



**Crecimiento, sobrevivencia y calidad de crías de Tilapia del Nilo
(*Oreochromis niloticus*) cultivadas en biofloc con diferentes
fuentes de carbono**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION
BIOSUSTENTABLES**

Presenta:

LOMBARDO GARCIA RIOS

Navojoa, Sonora, México.

Junio del 2015.

CARTA DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis titulada **Crecimiento, sobrevivencia y calidad de crías de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en biofloc con diferentes fuentes de carbono**, presentada por **Lombardo García Ríos**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Sistemas de Producción Biosustentables.



Dr. Anselmo Miranda Baeza
Director Interno



Dr. Mauricio Gustavo Coelho
Emerenciano
Director externo



Dra. Martha Elisa Rivas vega
Sinodal



M.C. José Luis Esquer Méndez
Sinodal

DEDICATORIA

A mis padres Bertha Margarita y José Dolores

Con todo mi cariño y amor por darme una vida de amor y unión, por darme buenos valores que han regido mi caminar para que yo pudiera lograr mis sueños, por guiarme por un buen camino y enseñarme que para poder salir adelante hay que esforzarse, a ustedes con todo mi corazón y mi agradecimiento.

A mi esposa Azmin Viridiana

Por tu gran apoyo y paciencia, por ser mi gran amor, compañera y amiga, por motivarme a continuar preparándome para lograrlo y ser cada día mejor, por tolerar esas desveladas, gracias por estar siempre a mi lado y por darme lo más hermoso que hay en la vida te amo.

A mis hijos Diana Romina y Naím Lombardo

Por ser mi inspiración para superarme cada día para darles el ejemplo que necesitan para ser unas buenas personas en su futuro, y enseñarles a ponerse metas y cumplirlas, los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos

Por su apoyo incondicional, por su amistad, por ser buenos conmigo y estar siempre cuando los he necesitado, los amo.

A mis suegros Adriana y Jesús Amin

Por ser un gran apoyo para salir adelante, por animarme a superarme y por tenderme la mano cuando los he necesitado, Gracias.

A Ramón Ángel García Contreras

Por haber formado parte de mi vida, de toda mi carrera como estudiante, por haber sido mi compañero, mi amigo, mi hermano, por haber alegrado mi niñez, adolescencia y haber estado conmigo en las buenas y en las malas Q.E.P.D.

A mis amigos que de alguna forma me han motivado a ser cada día mejor.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por darme la fuerza, salud y determinación para sacar adelante mi preparación y lograr llegar a buen término.

A mi familia por ser lo más importante en mi vida con su apoyo incondicional.

A la Universidad Estatal de Sonora, por haberme aceptado en el Posgrado, por el uso de sus instalaciones y por el apoyo recibido de todo su personal.

Al CONACYT por la beca de manutención recibida, No. de becario: 571768.

Al CONACYT por el financiamiento a través del proyecto 206155: “Desarrollo de sistemas sustentables de producción acuícola”.

Al Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora por permitirme realizar mis estudios de posgrado y desarrollar mi proyecto de investigación en el Centro Acuícola del Estado de Sonora.

Al S.U.T.S.P.E.S por respaldarme para tramitar mi solicitud de estudio de posgrado.

Al Dr. Anselmo Miranda Baeza, por aceptar ser mi director interno y Dr. Mauricio Emerenciano por aceptar ser mi director externo. A ambos les agradezco por todo su tiempo y esfuerzo en la asesoría y en la dirección del experimento, así como en procesamiento de la información y revisión del documento.

A los sinodales, Dra. Martha Elisa Rivas Vega y al M. en C. José Luís Esquer Méndez, por sus acertadas sugerencias para mejorar el escrito.

A la Dra. María idalia Muy y al Dr. Adolfo Sánchez Romero, Docentes del Posgrado por compartir su conocimiento durante las sesiones de clase.

Al M.C. Jesús Alberto Lizárraga Armenta y M.C. Ernestina Santana Alcantar, por su ayuda en el laboratorio de investigación.

A mis compañeros de generación Efrén Álvarez y Manuel Cortés.

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

RESUMEN

La cantidad y la composición del biofloc dependen de diversos factores, entre ellos de la calidad y biodisponibilidad de los sustratos añadidos para mantener una relación C/N adecuada. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las fuentes de carbono en el crecimiento, mortalidad y calidad de las crías de tilapia cultivadas en biofloc. El estudio se realizó en el Centro Acuícola del Estado de Sonora (CAES) al interior de un invernadero. El experimento fue al azar simple con tres tratamientos y un control (por triplicado). Los tratamientos (fuentes de carbono) fueron harina de maíz (HM), harina de trigo (HT), azúcar (AZ) y un control (C) sistema tradicional de cultivo sin biofloc. El experimento se realizó en 12 tanques de fibra de vidrio con volumen útil de agua de 100 L cada uno y densidad de siembra de 3 ind/L. Al final del periodo de cultivo, el menor peso promedio correspondió a la harina de trigo y el mayor al azúcar. El tratamiento con azúcar alcanzó el mismo peso que el tratamiento control. Los mayores niveles de proteína se obtuvieron en el tratamiento con azúcar y en el control. La prueba de estrés utilizada, indicó que las crías cultivadas en biofloc tuvieron una resistencia similar a las cultivadas con el método tradicional. Los resultados indican que no hubo pérdidas en términos de desempeño zootécnico al producir crías de tilapia en BFT cuando se utiliza como sustrato el maíz y azúcar, y adicionalmente hubo un ahorro significativo en el alimento suministrado (41.1 a 58.9 %) y en el agua utilizada (67.4 a 75.5 %) en comparación con el método tradicional.

INDICE GENERAL

	Página
CARTA DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
I INTRODUCCIÓN	1
I.1 Antecedentes	3
I.1.1 Biofloc	3
I.1.2 Nutrición y alimentación de tilapia	5
I.1.3 Producción de crías de tilapia	7
I.2 Hipótesis	8
I.3 Objetivos	9
I.3.1 Objetivo General	9
I.3.2 Objetivos Particulares	9
II MATERIALES Y MÉTODOS	10
II.1 Diseño experimental	10
II.2 Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto y pH)	11
II.3 Sólidos suspendidos	11
II.4 Clorofila a	12
II.5 Compuestos nitrogenados	12
II.6 Parámetros productivos	12
II.7 Calidad de las crías	13
II.8 Análisis estadístico	14
III RESULTADOS	16

III.1	Variables básicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto y pH)	16
III.2	Sólidos suspendidos totales y clorofila a	16
III.3	Compuestos nitrogenados (NAT, N-NO ₂ y N-NO ₃)	18
III.4	Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia	19
III.5	Calidad de las crías de tilapia (pruebas de estrés y composición de tejido)	23
IV	DISCUSION DE RESULTADOS	26
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
V.1	Conclusiones	33
V.2	Recomendaciones	34
VI	LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Concentración promedio (+ DE) de SST en tratamientos, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	17
2	Concentración promedio (+ DE) de clorofila a, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	18
3	Crecimiento promedio de las crías de tilapia cultivadas en biofloc con diferentes fuentes de carbono, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	20
4	Sobrevivencia de las crías de tilapia después de la prueba de estrés, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	25

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Promedio (DE) de las variables básicas del agua obtenidas durante el experimento en los diferentes tratamientos (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	16
2	Promedio (DE) de compuestos nitrogenados en los diferentes tratamientos. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	19
3	Parámetros productivos (media \pm DE) de crías de tilapia en los diferentes tratamientos obtenidos a los 31 días de cultivo. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	21
4	Recursos estimados para la producción de un lote de 10,000 crías en un periodo de 31 días (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	22
5	Composición química proximal en base seca (g/100g materia seca) de la tilapia y de las fuentes de carbono utilizadas. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).	24

I. INTRODUCCIÓN

La rentabilidad de los cultivos acuícolas depende de proporcionar las condiciones adecuadas a los organismos en cultivo, entre las más importantes destacan: la nutrición, la calidad del agua, las instalaciones y las líneas genéticas. Desde hace algunas décadas el alimento peletizado, necesario para procesos metabólicos como respiración, digestión y biosíntesis, crecimiento y la reproducción (Delgadillo, 2012), ha tenido incrementos significativos en precio debido sobre todo a la escasez de la harina de pescado. El alto costo de la harina de pescado, ha propiciado la creación de diversas líneas de investigación enfocadas a la búsqueda opciones que puedan sustituirla total o parcialmente. Es reconocido que el alimento peletizado representa más de 50% de los costos totales de producción en los sistemas acuícolas (El Sayed, 2006). Algunos estudios han mostrado resultados prometedores para sustituirlo parcialmente, entre ellos se encuentran los sistemas de cultivo en biofloc.

