



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA SOBRE EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO ENTRE LA POBLACIÓN
SINTÉTICA DE TILAPIA: PARGO-UNAM Y LA TILAPIA GRIS
DEL NILO *Oreochromis niloticus* BAJO UN SISTEMA DE
CULTIVO EN BIOFLOC.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

Irving Alberto Vázquez Flores

No. De cuenta: 40800229-9

Asesores:

Dr. Mario Garduño Lugo

MPA. Germán Muñoz Córdoba



México, D.F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A la mamá y garçon (mis papás), que me han dado su apoyo y cariño incondicional tanto emocional como económico durante toda mi vida y que junto con la wedash, me han educado y han hecho de mi la persona que soy ahora.

A mi hermano que también ha sido una parte muy importante de mi vida y con el que he pasado ratos muy agradables haciendo babosadas.

A mis amigos Gustavo, Pablo, Monse y Genaro, que han estado conmigo en los momentos difíciles en que mis padres no pueden y con los que he pasado grandes momentos inolvidables.

Quisiera dedicarla también a mi tutora la Dra. Silvia Elena Buntinx Dios quien siempre estuvo dispuesta a cederme un poco de su tiempo para escucharme en momentos cruciales de la carrera y, siempre con una gran sonrisa, darme su apoyo y excelentes consejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por haberme formado como un profesionalista.

Al Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Ganadería Tropical y a su director el MPA. Héctor Basurto Camberos quien me permitió la estancia en los albergues para realizar mi proyecto de tesis.

Al Dr. Mario Garduño Lugo y al MPA Biol. Germán Muñoz Córdoba por la dirección y asesoría de mi trabajo de tesis.

A la DGAPA-UNAM por haberme financiado los materiales requeridos para realizar mi trabajo, proyecto PAPIIT: IT201212.

A la granja AQUAGUADALUPE, por prestarme las jaulas para realizar mi experimento.

También a Martix y a los trabajadores del módulo acuícola que hicieron, junto con mis compañeros residentes, mi estancia muy agradable y a quienes sin duda extrañaré.

Al biólogo Manuel Valenzuela y a la Dra. Gabriela Gaxiola por aceptarme durante 45 días en la unidad de investigación en Sisal, por apoyarme con material bibliográfico y sus enseñanzas.

Y por supuesto a mis papás que gracias a su ayuda y a la educación que me proporcionaron fue que pude llegar hasta aquí.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1.0 INTRODUCCIÓN.....	10
2.0 ANTECEDENTES.....	13
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos específicos.....	15
3.0 MATERIAL Y MÉTODO.....	16
3.1 Localización Geográfica.....	16
3.2 Grupos genéticos utilizados.....	17
3.3 Instalaciones.....	18
3.4 Sistema de aireación.....	19
3.5 Medición de variables físico-químicas del agua.....	20
3.6 Características físico-químicas del agua.....	21
3.7 Obtención del volumen del biofloc.....	22
3.8 Tipos de dietas y sistema de alimentación.....	23
3.9 Muestreo de los animales.....	24
3.10 Determinación de los parámetros productivos.....	26
3.10.1 Supervivencia.....	26
3.10.2 Ganancia diaria de peso.....	26

3.10.3	Porcentaje de peso ganado.....	27
3.10.4	Tasa específica de crecimiento.....	27
3.10.5	Rendimiento de filete.....	27
3.10.6	Índice de conversión alimenticia.....	27
3.10.7	Índice de eficiencia económica del alimento.....	28
3.11	Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
4.0	RESULTADOS.....	29
5.0	DISCUSIÓN.....	32
5.1	Supervivencia.....	32
5.2	Peso final.....	32
5.3	Conversión alimenticia.....	33
5.4	Rendimiento de filete.....	34
	CONCLUSIONES.....	36
6.0	REFERENCIAS.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

- **Cuadro 1** Variables físico-químicas del agua observadas durante la fase experimental.....21
- **Cuadro 2** Supervivencia, crecimiento, rendimiento de filete, eficiencia alimenticia y económica de tilapia gris del Nilo *Oreochromis niloticus* y del Pargo-UNAM cultivados en un sistema de biofloc.....30

