Moreira, 2007); que consistió en colocar lotes de 50 organismos de cada experimento en bolsas de 2 L con 1L de agua y aire enriquecido con O₂ a una salinidad de 10pmm los provenientes de (BFT 10 y AC 10) y los

provenientes de 0 ppm (BFT 0 y AC 0) en agua a 0ppm. En todos los casos las crías se mantuvieron por 24 h (sin alimento, simulando transportación), a temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y pH de 8.0. Al final del periodo se evaluó la sobrevivencia obtenida en cada tratamiento.

Rutinariamente se tomaron de 5 a 10 crías en los tratamientos que presentaron durante el experimento, índices de infección ocasionada por ectoparásitos.

II.5 Abundancia de bacterias heterótrofas

Se realizaron dos muestreos durante el cultivo, al inicio de la siembra y al final. Se utilizó la técnica de siembra de superficie (APHA, 1992), iniciando con una dilución 1:100 y finalizando con 1:1,000. Las placas se sembraron por triplicado en agar marino incubando a una temperatura ($26 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 ± 2 h). Al término de la incubación las colonias bacterianas fueron contabilizadas y se realizaron los cálculos correspondientes, los resultados fueron expresados en Unidades Formadoras de Colonia por mililitro (UFC/mL).

II.6 Compuestos nitrogenados

Cada siete días a partir de la siembra, se colectarán 250 mL de agua de cada tanque de cultivo, se congelaron y almacenaron a 0°C hasta su procesamiento. En las determinaciones de los nutrientes, se usó un espectrofotómetro Hach DR/2000 utilizando los métodos de diazotización con sulfato ferroso en medio ácido (8507) para N- NO_2 , de reducción con cadmio a N- NO_2 y diazotización (8171) para N- NO_3 , de salicilato (8155) para N- NH_4 de acuerdo a los procedimientos descritos en el manual del instrumento (Hach, 2007).

II.7 Sólidos suspendidos

Las muestras fueron tomadas cada siete días y mantenidas a 0 °C y hasta su procesamiento en la UES. Las determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro HACH DR/2800 según la técnica descrita para sólidos suspendidos totales (SST: 8035) (Hach, 2007).

II.8 Consumo de agua

En los tratamientos con biofloc se midieron las cantidades de agua utilizadas para reponer las pérdidas por evaporación, mientras que los tratamientos de sistema tradicional se contabilizó el volumen de agua utilizada durante los recambios.

II.8 Análisis de la información

Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA), para determinar diferencias significativas entre los tratamientos en relación a las variables respuesta consumo del agua, crecimiento, mortalidad, FCA y EP) (Zar, 1996). En los casos donde el estadístico de prueba del ANOVA resultó significativo ($p < 0.05$) se aplicaron las pruebas de Tukey, de comparaciones múltiples. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Statistica 8.5.1 para Windows, Statsoft Inc. ®.

III RESULTADOS

III.1 Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno y pH)

Durante el estudio el oxígeno disuelto y la temperatura se mantuvieron con valores similares entre 7.5 a 7.9 y 20.2 a 20.4. El pH estuvo entre 7.7 y 8.0, los valores más elevados se presentaron en los tratamientos biofloc (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio de las variables básicas del agua, (media \pm DE) obtenidas durante el experimento (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm).

	BFT10	AC10	AC0	BFT0
O ₂ (mg/L)	7.8 \pm 0.26	7.7 \pm 0.21	7.5 \pm 0.13	7.9 \pm 0.13
pH	8.0 ^a \pm 0.09	7.8 ^{ab} \pm 0.08	7.7 ^b \pm 0.13	8.0 ^a \pm 0.08
Temp (°C)	20.3 \pm 0.33	20.2 \pm 0.13	20.4 \pm 0.20	20.3 \pm 0.33

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

III.2 Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia

El peso inicial promedio fue de 0.08 g y al final del experimento estuvo entre 0.21 y 0.27 g, con diferencias significativas entre los tratamientos, el mayor crecimiento se encontró en los tratamientos con biofloc (Tabla 2).