Los bioflóculos microbianos se han reconocido como una fuente importante de alimento para tilapia y camarón (López-Elías *et al.*, 2015). La tecnología de biofloc, BFT en su sigla en inglés, en sus principios fue desarrollada para resolver los problemas de espacio disponible debido a los altos costos de tierras, además de calidad del agua debidos a la acumulación de metabolitos en los sistemas de bajo recambio de agua (Avnimelech, 2007). Los bioflóculos tienen una alta tasa de regeneración, mientras algunos se degradan, otros se generan gracias a la presencia de materia orgánica y al nitrógeno excretado por los peces. El tiempo aproximado de residencia de los bioflóculos se ha estimado en 8 h (Avnimelech y Kochba, 2009) el

proceso de renovación puede ser controlado mediante la adición de carbono orgánico.

En los laboratorios productores de crías de tilapia, uno de los problemas comúnmente registrados son las colonizaciones debidas a *Trichodina sp.* o *Dactilogyrus sp.*, parásitos que atacan la piel y las branquias. En las fases agudas pueden generar entre 70 y 80% de mortalidad en un periodo de hasta 10 días. Para minimizar los eventos de infestación por parásitos, se recomienda mantener buena calidad del agua (Prieto y Olivera, 2002). Al cultivar organismos en biofloc, algunos productos exógenos de las bacterias pueden inhibir el crecimiento de organismos potencialmente dañinos, por lo que promueven la salud de los peces. Emerenciano *et. al* (2009) reportaron una reducción de más de 80% de infestación por ectoparásitos en alevines de tilapia al utilizar el sistema BFT.

Otra de las ventajas de los sistemas de cultivo en biofloc es el control de los compuestos nitrogenados tóxicos, debido a la acción de las bacterias heterótrofas y nitrificantes que prosperan en los bioflóculos. La acumulación de amoníaco (NH_3) proveniente del metabolismo de los organismos cultivados, así como el contenido de oxígeno disuelto, son los principales factores que definen la capacidad de carga en los sistemas de cultivo (Timmons *et al.*, 2002). En los sistemas de cultivo en biofloc la conversión del NH_3 tiene tres vías de transformación a) la asimilación foto autotrófica por algas, b) por bacterias autótrofas que convierten el NH_3 en NO_2 y NO_3 , y c) por la acción de bacterias heterotróficas que utilizan las fuentes potenciales de amoníaco (materia orgánica) y las convierten en la biomasa microbiana (Ebeling *et al.*, 2006).

Concentraciones muy elevadas de amoníaco pueden causar reducciones en la tasa de crecimiento, cambios histopatológicos, una reducción de la capacidad de transporte de oxígeno por la hemoglobina o provocar la muerte de los organismos (Yumi-Bravo, 2007).

Por las características alimenticias de la tilapia y las cualidades del biofloc, se espera que el estudio permita obtener los siguientes beneficios en el Centro Acuícola del Estado de Sonora: a) ahorro de alimento pletizado, b) producción de crías de mejor calidad, c) mantenimiento de la calidad del agua y reducción de su consumo y d) tener un uso más eficiente de su infraestructura.

I.1. Antecedentes

I.1.1. Biofloc

Los flóculos se componen de detritos en la forma de materia floculada colonizada por bacterias heterotróficas, cianobacterias cocoides y filamentosas, rotíferos, copépodos y nemátodos (Ballester *et al.*, 2010). Además se han reportado otros microorganismos como protozoos flagelados y ciliados los cuales se desarrollan a partir de la materia orgánica y de las bacterias disponibles en el agua de cultivo. En términos generales, las bacterias heterótrofas son pioneras en la conformación del biofloc (Rodríguez-Pulido y Ladino-Orjuela, 2009).

Es importante mencionar que el tipo de microorganismos presentes en los bioflóculos dependen de una serie de factores. La cantidad y el tipo fuente de carbono, la cantidad de nitrógeno agregado, la presencia de macro y micro nutrientes y la cantidad de aireación, permiten promover tres tipos bioflóculos: heterótrofos, con

predominio de las bacterias; mixotróficos, donde las bacterias y las algas dominan, y foto-autótrofos, con mayor presencia de algas (Azim y Little, 2008). Adicionalmente, el control del nitrógeno inorgánico en los estanques se basa 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 y para crecer y generar nuevas células. El porcentaje de carbono asimilado con respecto a la alimentación de carbono metabolizado, se define como la eficiencia de conversión microbiana y está en un intervalo de 40-60 % (Avnimelech, 1999).

Existe poca información acerca de crecimiento de crías de *Oreochromis niloticus* en biofloc, sin embargo en un estudio de efecto de la tecnología biofloc en la primera etapa de postlarvas del camarón rosado (*Farfantepenaeus paulensis*) Emerenciano *et al.*, (2011), concluyo que la presencia de bioflóculos incrementó la supervivencia y la tasa de crecimiento de los camarones. Esto se observó incluso cuando las postlarvas no se les suministro alimento comercial. Este mismo autor, el año 2012, realizó un estudio con camarón *F. brasiliensis*, y encontró que la comunidad de microorganismos presentes en el biofloc, estuvo representada principalmente por herbívoros protozoos, rotíferos, cianobacterias y diatomeas, proporcionado una fuente de alimento natural permanente. Investigaciones recientes indican que el biofloc también puede proporcionar componentes adicionales, tales como factores de crecimiento y probióticos, que mejoran las tasas de crecimiento (Martínez-Córdova *et al.*, 2014).

En este contexto, la producción de bioflóculos depende de la disponibilidad de sustratos orgánicos, así como de la presencia de materia orgánica. En éstos sistemas, aunque el alimento agregado es consumido y asimilado, existe una parte importante que se desecha en forma de heces, las cuales sirven como un sustrato para la producción de más bioflóculos (Avnimelech, 2007). Por ser muy dinámico, su estabilidad depende principalmente de bacterias heterótrofas y de las microalgas (combinación funcional de organismos heterotróficos y autotróficos), los cuales presentan varias generaciones al día. La cantidad de carbono (relación C:N) y la fuente del mismo, pueden influir de manera importante en la abundancia de las bacterias heterótrofas y en la calidad nutricional del biofloc (Crab et. al, 2010). El consumo de los bioflóculos por los peces depende de las especies, tamaño del organismo y de la abundancia de flóculos en la columna de agua.

I.1.2. Nutrición y alimentación de tilapia

Los adultos son omnívoros y se alimentan de fitoplancton, perifiton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, así como de fauna bentónica y agregados bacterianos asociadas al detritus (El-Sayed, 2006). 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 se alimentan predominantemente de zooplancton (Bowen, 1982) aunque con frecuencia el consumo de fitoplancton también es común (El Sayed, 2006). La ingesta dentro del agua no es un proceso

directo, las partículas de alimento son tomadas generalmente con la boca llena de agua y filtradas por las branquias.

En los cultivos desarrollados en invernaderos, laboratorios y raceways, el desarrollo de microalgas y otro tipo de alimento natural es limitado, por lo que es importante que el alimento peletizado esté equilibrado en términos de composición de aminoácidos y que además contenga cantidades adecuadas de vitaminas y minerales (Baltazar y Raimondi, 2007). La alimentación es muy importante en el cultivo de peces; el alimento además de producir energía es usado para formar biomasa y crecer, muchos peces utilizan el 85 % del alimento asimilado para producir energía y solamente entre el 10 y 15 % para crecer (Delgadillo, 2012).