ÍNDICE DE FIGURAS

- **Figura 1.** Vista satelital del Módulo de Enseñanza e Investigación Acuícola.....16
- **Figura 2.** Macho de la tilapia gris del Nilo de tipo silvestre *Oreochromis niloticus*.....17
- **Figura 3.** Macho de la población sintética de tilapia Pargo-UNAM.....17
- **Figura 4.** Estanque de concreto que se utilizó en el experimento.....18
- **Figura 5.** Esquema de la ubicación aleatoria de las jaulas en el estanque experimental.....19
- **Figura 6.** Aireador.....20
- **Figura 7.** Conos de Imhoff con biofloc sedimentado.....22
- **Figura 8.** Suministro de alimento comercial a saciedad aparente.....24
- **Figura 9.** Remoción de peces para realizar los muestreos planeados.....24
- **Figura 10.** Técnica de decapitación rápida25
- **Figura 11.** Fileteado y remoción de la piel de los peces.....25

RESUMEN

VÁZQUEZ FLORES IRVING ALBERTO. Efecto del porcentaje de proteína cruda sobre el desempeño productivo entre la población sintética de tilapia: Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo *Oreochromis niloticus* bajo un sistema de cultivo en Biofloc (Dirigida por: Dr. Mario Garduño Lugo y Biol. MPA Germán Muñoz Córdova).

Se determinó la supervivencia, crecimiento y rendimiento de filete de dos grupos genéticos de tilapia: Pargo-UNAM (PU) y la tilapia gris del Nilo (NG) *Oreochromis niloticus* en un sistema de cultivo en biofloc. Se utilizó un estanque de 11 m x 11 m y 1.2 m donde se colocaron 18 jaulas de 2 m x 0.99 m y 0.45 m, en 9 se sembraron 270 PU y en las otras 9 270 NG con un peso inicial de 213.0 ± 10.0 g y 241.6 ± 12.0 g para PU y NG respectivamente. Se designaron 6 tratamientos con 3 repeticiones: el tratamiento 1 consumió únicamente biofloc (BF), el tratamiento 2 consumió alimento comercial con 25% de proteína (25) y el tratamiento 3 consumió alimento comercial con 32% de proteína (32). Al concluir el experimento la supervivencia fue superior a 95.6% en todos los tratamientos. El peso final fue similar ($P > 0.05$) para NG32 con 483.6 g, NG25 con 480.4 g, PU32 con 454.5 g y PU25 con 430.9 g, para PUBF y NGBF fue de 196.4 g y 241.7 g respectivamente, diferentes a los anteriores ($P < 0.05$) y similares entre sí ($P > 0.05$). El rendimiento de filete (RF) fue similar ($P > 0.05$) para NG32 con 32.3%, NG25 con 31.0% y PU32 con 30.0% mientras que PU25 con 29.0% fue similar a NGBF con 26.8%, NG25 y PU32. El RF más bajo fue de PUBF con 22.9%. Se concluyó que el aporte de biofloc como complemento alimenticio permitió al tratamiento 2 tener un crecimiento similar al tratamiento 3 a pesar de la diferencia en la inclusión de proteína.

ABSTRACT

VÁZQUEZ FLORES IRVING ALBERTO. Effect of the percentage of crude protein on the performance between synthetic population of tilapia: Pargo-UNAM and gray Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under a Biofloc culture system. (Directed by: Dr. Mario Garduño Lugo and Biol. MPA Germán Muñoz Córdoba).