La sobrevivencia varió de 67.9 a 92.0 %, encontrándose una supervivencia significativamente menor en el tratamiento a 10 ppm.

La talla final presentó valores de 1.95 a 2.46 cm. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El FCA mostró diferencias significativas, con

valores entre 0.68 a 1.37 ($P < 0.05$). Los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos en biofloc.

Los valores más altos de eficiencia proteica se obtuvieron en los tratamientos de biofloc, mientras que la menor se registró en los controles (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros productivos (media \pm DE) de crías de tilapia en los diferentes tratamientos obtenidos a los 29 días de cultivo. Letras diferentes en el mismo renglón significan diferencias significativas (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm).

	BFT 10	AC 10	AC 0	BFT 0
Peso promedio inicial (g)	0.08 \pm 0.001	0.08 \pm 0.001	0.08 \pm 0.001	0.08 \pm 0.001
Peso promedio final (g)	0.25 ^{ab} \pm 0.01	0.21 ^b \pm 0.03	0.21 ^b \pm 0.03	0.27 ^a \pm 0.01
Talla promedio final (cm)	2.36 ^a \pm 0.06	1.95 ^b \pm 0.03	1.95 ^b \pm 0.03	2.46 ^a \pm 0.06
Sobrevivencia (%)	92.0 ^a \pm 1.1	67.9 ^b \pm 0.4	75.9 ^{ab} \pm 1.2	79.7 ^{ab} \pm 1.0
FCA	0.77 ^{bc} \pm 0.15	1.24 ^{ab} \pm 0.36	1.37 ^a \pm 0.06	0.68 ^c \pm 0.04
EP	2.95 ^a \pm 0.80	1.56 ^b \pm 0.81	1.56 ^b \pm 0.42	3.35 ^a \pm 0.30

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

III.3 Calidad de las crías (prueba de estrés e incidencia de ectoparásitos en las crías)

La sobrevivencia obtenida después de la prueba de estrés no mostró diferencias significativas (Figura 1). Durante el estudio aparecieron organismos parasitarios en los tratamientos AC 10 y AC 0, alojados en aletas y cuerpo de las crías (Figura 2) en los

flóculos de los tratamientos BTF 0 se detectaron parásitos presentes en los flóculos pero no en las crías.

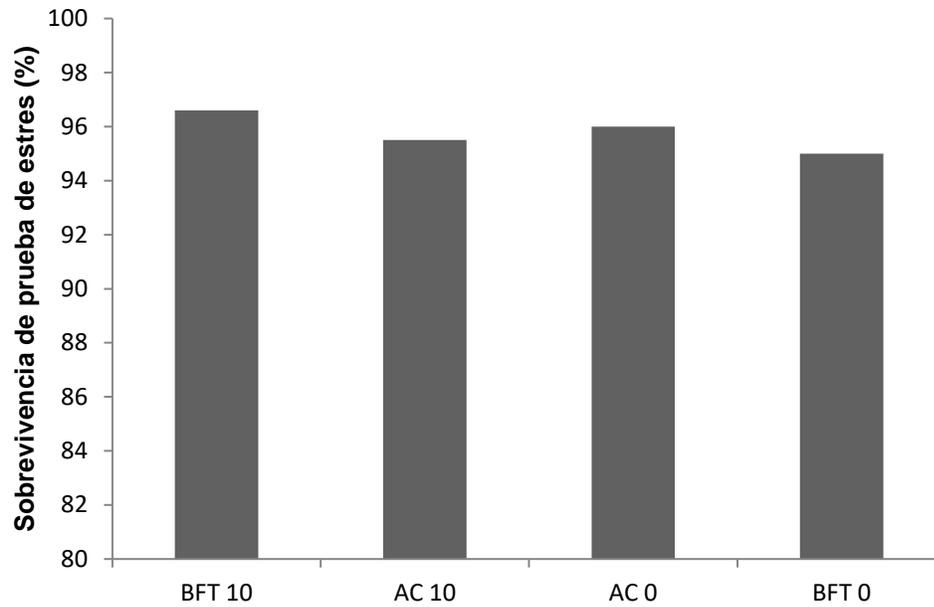


Figura 1. Sobrevivencia de las crías de tilapia después de la prueba de estrés.

(BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm)



Figura 2. Presencia de ectoparásitos en crías en los tratamientos AC 10 (agua clara 10 ppm) y AC 0 (agua clara 0 ppm).

III.4 Abundancia de bacterias heterótrofas

La cantidad de bacterias fue mayor en BFT 0, las concentraciones iniciales y finales fueron 214,300 UFC/mL y 500,000 UFC/mL respectivamente. Todos los tratamientos mostraron diferencias significativas entre si, tanto al inicio como al final del experimento (Figura 3).

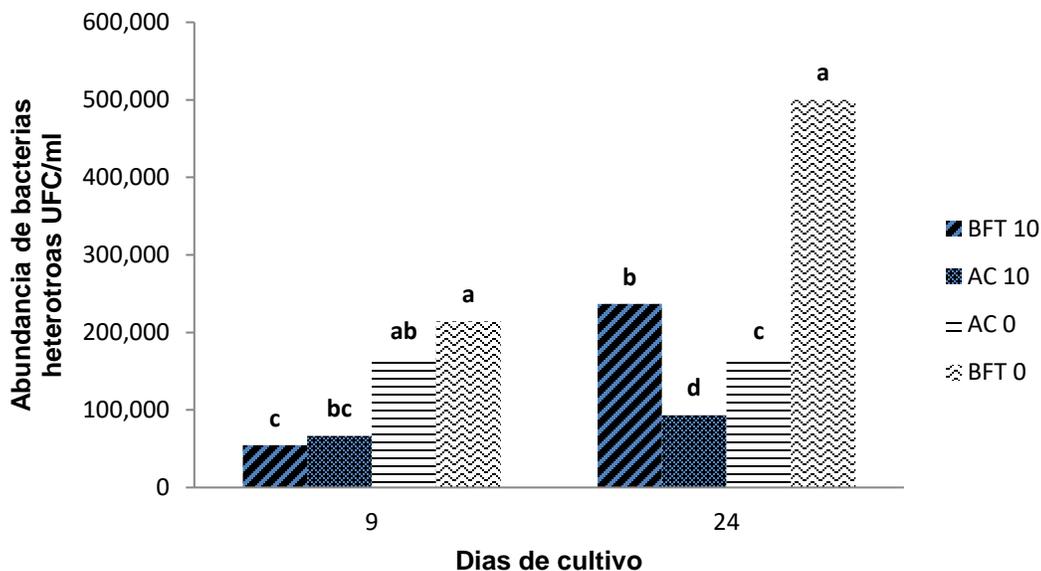


Figura 3. Abundancia de bacterias heterótrofas UFC/mL, registradas en los tratamientos durante el cultivo, letras diferentes indican diferencias significativas (BFT 10: Biofloc 10 ppm, AC 10: agua clara 10 ppm, AC 0: agua clara 0 ppm y BFT 0: Biofloc 0 ppm). Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

III.5 Compuestos nitrogenados (NAT, N-NO₂ y N-NO₃)

En la tabla 3 se muestran los promedios de los compuestos nitrogenados, el NAT estuvo entre 4.69 mg/L a 1.75mg/L, el menor correspondió al tratamiento BFT 0. El N-NO₂ se mantuvo con concentraciones entre 1.16mg/L y 0.03mg/L, la menor concentración se presentó en el tratamiento BFT 10, mientras que la mayor correspondió BFT 0. Las concentraciones de N-NO₃ mostraron diferencias significativas. El valor más alto correspondió al tratamiento BFT 0 con 13.25mg/L y el más bajo al AC 10.