Se han realizado diversos estudios para sustituir parcialmente el alimento peletizado en tilapia. Moreno-Álvarez *et al.* (2000) realizaron un estudio en el cual evaluaron el efecto nutricional a partir de un alimento comercial mezclado con harina de cascara de naranja y concluyeron que la ración del 80% de cascara de naranja con 20% de alimento comercial, representa un potencial alimento para tilapia roja.

Por otra parte Peters *et al.* (2009), incluyeron *Lemna* obscura como ingrediente en la elaboración de un alimento para tilapia roja y reportaron mejor crecimiento con un 25% de inclusión de harina de *Lemna*. Gaber (2006) que sustituyó harina de pescado por harina de habas, encontrando que es posible sustituir el 50% del alimento de la dieta del alevín de tilapia sin afectar el crecimiento. Por otra parte Olvera-Novoa *et al.* (2002) encontraron que la levadura *Candida utilis* es potencialmente útil como fuente de proteína primaria en la alimentación de alevines de tilapia. En estudio realizado por Loum *et al.* (2013) se incluyeron cinco niveles de proteína cruda en la dieta de

alevines de tilapia hormonada (21%,25%, 32%, 37% y 45%) y encontraron que los más adecuados fueron los tratamientos con proteína cruda del 32% y 37%.

En relación a trabajos de nutrición en BFT, 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.

El biofloc presenta una alternativa viable para la producción de crías de tilapia, debido a que los bioflóculos pueden proporcionar proteína microbiana de alta calidad (Marínez-Córdova *et al.*, 2014). Al respecto, López-Elías *et al.* (2015) reportaron 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%.

I.1.3. Producción de crías de tilapia.

La expansión de la acuicultura se encuentra con dos limitantes adicionales a la disponibilidad de alimento. La carencia de tierra y la escasez de agua dulce para la expansión de la acuicultura plantean la necesidad de explorar nuevas alternativas. El incremento de la productividad por unidad de recursos se ha convertido en una de las prioridades en el cultivo de tilapia y de la acuicultura en general (Brune *et al.*

2003; Piedrahita 2003). Los sistemas de flujo continuo y de recirculación de agua se han usado con éxito en la producción de alevines de tilapia, sin embargo ambos consumen grandes volúmenes de agua.

La mayoría de los estudios en tilapia se han enfocado a determinar los parámetros productivos en sistemas de producción de juveniles a adultos (talla de mercado), sin embargo los estudios relacionados con la obtención de crías en laboratorios comerciales son escasos. En la fase de producción de alevines-cría de tilapia, los mejores crecimientos y sobrevivencias se han obtenido a temperatura de 28 °C, concentraciones elevadas de oxígeno disuelto y agua clara en sistemas de recirculación de agua, generalmente estas condiciones se logran en cultivos al interior (El-Sayed, 2006).

Dependiendo de las condiciones de cultivo, la talla comercial de las crías de tilapia se obtiene en un periodo de 25-40 días, durante éste tiempo las condiciones de cultivo y la nutrición deben de ser óptimas para que los organismos producidos tengan las mejores condiciones fisiológicas que garanticen un óptimo desempeño en la fase de crecimiento final (Olvera-Novoa *et al.*, 2002).

I.2. Hipótesis

Debido a las características alimenticias de los alevines de tilapia, el biofloc puede ser una alternativa viable para su cultivo, las fuentes de carbono pueden influir significativamente en su desempeño productivo, así como en los costos de producción y calidad de las crías de tilapia producidas.

I.3 Objetivos

I.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de las fuentes de carbono en el crecimiento, mortalidad y calidad de las crías de tilapia cultivados en biofloc.

I.3.2. Objetivos particulares

1. Evaluar las variables básicas del agua (O_2 , temperatura y pH), SST y clorofila a en los diferentes tratamientos para determinar si se mantienen dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de alevines.
2. Evaluar los compuestos nitrogenados (NAT , $N-NO_2$ y $N-NO_3$) para determinar si se mantienen en niveles de tolerancia para la especie.
3. Determinar el crecimiento y la sobrevivencia de las crías de tilapia en los diferentes tratamientos y compararlo con el desarrollo obtenido en condiciones tradicionales de cultivo.
4. Determinar la calidad de las crías mediante pruebas de estrés y composición proximal del tejido en los diferentes tratamientos y compararlo con el obtenido en condicione tradicionales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1. Diseño Experimental

El estudio se realizó en un laboratorio comercial, el Centro Acuícola del Estado de Sonora (CAES). El experimento se desarrolló al interior de un invernadero (3 x 2 m²) el diseño fue al azar simple con tres tratamientos y un control (por triplicado). Los tratamientos (fuentes de carbono) fueron harina de maíz (HM), harina de trigo (HT), azúcar (AZ) y un control (C) sistema tradicional de cultivo sin biofloc. El experimento se realizó se utilizaron 12 tanques de fibra de vidrio con volumen de agua de 100 L cada uno, los cuales fueron asignados aleatoriamente a las diferentes fuentes de carbono.

Seis días previos a la siembra, se llenaron los tanques (agua filtrada a 10 µm) se agregó un inóculo de bacterias heterótrofas (consorcio UES-1) estimando llegar una densidad de 50,000 UFC/mL en cada tanque de cultivo. Para promover el crecimiento poblacional de las bacterias heterótrofas y la formación de bioflóculos, cada dos días se agregó 1 g de carbono orgánico por cada 100 L de agua (equivalentes a: 3.5 g de harina de maíz, 3.7 de harina de trigo y 2.7 de azúcar) adicionalmente se agregó alimento molido (35% de proteína) como fuente de materia orgánica (5 g de alimento por cada 100 L de agua).

Durante todo el estudio, a cada tanque se suministró aireación vigorosa por medio de una piedra aireadora conectada a un soplador de aire (1/3 hp). La temperatura del agua se mantuvo entre 25.91 y 25.93 °C. Después de un periodo de maduración de seis días, se procedió sembrar las crías (provenientes del CAES), previamente

revertidas sexualmente, a una densidad de 3 ind/L. El peso promedio de siembra fue de 0.05 ± 0.02 gr.

Una vez que las crías fueron introducidas, los organismos cultivados en biofloc fueron alimentados al 50% de la ración diaria de alimento peletizado (Purina, con 35% de proteína cruda), únicamente el control se alimentó al 100% según el protocolo del CAES. La relación C:N se mantuvo en 12:1 durante el resto del estudio.

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

Después de la siembra de las crías, se monitorearon diariamente la temperatura y el oxígeno disuelto, ambas variables se midieron con un oxímetro digital marca YSI 55. El pH con un potenciómetro digital Denver Instruments pH-10. En todos los casos estos instrumentos fueron previamente calibrados de acuerdo a las instrucciones de los manuales de operación.

II.3. Sólidos suspendidos

Las muestras se tomaron cada semana y se congelaron hasta su procesamiento en el laboratorio de investigación de la Universidad Estatal de Sonora (unidad Navjoa). Las determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro HACH DR/2800 según la técnica descrita para sólidos suspendidos totales (SST: 8035) (HACH, 2007). Las mediciones fueron corregidas mediante una curva de calibración con la técnica

tradicional de gravimetría a través del uso de filtros de fibra de vidrio GFC (Miranda-Baeza *et al.*, 2006).

II.4. Clorofila a

Las muestras se colectaron cada semana en frascos de plástico de 250 mL, se congelaron hasta su análisis. Las lecturas de clorofila a se realizaron por triplicado siguiendo las instrucciones del manual de operación (Aquafluor, 2004). El equipo utilizado fue previamente calibrado con la técnica tradicional de extracción con acetona (Rodier, 1982).

II.5. Compuestos nitrogenados

Cada semana, a partir de la siembra, se colectaron 250 mL de agua de cada tanque experimental. Las muestras se congelaron y almacenaron hasta su procesamiento. Para las determinaciones de los nutrientes, se usó un espectrofotómetro Hach DR/2800 utilizando los métodos de diazotización con sulfato ferroso en medio ácido (8507) para N-NO₂, de reducción con cadmio a N-NO₂ y diazotización (8171) para N-NO₃, de salicilato (8155) para N-NH₄ de acuerdo a los procedimientos descritos en el manual del instrumento (Hach, 2007).