Growth, survival and fillet rate were determined for two genetic groups of tilapia: Pargo-UNAM (PU) and Nile tilapia (NG) *Oreochromis niloticus* in a biofloc system culture. The experiment was done in a concrete pond of 11 m X 11 m and 1.2 m where 18 floating cages of 2.0 m X 0.99 m and 0.45 m were introduced, 9 cages were stock with 270 PU and the other 9 with 270 NG with an initial weight of $213.0 \text{ g} \pm 10.0 \text{ g}$ and $241.6 \text{ g} \pm 12.0 \text{ g}$ for PU and NG respectively. Six treatments with three repetitions were tested: fish from treatment 1 were fed only with pond biofloc (BF), treatment 2 received a commercial diet with 25% protein (25) and treatment 3 received a commercial diet with 32% protein (32). At the end of the experiment the survival rate was higher than 95.6% in all treatments ($P > 0.05$). The final weight among fish was similar ($P > 0.05$) for NG32 with 483.6 g, NG25 with 480.4 g, PU32 with 454.5 g and PU25 with 430.9 g. while PUBF and NGBF had 196.4 g and 241.7 g respectively, different from the others ($P < 0.05$) and similar between them ($P > 0.05$). The fillet rate (RF) was similar ($P > 0.05$) for NG32 with 32.3%, NG25 with 31% and PU32 with 30%, while PU25% with 29.0% had a similar ($P > 0.05$) RF to NGBF with 26.8%, NG25 and PU32. The lowest RF was 22.9% for PUBF. It was concluded that the input of biofloc as a complementary food source allowed treatment 2 to have a similar growth as treatment 3 despite the difference in protein inclusion.

1.0 INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción mundial de la pesca de captura en altamar ha descendido debido a la sobreexplotación de las poblaciones designadas a la pesca, teniendo efectos negativos en la producción de pescado, por tanto, de todos los productos derivados de éste como la harina y aceite de pescado,¹ que son los principales ingredientes de los alimentos comerciales usados en la producción acuícola. La escasez de producción de la harina y aceite de pescado a nivel mundial junto con el aumento de su demanda no solo por la industria acuícola sino también por la ganadería y la avicultura ha incrementado aún más sus precios, debido a ello se han realizado estudios donde se busca encontrar fuentes alternativas de proteína con la finalidad de sustituir parcial o totalmente el uso de la harina y aceite de pescado, éstas pueden ser de origen vegetal como pastas y harinas de soya, girasol, algodón, linaza;² subproductos de origen animal como harina de sangre, harina de pluma hidrolizada, harina de carne y hueso, gallinaza o incluso plantas acuáticas como la *Lemna* spp. o *Hydrodictyon reticulatum*.³ Además de estas alternativas, existe otra que ha tomado importancia en los últimos 20 años debido a que provee a las especies en el cultivo, ya sea camarón o tilapia, de una fuente constante de alimento, esta opción es llamada Biofloc Technology (BFT).

Originalmente la tecnología de biofloc fue creada pensando en tener un sistema sin recambio de agua para la producción de tilapia y camarón, el cual sería utilizado principalmente en zonas en las cuales el agua fuera un recurso limitado y/o en las que estuviera prohibido el desecho del agua de las granjas acuícolas hacia los cuerpos de agua debido a la posible transmisión de agentes patógenos a la fauna silvestre y la diseminación a otras granjas. Los estudios para encontrar las aplicaciones de este sistema para la

producción de camarón y tilapia, han demostrado que los microorganismos del agua asimilan el exceso de nitrógeno a través de procesos de nitrificación y con esto su biomasa aumenta.⁴

La acuicultura basada en un sistema de biofloc consiste en promover la formación de conglomerados de microorganismos acuáticos tales como microalgas, protozoarios, rotíferos y bacterias en un sistema sin recambio de agua, los cuales requieren grandes cantidades de nutrientes como el nitrógeno generado por los desechos de los peces y el carbono proveniente del alimento sobrante en forma de partículas suspendidas o añadido al agua en forma de melaza o harina de trigo,⁵ y al promover su desarrollo, éstos microorganismos formarán conglomerados que llevan el nombre de biofloc.