Tabla 3. Promedio de compuestos nitrogenados NAT, N-NO₂ y N-NO₃ (media ± DE) registrados en los tratamientos.

Compuesto (mg/L)	BFT 10	AC 10	AC 0	BFT 0
NAT	1.99 ^b ±0.17	4.69 ^a ±0.88	2.05 ^b ±0.16	1.75 ^b ±0.27
N-NO ₂	0.03 ^a ±0.01	0.38 ^b ±0.15	0.69 ^c ±0.23	1.16 ^d ±0.33
N-NO ₃	3.51 ^b ±0.71	0.29 ^c ±0.50	1.73 ^{bc} ±0.59	13.25 ^a ±3.02

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

III.6 Sólidos suspendidos

La concentración de sólidos suspendidos alcanzo un valor similar entre los tratamientos en BFT 0 (73mg/L) y BFT 10 (70mg/L), estas concentraciones fueron superiores con respecto a los tratamientos en agua clara, los cuales tuvieron concentraciones de 42 mg/L a 32 mg/L, el menor correspondió al tratamiento AC 10 (figura 4).

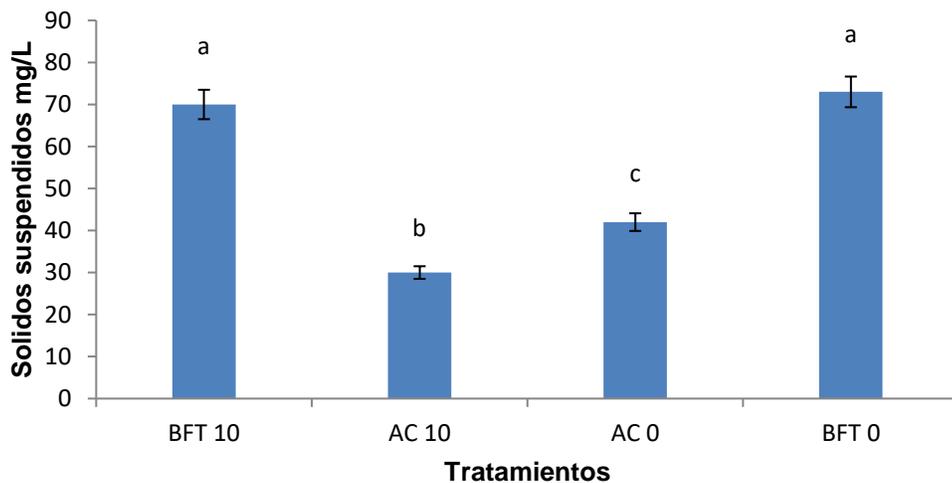


Figura 4. Concentración promedio de solidos suspendidos, letras diferentes significan diferencias significativas entre los tratamientos (BFT 10= biofloc 10ppm, AC 10= agua clara 10ppm, C0= agua clara 0 ppm y BFT0= biofloc). Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

III.7 Consumo de agua

Durante el estudio el requerimiento de agua fue significativamente mayor en los tratamientos con agua clara (C10 y C0), en general consumo de agua en los tratamientos con agua clara fue el triple en comparación con los BFT (tabla 4).

Tabla 4. Consumo de agua utilizada para reposición y recambios en los tratamientos, letras indican diferencias significativas (media±DE) BFT10 = Biofloc 10ppm, AC 10 = agua clara 10ppm, AC 0 = agua clara 0 ppm y BFT 0 = Biofloc 0 ppm

	BFT 10	AC 10	AC 0	BFT 0
Volumen inicial (L)	100	100	100	100
Reposición (L)	20	220	250	22
Volumen total (L)	120 ^a ±0.05	320 ^{bc} ±0.58	350 ^c ±0.70	122 ^a ±0.44

Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$).