II.6. Parámetros productivos

Para determinar el crecimiento, se realizaron biometrías cada semana. Se tomaron 20 organismos de cada tanque y se pesaron en una balanza digital Ohaus con precisión de décimas de gramo. La diferencia entre las mediciones expresó como incremento en gramos de peso vivo. La sobrevivencia se determinó mediante el conteo inicial y final del número de crías y se expresó como porcentaje.

El crecimiento específico (TCE), el factor de conversión alimenticia (FCA) y la eficiencia proteica (EP) fueron determinados usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{TCE (\%/día)} = 100 ((\log \text{ peso final}) - (\log \text{ peso inicial})) / \text{días de cultivo}$$

$$\text{FCA} = \text{alimento consumido} / \text{peso ganado}$$

$$\text{EP} = \text{peso ganado} / \text{proteína consumida}$$

II.7. Calidad de 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 20 organismos de cada experimento en bolsas de 2 L con 50% de agua y 50% de aire enriquecido con O₂ (sin alimento, simulando transportación) a una salinidad de 13‰ por 12 horas, temperatura de 23 ± 1°C y pH de 8.1. La salinidad se obtuvo diluyendo agua de mar (35‰) con agua dulce filtrada (5 µm). Al final del periodo se evaluó la sobrevivencia obtenida en cada tratamiento.

Para determinar la composición química proximal del tejido de las crías, al final del cultivo colectaron 50 organismos al azar, los cuales se introdujeron en hielo y se trasladaron al laboratorio de investigación de la UES, donde fueron colocados en un ultracongelador Thermo Scientific a -60 °C hasta su análisis. Previo al análisis, el tejido fue secado en una estufa de convección Shell lab a 60 °C, por 48 h para obtener el peso seco del tejido.

El contenido de humedad, cenizas, lípidos, se determinó siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990) en todos los casos se trabajó por triplicado. La humedad se determinó por diferencia de peso húmedo y peso seco; el contenido de cenizas se determinó por calcinación en mufla Felisa a 550 °C durante 4 h.

Para la determinación de proteína cruda se utilizó la técnica de microkjeldahl. Muestras de 0.1 g fueron digeridas con ácido sulfúrico concentrado en un aparato de digestión (Digesdahl) siguiendo el método 8075 (NTK) del manual del espectrofotómetro HACH DR/2800 (Hach, 2007). Una vez obtenido el contenido de nitrógeno, se estimó la cantidad a proteína, como lo indica Rodier (1981).

Los lípidos se cuantificaron utilizando un equipo de extracción sistema Soxtec Avanti 8000, con éter de petróleo como solución extractora (AOAC, 1990).

II.8. Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA), para determinar si hubo diferencias significativas entre las variables básicas del agua, compuestos nitrogenados, el crecimiento, mortalidad y la calidad de los alevines entre los

tratamientos (Zar, 1996). En los casos donde el estadístico de prueba resulto significativo ($P < 0.05$) se aplicó la prueba 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 disuelto y pH)

Durante todo el estudio el oxígeno disuelto se mantuvo entre 5.91 y 5.94 mg/L, sin diferencias significativas entre los tratamientos. El pH y la temperatura se mantuvieron similares con valores de 8.15 a 8.17 y 25.91 y 25.93, en donde la prueba de ANOVA no mostró diferencias significativas (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio (DE) de las variables básicas del agua obtenidas durante el experimento en los diferentes tratamientos (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

	HM	HT	AZ	C
O ₂ (mg/L)	5.91 (1.16)	5.92 (1.15)	5.93 (1.16)	5.94 (1.15)
pH	8.16 (0.19)	8.16 (0.19)	8.15 (0.193)	8.17 (0.21)
Temp (°C)	25.91 (2.20)	25.92 (2.20)	25.93 (2.20)	25.93 (2.20)

III.2. Sólidos suspendidos totales y Clorofila a

La menor concentración de sólidos suspendidos totales correspondió al tratamiento control (49.6 mg/L) y la mayor al tratamiento con harina de trigo (226.6 mg/L) ($P < 0.05$) (Figura 1). La Clorofila a (Figura 2) tuvo promedios entre 351 y 4,536 $\mu\text{g/L}$, con una tendencia similar en los tratamientos HM y HT ($P > 0.05$), pero

significativamente superior al tratamiento AZ. El tratamiento C presentó los menores valores clorofila a entre todos los tratamientos ($P < 0.05$).

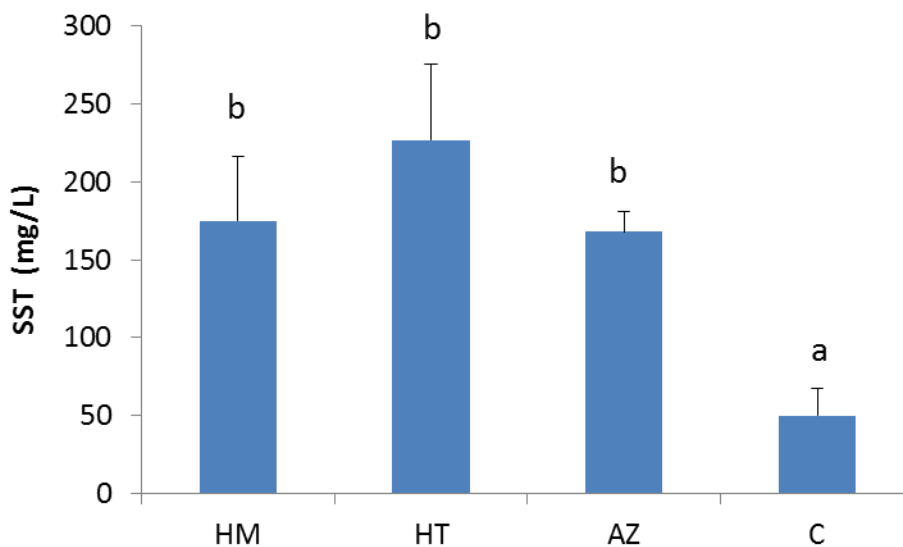


Figura 1. Concentración promedio (+ DE) de SST en tratamientos, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

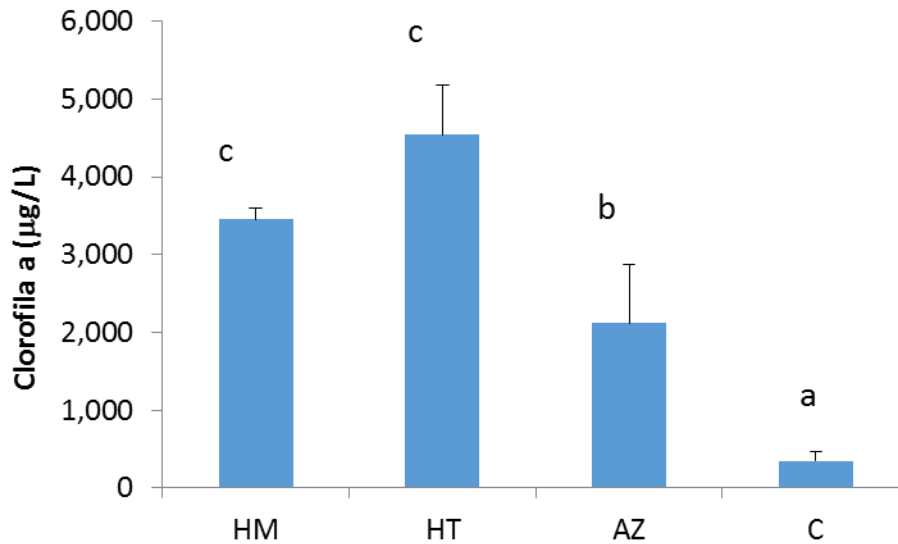


Figura 2. Concentración promedio (+ DE) de clorofila a, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

III.3. Compuestos nitrogenados (NAT, N-NO₂ y N-NO₃)

En la Tabla 2 se muestran los resultados de calidad de agua referentes a los compuestos nitrogenados. El nitrógeno amoniacal total (NAT) estuvo entre 0.15 y 0.71 mg/L. El menor correspondió al tratamiento de azúcar, pero sin diferencias entre todos los tratamientos BFT; y el mayor valor fue observado en el control con 0.71 mg/L ($P < 0.05$). El nitrito (N-NO₂) se mantuvo similar en todos los tratamientos con valores de 1.6 a 5.08 mg/L ($P > 0.05$). El nitrato (N-NO₃) estuvo entre 2 y 36 mg/L. La prueba ANOVA mostro diferencias significativas entre los tratamientos el menor

correspondió al control y el mayor a los tratamientos con harina de maíz y harina de trigo.