Existen muchos factores que contribuyen a la formación y estructuración del biofloc como lo son: a) la intensidad del movimiento de la columna de agua generada por los aireadores, dependiendo de su potencia se tendrá un mayor o menor tamaño de partícula; b) el nivel de oxígeno disuelto, mientras sea elevado se favorecerá la proliferación de las bacterias formadoras de flóculos y si el oxígeno disuelto es bajo las bacterias filamentosas superarán en número a las formadoras de flóculo y por lo tanto se obtendrán flóculos muy pequeños e incapaces de sedimentarse; c) la fuente de carbono orgánico que ayuda a los procesos metabólicos de los microorganismos y su crecimiento, cabe destacar que éstos procesos metabólicos disminuyen el nivel de oxígeno disuelto; d) la temperatura determina la capacidad de los microorganismos de mantener unido el flóculo, con las bajas temperaturas disminuye la actividad microbiana en los flóculos y por lo tanto se desintegran, al elevar la temperatura aumenta la actividad microbiana y los flóculos se mantienen unidos.⁸

Para un sistema acuícola el biofloc trae diversos beneficios: 1.- Provee una producción financieramente sustentable con una elevada biomasa en comparación con un sistema tradicional en agua clara, ya que los conglomerados que lo forman sirven de alimento a la tilapia al filtrarlo por sus branquiespinas adhiriéndolas a la mucosa que las rodea, formando un bolo que posteriormente es ingerido por el pez, pasando a la faringe donde es mecánicamente desintegrado por los dientes faríngeos;^{6, 7} 2.- Mejora la bioseguridad del sistema ante la introducción de patógenos debido a que los microorganismos del cultivo compiten con ellos; 3.- Es amigable con el medio ambiente al no ser necesaria la descarga del agua de desecho, ya que los microorganismos reciclan los desechos de los peces y los asimilan para su crecimiento; 4.- Puede ser utilizada en estanques de concreto y “raceways” lo cual permite la intensificación del sistema.

La finalidad del presente estudio fue determinar el efecto del porcentaje de proteína cruda sobre el desempeño productivo entre la población sintética de tilapia: Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo *Oreochromis niloticus* bajo un sistema de cultivo en Biofloc.

2.0 ANTECEDENTES

Con la finalidad de conocer más a profundidad los beneficios que aporta el biofloc a la producción de tilapia se han realizado estudios donde se busca reducir los costos de alimentación y los recambios de agua; y aumentar la densidad de siembra de los estanques.

Azim y colaboradores realizaron un estudio en donde evaluaron el aporte del biofloc en el crecimiento de la tilapia gris del Nilo, su bienestar en este sistema y los efectos de la proteína cruda del alimento en el crecimiento de la tilapia al ser complementada con biofloc. Al final del experimento reportaron una supervivencia del 100% en todos los tratamientos; y los tratamientos de biofloc contribuyeron con una ganancia de peso 44-46% mayor que aquellos en el control de agua clara lo cual confirma que la tilapia del Nilo utiliza el biofloc como alimento.⁹

Crab y colaboradores sembraron juveniles de 100 g y 50 g de tilapia híbrida *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus* en estanques dentro de invernaderos con el objetivo de desarrollar un método sustentable para su crianza en periodo de invierno en donde el biofloc aportaría al sistema el alimento, así como de un ambiente que conservara mejor la temperatura del agua. Reportaron supervivencias de $94 \pm 6\%$ y $80 \pm 4\%$, y ganancias diarias de peso de 29 ± 0.03 y 0.27 ± 0.02 g para juveniles de 100 g y 50 g respectivamente.

10

Xu y colaboradores realizaron un experimento con la finalidad de incrementar la producción de camarón y evaluar su crecimiento en un sistema sin recambio de agua (biofloc) al alimentarse con diferentes niveles de proteína. Encontraron una reducción del

índice de conversión alimenticia con el incremento del porcentaje de inclusión de proteína en las dietas y un mejor crecimiento en los cuatro tratamientos con biofloc en comparación con el control. El promedio de supervivencia en todos sus tratamientos fue mayor de 85% sin diferencias significativas ($P>0.05$).¹¹

Wasielesky y colaboradores realizaron un estudio con la finalidad de evaluar la contribución del biofloc en diferentes concentraciones (agua clara, biofloc y su combinación 50:50 AC:biofloc) sobre la supervivencia, crecimiento y conversión alimenticia de *L. vannamei* alimentados con dietas de diferentes niveles de proteína (25% y 35%). En su estudio obtuvieron una supervivencia superior al 98.2 % en todos los tratamientos que recibieron alimento comercial mientras que en los tratamientos que no lo recibieron la supervivencia fue menor al 76%. En cuanto al crecimiento todos los tratamientos alimentados con 35% de proteína obtuvieron un crecimiento superior a los alimentados con 25% de proteína, siendo el tratamiento de biofloc más 35% de proteína el de mayor crecimiento.¹²

HIPÓTESIS

El desempeño productivo de dos grupos genéticos de tilapia al suministrar alimentos balanceados con 25% y 32% de proteína cruda será similar, al cultivarse en un sistema de biofloc.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes porcentajes de proteína cruda en el alimento sobre el desempeño productivo del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo cultivadas en un sistema de biofloc.