IV. DISCUSION DE RESULTADOS

La temperatura es considerada como una de las variables más importantes que influye en la fisiología de la tilapia, de ella depende el crecimiento y la reproducción (El Sayed ,2006). Durante este experimento el promedio de temperatura fue de 20°C, manteniéndose en el límite inferior del rango óptimo, sin embargo, Kirchman, (1994) indica que la tilapia se puede cultivar en biofloc incluso en 15°C. Actualmente en el Caes, durante la temporada invernal no se produce crías, por lo que utilizar biofloc brindara una oportunidad de continuar con las labores de producción durante todo el año.

El oxígeno es consumido por la tilapia para cumplir adecuadamente todas sus funciones metabólicas. En el presente experimento no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y en todos los casos se mantuvo en 7.5 mg/L óptimo para el cultivo de tilapia (El Sayed, 2006) y adecuado para mantener la actividad metabólica de la tilapia y así como para mantener la actividad biológica de los flóculos (Wilén y Balmer, 1999). Los recambios de agua en los tratamientos de agua clara ayudaron a reducir materia orgánica, así como los compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos. Los valores de pH durante el experimento estuvieron entre 7.7 y 8.0, datos similares fueron reportados por Azim y Little (2008) en cultivos de tilapia en biofloc.

Los tratamientos en biofloc mostraron un peso final 0.25 g BFT 10 y 0.27 g BFT 0 significativamente mayor los pesos de los tratamientos en agua clara 0.21 g en ambos casos, Azim y Little (2008) obtuvieron ganancia en peso en juveniles en biofloc 40 g, difiriendo a 27 g ganados en tratamiento con alimento artificial, sus resultados coinciden con este estudio respecto a que el biofloc mejora significativamente el

crecimiento de la tilapia. La principal causa es la disponibilidad de alimento y el contenido nutritivo del biofloc, que es capaz de proporcionar mayor diversidad de nutrientes presentes en el medio (Avnimelech, 1999). En estudios previos donde se ha evaluado el aporte de nutrientes de biofloc (Emerenciano *et al*, 2012) encontraron que los floculos contenían un promedio de 30% de proteína cruda, así como una cantidad importante de aminoácidos destacando porcentajes importantes de arginina 3.6%, Lysina 4.34% y 3.82 de alanina entre otros, sumando la presencia de vitaminas B12, E y Rivo flavina.

Por otra parte, la talla final obtenida fue significativamente mayor en los tratamientos con biofloc 2.36 cm BFT 10 y 2.46 cm BFT 0, mientras que los tratamientos en agua clara alcanzaron 1.95 cm. En estudios previos los autores utilizan al peso como medida representativa del crecimiento, por lo que no se pudieron hacer comparaciones. En el Centro Acuícola del Estado de Sonora la talla de venta es de 1” (2.54 cm), históricamente esta se alcanza en tres semanas partiendo de una talla inicial de ½ pulgada y temperaturas de agua de 26 a 30 °C. La talla lograda en el presente estudio, con temperatura de 20 °C se considera aceptable.

La sobrevivencia final vario de 67.8 a 92%, similar a la reportada por Lara Flores *et al.*, (2003), los tratamientos de biofloc obtuvieron la mayor sobrevivencia, mientras que los controles concuerdan con los registros históricos del Centro Acuícola del Estado de Sonora. Los parámetros productivos obtenidos en los tratamientos BFT, indican que es posible aumentar la productividad del CAES.

La conversión alimenticia permite evaluar el aprovechamiento de los nutrientes suministrados y los generados en el medio. Autores como Lou *et al.*, (2014), Azim y Little (2008) y Avnimelech (1999) reportaron valores FCA del 20 al 40% inferiores en

sistemas de biofloc en comparación con los cultivos tradicionales. En el presente estudio los valores estuvieron entre 0.68 a 1.37, similar a los rangos que se reportaron en estudios previos, corroborando la importancia que tiene el biofloc en el ahorro de alimento peletizado.