Tabla 2. Promedio (DE) de compuestos nitrogenados en los diferentes tratamientos. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

Compuesto (mg/L)	HM	HT	AZ	C
NAT (mg/L)	0.33 (0.07) ^a	0.3 (0.07) ^a	0.15 (0.01) ^a	0.71 (0.25) ^b
N-NO ₂	5.08 (3.2)	1.6 (0.95)	2.05 (1.9)	4.67 (2.24)
N-NO ₃	36 (13) ^{bc}	46 (11) ^c	16 (8) ^{ab}	2 (0) ^a

III.4. Crecimiento y sobrevivencia de las crías de tilapia

El peso inicial promedio fue de 0.05 g/ind, al día 16 de cultivo el promedio llegó 0.10 g/ind sin diferencias entre los tratamientos. Al final del periodo experimental, el peso promedio estuvo entre 0.30 y 0.49 g/ind, con diferencias entre las fuentes de carbono utilizadas y el control ($P < 0.05$). El menor correspondió a la harina de trigo y el mayor al azúcar (Figura 3, Tabla 3).

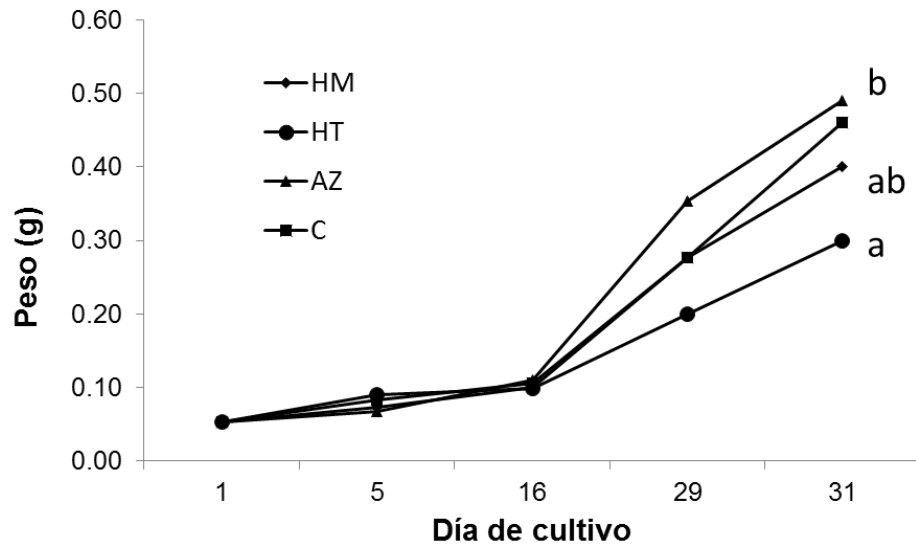


Figura 3. Crecimiento promedio de las crías de tilapia cultivadas en biofloc con diferentes fuentes de carbono, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

Al final del experimento la talla presentó promedios de 2.50 a 3.53 cm/ind. La prueba de ANOVA no mostró diferencia significativa entre los tratamientos. La sobrevivencia de las crías estuvo entre 57.2 a 67.2 %, sin diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3).

El FCA en los tratamientos con biofloc varió entre 1.28 y 1.51, sin diferencias significativas entre ellos, mientras que en el tratamiento tradicional llegó a 2.33

($P < 0.05$) (Tabla 3). La eficiencia proteica indicó que la menor eficiencia se obtuvo en el tratamiento control con 1.17, mientras que la máxima se registró con el azúcar como fuente de carbono con 2.11 (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros productivos (media \pm DE) de crías de tilapia en los diferentes tratamientos obtenidos a los 31 días de cultivo. Letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

	HM	HT	AZ	C
Peso in (g/ind)	0.05(0.001)	0.05(0.001)	0.05(0.001)	0.05(0.001)
Peso fin (g/ind)	0.40 (0.05) ^{ab}	0.30 (0.02) ^a	0.49 (0.04) ^b	0.46 (0.07) ^b
Inc (g/ind)	0.35 (0.05) ^{ab}	0.25(0.02) ^a	0.44 (0.04) ^b	0.41(0.05) ^b
Talla fin (cm/ind)	3.53 (0.44)	2.50 (0.16)	3.04 (0.14)	3.28 (0.82)
TRC (%/día)	6.71 (0.38) ^{ab}	5.74 (0.20) ^a	7.38 (0.27) ^b	7.13 (0.45) ^b
Sobrev (%)	60.6 (3.1)	60.6 (3.5)	57.2 (11.1)	67.2 (25.1)
FCA	1.46 (0.12) ^a	1.51 (0.17) ^a	1.28 (0.15) ^a	2.33 (0.15) ^b
EP	1.77 (0.19) ^{ab}	1.56 (0.25) ^{ab}	2.11 (0.32) ^b	1.17 (0.09) ^a

TRC = Tasa relativa de crecimiento

FCA = Factor de conversión alimenticia

EP = Eficiencia proteica

Tomando como base los resultados del experimento, se realizó una estimación de la cantidad de recursos necesarios para producir un lote de 10,000 crías en sistema de biofloc, comparado con el sistema tradicional. La cantidad de agua en el sistema BFT estuvo entre 6.1 y 7.8 m³ mientras que en el tradicional llegó a 23.9 m³ (Tabla 4).

El alimento peletizado estuvo entre 4.4 y 6.3 kg en sistema de biofloc, y en el tradicional incrementó a 10.7 kg. Las fuentes adicionales de carbono para fomentar el biofloc tuvieron un intervalo de de 2.6 a 3.0 Kg, el menor correspondió al azúcar y el mayor a la harina de maíz (Tabla 4).

Tabla 4. Recursos estimados para la producción de un lote de 10,000 crías en un periodo de 31 días, letras diferentes en el mismo renglón indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

	HM	HT	AZ	C
Agua (m ³)	6.1 (0.4) ^a	7.0 (0.4) ^a	7.8 (1.3) ^a	23.9 (4.3) ^b
Alimento peletizado (Kg)	5.8 (0.3) ^a	4.4 (0.3) ^a	6.3 (1.1) ^a	10.7 (1.9) ^b
Fuente adic. de C (Kg)	3.0 (0.2) ^{ab}	2.7 (0.02) ^a	2.6 (0.05) ^b	0.0
Costo en alimento peletizado (USD/10,000 crías)	4.95	3.75	5.38	9.13
Costo en fuente de C (USD/10,000 crías)	1.58	1.42	2.43	0.0
Costo total alimento + fuente de C (USD/10,000 crías)	6.53	5.18	7.80	9.13

Considerando los costos de alimentación, se encontró que el sistema BFT tiene un costo de 5.18 a 6.53 USD (Dólares americanos), mientras que en el tradicional llega a 9.13 USD. El uso de biofloc para la producción de crías representa un ahorro económico en la alimentación de entre 14.6 y 28.5 % comparado con el cultivo tradicional.