Objetivos específicos

- Comparar el crecimiento del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo cultivadas en un sistema de biofloc con diferentes porcentajes de proteína cruda en el alimento.
- Evaluar el rendimiento de los filetes de Pargo-UNAM y tilapia gris del Nilo cultivadas en un sistema de biofloc con diferentes porcentajes de proteína cruda en el alimento.
- Evaluar la eficiencia alimenticia del Pargo-UNAM y la tilapia gris del Nilo cultivadas en un sistema de biofloc con diferentes porcentajes de proteína cruda en el alimento.

3.0 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Localización geográfica

El presente experimento se llevó a cabo en el Módulo de Enseñanza e Investigación Acuícola (MEIA) (**Figura 1**) ubicado en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) localizado en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz, en el paralelo $20^{\circ}02'07.26''$ de latitud norte y el meridiano $97^{\circ}06.22'22.84''$ de longitud oeste con una altitud de 118 msnm. Tiene un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y una precipitación pluvial anual de 1,900-3,600 mm.¹³



Figura 1. Vista satelital del Módulo de Enseñanza e Investigación Acuícola.

3.2 Grupos genéticos utilizados

Se utilizaron 270 machos de tilapia gris del Nilo de tipo silvestre¹⁴ (NG) de 241.6 ± 18.4 g de peso (**Figura 2**) y 270 machos de la población sintética de tilapia roja, Pargo-UNAM (PU) de 213.5 ± 15.9 g de peso (**Figura 3**).



Figura 2. Macho de la tilapia gris del Nilo de tipo silvestre (*Oreochromis niloticus*).



Figura 3. Macho de la población sintética de tilapia Pargo-UNAM.

3.3 Instalaciones

Los peces fueron sembrados en 18 jaulas de 2.0 m x 0.99 m y 0.45 m de profundidad, de malla plástica de 5.0 mm de luz a una densidad de 30 peces por 0.9 m³, 9 de las cuales contenían Pargo-UNAM y las otras 9 tilapia gris del Nilo, colocadas en los flancos izquierdo y derecho dentro de un estanque de concreto de 11.0 x 11.0 m y 1.2 m de profundidad, con un volumen de 145.2 m³ el cual se llenó con agua de pozo profundo, sin recambio de agua, únicamente se reponía el agua perdida por evaporación cada 10 días (**Figura 4**).



Figura 4. Estanque de concreto utilizado en el experimento.

La colocación de las jaulas en el estanque fue completamente al azar (**Figura 5**). Se designaron 3 tratamientos con 3 repeticiones para los grupos genéticos de tilapia Pargo-UNAM y tilapia gris del Nilo. El tratamiento 1 consumió únicamente biofloc (BF), el tratamiento 2 consumió biofloc más alimento comercial con 25% de proteína (25) y el tratamiento 3 consumió biofloc más alimento comercial con 32% de proteína (32).