La prueba de estrés se utiliza para evaluar la fisiología de las crías. Permiten de manera indirecta medir la resistencia y capacidad de adaptación y conocer deficiencias nutricionales y resistencia al estrés en los peces (El-Sayed, 2006). La sobrevivencia después de la prueba fue similar tanto en los tratamientos de agua clara como en los de biofloc. Los resultados indican que las crías producidas fueron capaces de resistir ambientes adversos (baja de oxígeno y confinamiento) relacionados con la manipulación durante el transporte.

La presencia de organismos parasitarios se hizo evidente a la mitad del experimento en aletas de crías control de AC 0, se detectaron *Gyrodactylus sp* causando cortes de aleta caudal, en tratamientos en BFT 0 se detectó la presencia de este parásito solo en flóculos, esta observación coincide con lo reportado por Hargreaves (2013), dentro de las especies de índole infecciosa en crías se encontraron adheridas a los flóculos; *Gyrodactylus sp*, *Apiosoma sp*, *Epistylis sp* y *Oodinium sp*.

Tradicionalmente en el CAES la presencia de ectoparásitos suele ser recurrente en algunas etapas del cultivo de las crías, la infestación de parásitos causa susceptibilidad a enfermedades infecciosas y contagios masivos. Para controlar los brotes infecciosos en el CAES se aplican tratamientos profilácticos y recambios de agua así como medidas de bioseguridad. La nula infestación en los tratamientos BFT, indican que es posible producir crías sanas y evitar el uso de sustancias químicas y antibióticos. Las presencias de bacterias heterótrofas inhiben la presencia de

patógenos potenciales (Monroy-Dosta, et al., 2013). Algunas bacterias benéficas generan biofilms que disminuyen la cantidad o compiten contra la aparición de bacterias patógenas, lo cual puede explicar la ausencia de patógenos en crías en los tratamientos BFT. En este estudio la mayor cantidad de bacterias heterótrofas ocurrió en los tratamientos BFT, las cuales tendieron a incrementar gracias a la adición de fuente externa de carbono y a la acumulación de materia orgánica debida a la ausencia de recambios de agua, tal como lo sugiere Ebeling *et al.*, (2006).

La calidad de agua en un cultivo de tilapia es un factor determinante para el óptimo rendimiento fisiológico, la toxicidad del amonio incrementa derivado de las excreciones del pez. En concentraciones elevadas reduce la habilidad de la sangre de transportar oxígeno (Boyd, 1990), esta condición aumenta la susceptibilidad de los peces para contraer enfermedades además de que reduce el crecimiento.

El amonio total encontrado en el experimento, fue mayor en los tratamientos en agua clara, registrando el pico más alto durante el día diez y siete del cultivo, produciendo mortalidades del cultivo, los recambios de agua permitieron controlar los niveles de este compuesto. Los valores máximos valores detectados fueron de 9.3mg/L en (AC 10) y 4.67mg/L en (AC 0), concentraciones por encima de lo óptimo y alto grado de toxicidad para los peces (El sayed, 2006). Los tratamientos en biofloc mantuvieron niveles más bajos entre 1.99mg/L y 1.75mg/L, sin embargo hay reportes que en biofloc el nitrógeno amoniacal puede alcanzar niveles superiores a los 10mg/L, derivados de la disponibilidad de oxígeno y nivelación de pH ya que si es elevado tiende a incrementar la forma toxica no ionizada (NH_3) del amonio (Lou *et al.*, 2014).

El N-NO_2 en concentraciones elevadas es otro factor limitante para el crecimiento y la sobrevivencia, por lo que removerlo se convierte en fundamental para disminuir

riesgos (Avnimelech, 2009), en el estudio los niveles se mantuvieron entre 0.03mg/L y 1.16mg/L, similares a los reportados por Ekasari (2012) y García Ríos (2015) para un cultivo de tilapia y alevines en biofloc.