III.5. Calidad de las crías (pruebas de estrés y composición del tejido)

En relación a la prueba de estrés, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4). Al final del estudio el análisis proximal del tejido, considerando el cuerpo completo (Tabla 5), mostró un contenido de proteína cruda de 63.9 a 71.0 g/100g base seca. Los contenidos más bajos se registraron en los tratamientos con la harina de maíz y harina de trigo, mientras que los más altos se obtuvieron en el tratamiento con azúcar y en el control ($P < 0.05$). El contenido de lípidos en el tejido estuvo entre 11 y 16 g/100g de materia seca, en que el menor correspondió al tratamiento con azúcar y el mayor al de harina de maíz ($P < 0.05$). Por otra parte el contenido de cenizas estuvo entre 11.6 y 14.1 g/100g de materia seca, la menor concentración correspondió al control y la mayor al de azúcar.

Tabla 5. Composición química proximal en base seca (g/100g materia seca) de la tilapia y de las fuentes de carbono utilizadas, letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

	Proteína cruda	Lípidos	Cenizas
Crías			
HM	64.2 ± 1.9 ^a	16 ± 0.4 ^c	12.0 ± 0.1 ^a
HT	63.9 ± 1.2 ^a	15 ± 0.2 ^b	12.1 ± 0.4 ^a
AZ	70.1 ± 2.7 ^b	11 ± 0.1 ^a	14.1 ± 0.2 ^b
C	71.0 ± 1.6 ^b	15 ± 0.3 ^b	11.6 ± 0.1 ^a
Fuentes adicionales de Carbono			
H. Maíz	11.79±0.41	2.80±0.71	1.66±0.209
H. trigo	15.15 ±0.60	3.73±0.39	5.69±0.71
Azúcar	nd	nd	-
Control	-	-	-

nd; no detectado

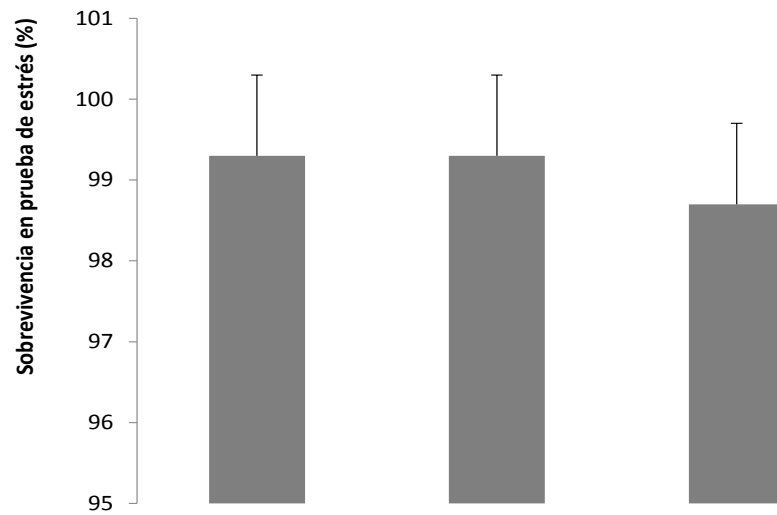


Figura 4. Sobrevivencia de las crías de tilapia después de la prueba de estrés, letras diferentes indican diferencia significativa (HM = harina de maíz, HT = harina de Trigo, AZ = azúcar y C = control).

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El oxígeno disuelto es un factor limitante que afecta el metabolismo de los peces, modifica la tasa de consumo e influye en el crecimiento, en esta investigación se mantuvo por encima de 5.9 mg/L y no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Los niveles registrados están dentro del intervalo óptimo para el cultivo de tilapia (El- Sayed, 2006) y son similares a los obtenidos por Ekasari y Maryam (2012), quienes trabajaron con tilapia roja en sistemas BFT. En éste estudio, el tratamiento control mantuvo concentraciones de oxígeno similares a los tratamientos en biofloc debido a los recambios del 10%/día, que impidieron la acumulación de materia orgánica y el incremento de la demanda biológica de oxígeno.

La temperatura es uno de los factores más importantes que afecta: la fisiología, el crecimiento, la reproducción y el metabolismo de la tilapia (El- Sayed, 2006), durante esta investigación la temperatura promedio se mantuvo por encima de los 25 °C, la cual está dentro del intervalo óptimo para el cultivo de tilapia (Lim y Webster, 2006).

La tilapia es capaz de tolerar un intervalo amplio de pH, el cual puede estar entre 3.7 y 11, aunque el mejor crecimiento se ha reportado entre 7 y 9 (Ross, 2000). Los niveles obtenidos en el presente estudio (8.15 a 8.17) son muy similares al intervalo de 7.20 a 8.00 reportado por Abdel-Tawwab *et al.* (2008) para un cultivo de tilapia en condiciones de laboratorio.

En los tratamientos con biofloc, la concentración de SST estuvo entre 168.0 y 226.6 mg/L, estos niveles fueron similares a los obtenidos por Yuan *et al.* (2010) que variaron de 128.1 a 196.3 mg/L para un policultivo de tilapia roja con camarón a

diferentes densidades. Sin embargo fueron menores a los reportados en sistemas BFT por Avnimelech (2007) y por Ekasari y Maryam (2012) quienes reportaron intervalos de 200 a 500 mg/L en cultivos de tilapia adulta. En sistemas de biofloc las diferencias en los SST son comunes y dependen sobretodo de la biomasa, del tipo de alimento suministrado y de la edad del cultivo (López-Elías *et al.*, 2015). Es importante resaltar que no hay reportes de los niveles de SST en cultivos de alevines en biofloc. En el presente estudio se observó que las bajas concentraciones que prevalecieron durante el experimento, permitieron una ingesta adecuada de biofloc, sin que se observara acumulación de materia orgánica en las branquias, la cual puede provocar disminución en la difusión del oxígeno disuelto en los organismos cultivados (Emerenciano *et al.*, 2013).

Se considera que el cultivo de crías de tilapia en biofloc con presencia de microalgas es adecuado, debido a que éstas son una fuente importante de proteína, antioxidantes y vitaminas que complementan la nutrición durante ésta etapa de vida, ya que en el medio natural estas son parte de su dieta (El Sayed, 2006). Las concentraciones de clorofila a en los tratamientos con biofloc estuvieron entre 2,117 y 4,536 µg/L, mientras que en control llegaron a 351 µg/L. La gran diferencia entre ambos sistemas se explica por la presencia de microalgas en los sistemas de mínimo recambio (BFT) debido a la acumulación de nutrientes derivados del metabolismo de la tilapia (NH₃). En los sistemas BFT la abundancia de las microalgas depende de la relación C:N, así como de la irradiación solar. En el presente estudio las condiciones que favorecieron la presencia de microalgas fueron posiblemente debido a la relación utilizada (12:1) así como la incidencia solar, debido a que los tanques experimentales

se mantuvieron al exterior. Los sistemas BFT con baja relación C:N pueden presentar elevados niveles de clorofila *a* (Decamp *et al.* 2007) los cuales no son recomendables debido a las variaciones en el pH durante el día (Burford *et al.*, 2004); aunque en el presente estudio el pH presentó poca variación.

Los bajos niveles de NAT, obtenidos en el presente estudio indican que el sistema BFT operó de manera eficiente en la transformación y aprovechamiento de los metabolitos tóxicos. La tilapia expuesta a elevados niveles de NH_3 tiene un menor número de células rojas en la sangre, esto reduce la capacidad de transportar oxígeno, siendo que concentraciones próximas a 2 mg/L pueden afectar significativamente el crecimiento (El- Sayed, 2006). En este estudio los tratamientos de biofloc estuvieron muy por debajo de éste límite (0.15 y 0.33 mg/L). Las concentraciones registradas son similares a los niveles de 0.32 a 0.36 mg/L reportados por Martins *et al.* (2009) para un cultivo de tilapia con recirculación y mínimo recambio de agua. Resultados similares (de 0.01 a 1.13 mg/L) fueron reportados por Ekasari y Maryam (2012) para tilapia roja *Oreochromis sp.* en biofloc. Sin embargo existen reportes en los cuales los niveles de NAT en sistemas de biofloc pueden alcanzar más de 10 mg/L (Luo *et al.*, 2014).

Además del NAT, el N-NO_2 también es tóxico para los peces. Las concentraciones elevadas provocan retraso en el crecimiento (El- Sayed, 2006). En este estudio la concentración del N-NO_2 estuvo entre 1.6 y 5.08 mg/L, el mayor nivel se registró en el tratamiento con harina de maíz. El tratamiento control, se mantuvo siempre con los niveles más bajos, debido a los recambios de agua. Sin embargo las concentraciones

obtenidas en los tratamientos BFT fueron similares al intervalo de 2.09 y 9.29 mg/L, reportado por Ekasari y Maryam (2012) para un cultivo de tilapia en biofloc.

El nitrato es muy poco tóxico para la tilapia; sin embargo, la exposición prolongada a niveles elevados puede disminuir la respuesta inmune (El- Sayed, 2006). Los niveles obtenidos en los tratamientos con biofloc pasaron de 2 mg/L al inicio del experimento a 16-46 mg/L al final. Se asume que estas concentraciones no representaron ningún riesgo para la salud de las crías de tilapia, ya que en adultos cultivados en sistemas de recirculación de agua la toxicidad se ha registrado en niveles de 300 – 400 mg/L (De Long et al., 2009). Por otro lado la acumulación de nitrato (producto final de la nitrificación), indica que las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) tuvieron un desempeño eficiente en la transformación del NAT.

La talla final obtenida en el presente estudio en un periodo de 31 días estuvo entre 0.30 a 0.44 g, con una tasa específica de crecimiento de entre 5.74 y 7.38 %/día. Estos resultados son similares a los reportados por Rodríguez-Serna *et al.* (1996) con 5.46 y 5.94 %/día (peso inicial de 0.1 g y 49 d de cultivo) quienes sustituyeron la harina de pescado por harina de subproductos animales en la dieta.

Otro estudio de crecimiento con alevines de tilapia fue desarrollado por Lara-Flores *et al.* (2003) en el cual se evaluaron tres tipos de probióticos (bacterias: *Streptococcus faecium* y *Lactobacillus acidophilus*; y la levadura: *Saccharomyces cerevisiae*); los datos estimados de la TRC estuvieron entre 3.3 y 5.8 %/día, con una talla inicial de 0.14 g en un periodo de cultivo de 63 d, la cual es inferior a la del presente estudio. La TRC obtenida en éste estudio y su comparación con otros

estudios similares, indican que las crías de tilapia en los tratamientos BFT consumieron el biofloc desarrollado dentro de los tanques de cultivo para complementar su nutrición.

Por otra parte la sobrevivencia reportada por Rodríguez-Serna *et al.*, (1996) estuvo entre 86-100 % y la de Lara Flores *et al.*, (2003) vario de 64-96%, en comparación con el presente estudio, éstas fueron superiores, sin embargo los estudios a los que se hace referencia se realizaron en condiciones de laboratorio, mientras que el presente se realizó en un laboratorio comercial y al exterior. Los registros del Centro Acuícola de Cajeme, indican que los la sobrevivencia obtenida en éste experimento fue similar a la que se ha obtenido históricamente.

La capacidad de los alevines para resistir y mantener la homeostasis es muy importante para la supervivencia y el crecimiento, por lo que las pruebas de estrés se usan como un indicador de la calidad y desempeño durante el crecimiento final (Palacios y Racotta, 2007). Durante el cultivo el estrés puede ser causado por diferentes factores, incluyendo: deficiencias nutricionales (desequilibrios de vitaminas), variaciones ambientales, contaminación, enriquecimiento orgánico, etc. (El-Sayed, 2006).

Los altos porcentajes de sobrevivencia (98.3 y 99.3) obtenidos después la prueba de estrés son un indicador de que las crías cultivadas en biofloc tuvieron una resistencia similar a aquellas que se cultivaron con el método tradicional, a pesar de que en éstos, el suministro de alimento peletizado fue significativamente inferior. La prueba de estrés utilizada fue una modificación de Manoslavas-Moreira (2007), quien evaluó

la resistencia de crías de tilapia (0.3 -0.4 g/ind) a diferentes salinidades (10-80‰) y encontró que a 10‰ y 12 h, la sobrevivencia fue del 90% mientras que a 20‰ y 12 h la mortalidad fue total. En nuestro experimento se decidió arbitrariamente elevar la salinidad a 13‰, aun así se obtuvo alta sobrevivencia.

Las crías obtenidas en biofloc promovido con azúcar tuvieron mayor contenido de proteína en el tejido en comparación con las harinas de maíz y de trigo que estuvieron entre 63.9 a 64.2%, siendo estos últimos similares a los obtenidos por Rodríguez-Serna *et al.* (1996), quienes sustituyeron la harina de pescado por harina de subproductos animales y obtuvieron un porcentaje de proteína de 59.18 a 65.10.

El contenido de proteína en el alimento que se utilizó en éste experimento fue del 35%, a pesar de ello el contenido de proteína fue superior al 52.7 a 61.13% reportado por Lara-Flores *et al.* (2003) quienes incluyeron probióticos en la alimentación de alevines de tilapia (40% de proteína en el alimento). Con base en lo anterior existe evidencia de que la ingesta de biofloc aporta los requerimientos adecuados para que los alevines de tilapia cubran sus requerimientos nutricionales y se reflejen en la calidad de su tejido.

Por otro lado el contenido de lípidos en el tejido estuvo entre 11 y 16 %, inferior a los niveles reportados por Rodríguez-Serna *et al.* (1996) que variaron de entre 18.6 a 26%, mientras que Lara-Flores *et al.* (2003) obtuvieron de 21.1 a 39.1% también en alevines de tilapia. Las diferencias pueden deberse al método utilizado entre los diferentes autores. En general el contenido de lípidos en el biofloc es bajo puede estar entre 3 y 4% (Emerenciano *et al.* 2013), mientras que el alimento peletizado,

para tilapia tiene entre 7 y 8 % por lo que se hubiese esperado mayor contenido en el tratamiento control.

El contenido de cenizas estuvo entre 11.6 a 14.1%, similares a los reportados por Rodríguez-Serna *et al.* (1996) con porcentajes de entre 13.4 a 15.6 y a los de Lara-Flores *et al.* (2003) que estuvieron entre 13.1 y 14.7%. A pesar de que las crías producidas en biofloc, no consumieron la ración completa de alimento, éstas acumularon una cantidad de minerales similar a las que fueron cultivadas de manera tradicional.

Es importante resaltar que las crías de tilapias obtenidas en el sistema biofloc cuando se utilizó el maíz y el azúcar como sustrato, tuvieron desempeño zootécnico similar al control, pero con un ahorro significativo en alimento y agua con 74.5 y 32.6%, respectivamente, en comparación con el método tradicional. El costo de producción (alimento + fuente de C; expresado en USD/10,000 alevines) fue significativamente menor (5.18 a 7.8 USD/10,000) en comparación a sistemas convencionales con recambios de agua (9.13 USD/10,000). En el presente estudio se utilizó azúcar como fuente de C, sin embargo ésta puede sustituirse por melaza y el costo de producción en éste tratamiento disminuiría a 6.24 USD/10,000.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. Conclusiones

El tratamiento con azúcar alcanzó el mismo peso que el tratamiento control. Al final del periodo de crecimiento, el menor peso promedio correspondió a la harina de trigo y el mayor al de azúcar.

El análisis proximal del tejido mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Los mayores niveles de proteína se obtuvieron en el tratamiento con azúcar y en el control.

Para producir un lote de 10,000 crías en sistema de biofloc se requieren entre 4.4 y 6.3 kg de alimento peletizado y 10.7 kg en el tradicional. Mientras que la cantidad de agua en el sistema BFT estuvo entre 6.1 y 7.8 m³, en el tradicional llegó a 23.9 m³.

La prueba de estrés utilizada, indicó que las crías cultivadas en biofloc tuvieron una resistencia similar a aquellas que se cultivaron con el método tradicional.

Las variables básicas del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) se mantuvieron sin diferencias significativas entre los tratamientos.

Los sólidos suspendidos totales y la clorofila a fueron mayores en los tratamientos con biofloc, de acuerdo a lo esperado.