La acumulación de N-NO₃ en los tratamientos es un indicador de que se está realizando nitrificación, se puede inferir que las bacterias (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) participaron en la transformación del TAN disponible en el cultivo. Los tratamientos BFT iniciaron con valores 0.05 mg/L llegando a 7.10 mg/L en (BFT10) y 38.07mg/L en (BFT0). Estos niveles que no representaron situaciones de toxicidad, ya que se han encontrado cantidades por encima de 400mg/L en cultivos en biofloc (De Long *et al.*, 2009).

Los sólidos suspendidos TSS tuvieron la mayor concentración en los tratamientos en biofloc como era de esperarse, al finalizar el estudio se alcanzaron 152.6 mg/L (BFT10) y 153.3 mg/L (BFT0), estos niveles fueron similares a los encontrados por García Ríos (2015) en un cultivo de crías en BFT. En estudios con tilapia adulta se han reportado niveles de hasta 500 mg/mL (Avnimelech, 2009). Es importante resaltar que hay pocos estudios de sólidos suspendidos en crías, sin embargo, se considera que los niveles moderados de sólidos son adecuados debido al tamaño de las branquias.

El gasto de agua en los tratamientos BFT fue considerablemente menor debido a que solo se repuso la pérdida ocasionada por evaporación. La producción de crías de tilapia en sistema BFT, es una alternativa que permite reducir el uso de agua, de alimento peletizado y producir organismos más saludables. Estos resultados ya se han reportado en cultivo de juveniles y adultos de tilapia Azim y Little 2008; Widarnani *et al.*, 2012; López-Elías *et al.*, 2015.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. Conclusiones

Los tratamientos con biofloc alcanzaron mayor crecimiento en comparación con los tratamientos en agua clara. Al final del experimento la sobrevivencia fue similar en todos los tratamientos.

La temperatura y oxígeno se mantuvieron en niveles similares, el pH fue mayor en los tratamientos BFT.

Los resultados de la prueba de estrés mostraron los mismos porcentajes de sobrevivencia en todos los tratamientos.

La concentración de sólidos suspendidos totales fue mayor en los tratamientos BFT, esto de acuerdo a lo esperado.

La comunidad bacteriana heterótrofa fue mayor en los tratamientos BFT.

El NAT fue mayor en los tratamientos en agua clara, el N-NO₂ y N- NO₃ fueron mayores en los tratamientos BFT. El consumo de agua fue mayor en los tratamientos en agua clara.

V.2. Recomendaciones

Se recomienda:

Aprovechar el agua de pozo para la producción de crías mediante sistema de biofloc.

Evaluar la producción de crías en biofloc a nivel comercial utilizando el invernadero, durante los meses fríos y etapas tempranas de iniciación de engordas en la región.

Realizar distintas pruebas utilizando biofloc, para demostrar la eficiencia técnico-financiera del cultivo de tilapia u otras especies adaptables a estos sistemas.

VI. LITERATURA CITADA

- APHA, 1992. Standard Methods for the examination of water and wastewaters. Clescer, L., Greenberg, A.E. y Trussell, R.R. (Eds). 17va edition. Washington, D.C. p.9-61.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon and 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(1):140-147.
- Avnimelech, Y., y Kochba, M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using ¹⁵N tracing. *Aquaculture*
- Azim, M.E.; Little, D.C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoors tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283: 29-35
- Ballester, E. L. C., Abreu, P. C., Cavalli, R. O., Emerenciano, M., De Abreu, L., & Wasielesky Jr, W. (2010). Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 16(2), 163-172.
- Boyd, C. E., 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.

- Conapesca, 2015. Boletín informativo de pesca y acuicultura.
- 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.
- Delgadillo S. 2012. Manejo y Operación de Granjas de Tilapia. Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, Noviembre 12-17, 2012.
- Deutsch L.,(2007). Feeding aquaculture growth through globalization: Exploitation of marine ecosystems for fishmeal. *Global Environ.Chang.*
- Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. 2006;257:346-358
- Ekasari, J., y Maryam, S. 2012. Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis* sp. cultured at different stocking densities. *Hayati Journal of Biosciences*, 19(2): 73.
- Ekasari, J.,(2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*
- El-Sayed EM (2006) *Tilapia culture*. CABI publishing, Cambridge
- Emerenciano, M., Ballester, E. L., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2011). Effect of biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. *Aquaculture International*, 19(5), 891-901.