El NAT fue mayor en el tratamiento control, el N-NO₂ se mantuvo similar, mientras que el N-NO₃ fue mayor en los tratamientos con biofloc.

V.2. Recomendaciones

Se recomienda:

Realizar pruebas piloto comerciales para producción de lotes de crías de tilapia en biofloc en el Centro Acuícola de Cajeme.

Evaluar desde el punto de vista técnico financiero la reconversión parcial o total del sistema de producción de crías de tilapia en el Centro Acuícola de Cajeme.

Utilizar azúcar o el equivalente de melaza como fuente de carbono para la producción de crías de tilapia.

Evaluar diferentes relaciones de Carbono: Nitrógeno para determinar aquella que promueva mejores parámetros productivos en escala piloto comercial.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdel-Tawwab, M., Abdel-Rahman, A. M., y Ismael, N. E. 2008. Evaluation of commercial live bakers' yeast, *Saccharomyces cerevisiae* as a growth and immunity promoter for Fry Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) challenged in situ with *Aeromonas hydrophila*. *Aquaculture*, 280(1):185-189.
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3): 227-235.
- Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs 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 15 N tracing. *Aquaculture*, 287(1): 163-168.
- Aquaflour 2004. Aquaflour designs flourometer and turbidimeter, user's Manual Turners designs California USA. 36 pp.
- 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
- Baltazar, P. M., y Raimondi, A. 2007. La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Rev. Perú. Biol*, 13, 267. and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1): 346-358.
- Ballester, E. L. C., Abreu, P. C., Cavalli, R. O., Emerenciano, M., De Abreu, L., y 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.
- Bowen, S.H. (1982) Feeding, digestion and growth – qualitative considerations. In: Pullin, R.V.S. and Lowe-McConnell, R.H. (eds) *The Biology and Culture of Tilapias*. ICLARM Conference Proceedings No. 7, ICLARM, Manila, Philippines, pp. 141–156.
- Brune D.E., Schwartz G., Eversole A.G., Collier J.A. y Schwedler T.E. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquaculture Engineering*, 28:65-86.
- Burford, M. A., Thompson, P. J., McIntosh, R. P., Bauman, R. H., y Pearson, D.C. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture*, 232(1): 525-537.
- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., y Verstraete, W. (2010). The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, 41(4): 559-567.
- Decamp, O., Conquest, L., Cody, J., Forster, I., y Tacon, A. G. 2007. Effect of Shrimp Stocking Density on Size-fractionated Phytoplankton and Ecological Groups of Ciliated Protozoa within Zero-water Exchange Shrimp Culture Systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(3): 395-406.
- De long, P. Losordo T. y Rakocy J. 2009. Tank culture of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication Number 282. 8 p.

- Delgadillo S. 2012. Manejo y Operación de Granjas de Tilapia. Memorias de curso. Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, Noviembre 12-17, 2012.
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B., y Bisogni, J. J. 2006. An engineering analysis of the stoichiometry of autotrophic, heterotrophic bacterial control of ammonia-nitrogen in zero-exchange production. In Proceedings of the 6th International Conference on Recirculation Aquaculture. Roanoke, VA (pp. 28-37).
- 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.
- El-Sayed E.M. 2006. Tilapia culture. CABI publishing. Cambridge Massachusetts USA. 275 p.
- Emerenciano M., Avnimelech Y., Gonzalez R., Leon A.T.D, Cuzon G. y Gaxiola G. 2009. Effect of bio-floc technology (BFT) in ectoparasite control in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* culture. CD of Abstracts of World Aquaculture Society Meeting 2009, Veracruz, Veracruz, Mexico.
- Emerenciano, M., Ballester, E. L., Cavalli, R. O., y 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., y 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.
- Emerenciano M., Gaxiola G. y Cuzon G. 2013) Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. In: Matovic MD (ed.) Biomass Now - Cultivation and Utilization, pp. 301–328. InTech, Queen’s University, Belfast, Canada.
- FAO 2013. Programa de información de especies acuáticas, *Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO* [en línea].
http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es.
- Gaber, M. M. 2006. Partial and complete replacement of fish meal by broad bean meal in feeds for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, L., fry. Aquaculture Research, 37(10): 986-993.
- Hach. 2007. Procedures manual, DR2800 Spectrophotometer . Hach Co. E.U. 486 p.
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M. A., Guzmán-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.
- Lim, C. y Webster C.D. (2006). Tilapia: biology, culture, and nutrition. New York, Food Products Press.
- López-Elías, J. A., Moreno-Arias, A., Miranda-Baeza, A., Martínez-Córdova, L. R., Rivas-Vega, M. E., y Márquez-Ríos, E. 2015. Proximate Composition of Bioflocs in Culture Systems Containing Hybrid Red Tilapia Fed Diets with Varying Levels of Vegetable Meal Inclusion. North American Journal of Aquaculture, 77(1): 102-109.

- Loum, A., Sagne, M., Fall, J., Ndong, D., Diouf, M., Sarr, A., y Thiaw, O. T. 2013. Effects of Dietary Protein Level on Growth Performance, Carcass Composition and Survival Rate of Fry Monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Reared under Re-circulating System. *Journal of Biology and Life Science*, 4(2): 13-22.
- 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.
- Manosalvas Moreira, P. A. 2007. Tolerancia del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* a cambios de salinidad sin previa adaptación.
- 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.
- Martins, C. I., Ochola, D., Ende, S. S., Eding, E. H., y Verreth, J. A. 2009. Is growth retardation present in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in low water exchange recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 298(1): 43-50.
- 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*, 5:(2):119-142.
- Moreno-Alvarez, M. J., Hernández, J. G., Rovero, R., Tablante, A., y Rangel, L. 2000. Alimentación de tilapia con raciones parciales de cáscaras de naranja. *Cienc. Technol. Aliment*, 3(1): 29-33.

- 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.
- Miranda-Baeza, A., Voltolina D., and Cordero-Esquivel B. 2006. Filtration and clearance rates of *Anadara grandis* juveniles (*Pelecypoda, Arcidae*) with different temperatures and suspended matter concentrations. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)*, 54(3):787-792.
- Olvera-Novoa, M. A., Martínez-Palacios, C. A., y Olivera-Castillo, L. 2002. Utilization of torula yeast (*Candida utilis*) as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) fry. *Aquaculture Nutrition*, 8(4), 257-264.
- Palacios, E., & Racotta, I. S. (2007). Salinity stress test and its relation to future performance and different physiological responses in shrimp postlarvae. *Aquaculture*, 268(1), 123-135.
- Peters, R. R., Morales, E. D., Morales, N. M., y Hernández, J. L. 2009. Evaluación de la calidad alimentaria de la harina de *Lemna obscura* como ingrediente en la elaboración de alimento para tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Revista Científica*, 19(3): 303-310.
- Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226:35-44.

- Prieto A y Olivera M. 2002. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis* sp. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 15 (1): 115-120.
- Rodier, J. 1981. Análisis de las aguas. Omega. Barcelona. 1059 pp.
- Rodríguez-Pulido, J. A., y Ladino-Orjuela, G. 2009. Efecto de *Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodopseudomonas palustris* (microorganismos eficientes) y melaza en la ganancia de peso de tilapias (*Oreochromis* sp) en condiciones de laboratorio. Orinoquia, 13(1): 31-36.
- Rodríguez-Serna, M., Olvera-Novoa, M. A., y Carmona-Osalde, C. 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. Aquaculture Research, 27(1): 67-73.
- Ross, L.G (2000) Environmental Physiology and energetic. In: Beveridge, M.C.M and Mc Andrew, B.J. (eds) Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, pp. 89-128.
- 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.
- Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Fitzimmons, K., y Diana, J. S. (2010). Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis spp.*) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. Aquaculture, 298(3): 226-238.

- Yumi-Bravo, N., 2007. Efecto agudo del Amoníaco en tilapia roja (*Oreochromis sp.*).
Tesis de Licenciatura. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria
Zamorano, Honduras. 17p.
- Zar J. 1996. Biostatistical analysis. Third edition. Prentice-Hall International, Englewood
Cliffs, New Jersey, USA. 662 pp.