- Emerenciano, M., Ballester, E. L., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture research*, 43(3), 447-457.
- García, Ríos (2015). Crecimiento, sobrevivencia y calidad de las crías de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en biofloc con diferentes fuentes de carbono. Tesis, 19-28.
- Hach. 2007. Procedures manual, DR2800 Spectrophotometer . Hach Co. E.U. 486 p.
- FAO, estado mundial de la pesca y acuicultura 2015
- González–Ocampo *et al.* (2006). Shrimp aquaculture environmental diagnosis in the semiarid coastal zone in México. *Fresen. Environ.*
- Hargreaves JA.2013 Biofloc Production Systems for Aquaculture.En: SRAC. :4503:8-10.
- Kirchman DL. 1994. The uptake of inorganic nutrients by heterotrophic bacteria.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M. A., Guzman-Méndez, B. E., y López-Madrid W. 2003.Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 216(1): 193-201.
- López-Elías, J.A., A. Moreno-Arias, A. Miranda-Baeza, L.R. Martínez-Córdova, M. E. Rivas-Vega & Enrique Márquez-Ríos. 2015. Proximate Composition of Bioflocs in Culture Systems Containing Hybrid Red Tilapia Fed Diets with

- Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., y Tan, H. 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422, 1-7.
- Martínez-Córdova, L. R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A., & Martínez-Porchas, M. (2014). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture* 1-18.
- Manosalvas Moreira, P. A. 2007. Tolerancia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* a cambios de salinidad sin previa adaptación.
- Megahed, M.E. 2010. The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) fed with different crude protein levels. *Journal of the Arabian aquaculture society*. Vol.5 No. 2. p. 119-142.
- Miranda-Baeza A. 2004. La acuicultura y su entorno productivo, ambiental, socioeconómico y normativo. Editorial del CICESE, Departamento de acuicultura, Monografía 17239. Ensenada B.C. 140p.
- Monroy-Dosta, M. D. C., Lara-Andrade, D., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., & Coelho-Emerenciano, M. G. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3), 511-520.

Moreno-Arias Angélica. 2013. Composición proximal de los bioflóculos desarrollados en un cultivo de tilapia (*oreochromis niloticus x o. mossambicus*) alimentado con diferente nivel de sustitución de harina de pescado por harina vegetal en su dieta. Tesis de Maestría en Biociencias. Universidad de Sonora. 54 p.

Rodríguez-Pulido, J. A., & Ladino-Orjuela, G. (2009). Efecto de *Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris* (microorganismos eficientes em) y melaza en la ganancia de peso de tilapias (*Oreochromis sp*) en condiciones de laboratorio. *Orinoquia*, 13(1), 31-36.

Sagarpha., 2015. Boletín oficial de pesca y acuicultura

Sinha AK, K Barua & P Bossier. 2008. Horizon scanning: the potential use of biofloc as an anti-infective strategy in aquaculture –an overview. *Aquaculture Health International* 13: 8-10.

Timmons, M. B., J. M. Ebeling, F. W. Wheaton, S. T. Summerfelt, and B. J. Vinci. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*. 2nd ed. Cayuga Aqua Ventures, New York, U.S.A.

Wilén, B. M., Balmer, P., 1999. The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of active sludge flocs. *Water research* 33,391-400.

Wu L, C Peng, Y Peng, L Li, S Wang & Y Ma. 2012. Effect of wastewater COD/N ratio on aerobic nitrifying sludge granulation and microbial population shift. *Journal Environment Science* 24(2): 234-241.

Zar J. 1996. *Biostatistical analysis*. Third edition. Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 662 pp.