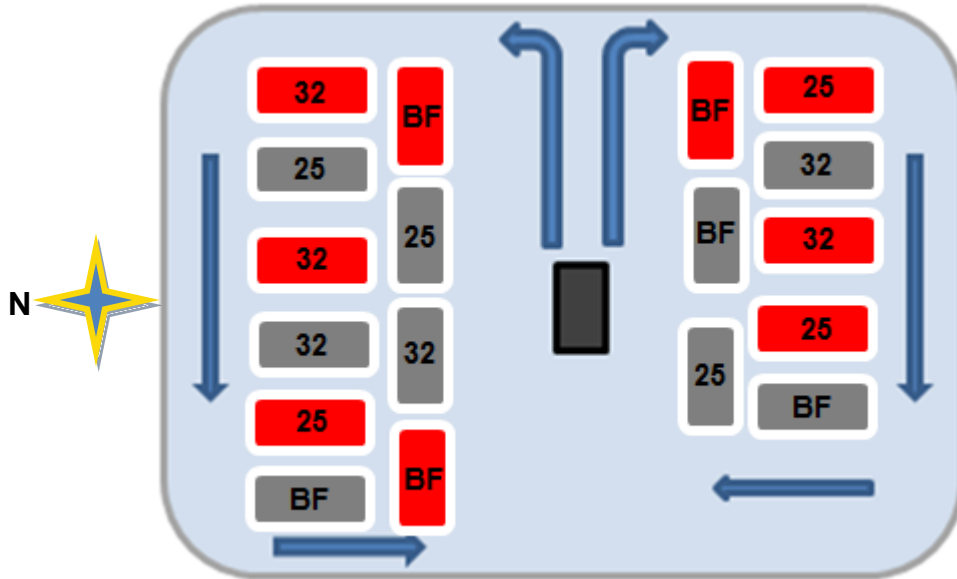


Figura 5. Esquema de la ubicación aleatoria de las jaulas en el estanque experimental. Los cuadros rojos indican las jaulas que contenían Pargo-UNAM mientras que las grises indican las jaulas con tilapia gris del Nilo. La abreviatura en su interior indica el tratamiento que recibió la jaula.

3.4 Sistema de aireación

Se instaló un aireador de hélice (AIRE O₂ ®) de dos caballos de fuerza para proporcionar aireación, movimiento a la columna de agua y mantener en suspensión las partículas de biofloc, el aireador se colocó en el centro del estanque dirigiendo la corriente de agua y aireación hacia la pared oriental de manera que rodeara todo el estanque y que ninguna jaula la recibiera directamente.



Figura 6. Aireador.

3.5 Medición de variables físico-químicas del agua.

Las variables físico-químicas del agua como oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno (%OD) y temperatura en grados centígrados fueron medidos diariamente a las 07:00 y 15:00 h detrás del aireador (zona con menor concentración de oxígeno) con un oxímetro digital YSI® 550a, el pH fue monitoreado diariamente a las 07:05 y 15:05 h con un potenciómetro digital Wincom U.S.A. en zonas al azar del estanque; para las pruebas colorimétricas se tomó una muestra de agua de una parte aleatoria del estanque suficiente para poder realizar todas las pruebas, el amoníaco (NH_3), nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) fueron medidos cada tres días a las 07:10 y 15:10 h con reactivos colorimétricos Hagen® al igual que la dureza total (GH) y dureza específica (KH) los cuales se determinaron semanalmente a las 07:10 y 15:10 h. La transparencia (TRS) fue monitoreada diariamente a las 12:00 h con un disco de Secchi artesanal en zonas al azar del estanque.

3.6 Características físico-químicas del agua

En el **Cuadro 1** se muestran los mínimos, máximos y promedios de los valores observados.

Cuadro 1

VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA OBSERVADAS DURANTE LA FASE EXPERIMENTAL.

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio \pm D.E.	Rango óptimo
Oxígeno (mg/l)	5.40	8.70	6.87 ± 0.72	> 4
Temperatura (°C)	20.3	30.9	27.2 ± 2.39	25–35
pH ^a	6.5	7.7	7.3 ± 0.3	7-8
Amonio (mg/l)	0	3.7	0.48 ± 0.61	< 2.0
Nitritos (mg/l)	0.3	3.3	1.42 ± 0.80	< 0.1
Nitratos (mg/l)	5	110	54.2 ± 42.3	< 20
GH ^b (mg/l)	60	200	92.3 ± 27.7	50-350
KH ^c (mg/l)	20	80	40.3 ± 12.8	100-200
Transparencia (cm)	15	40	21.8 ± 5.20	35-45

^a Potencial de hidrógeno. ^b Dureza general. ^c Alcalinidad

3.7 Obtención del volumen del biofloc.

Se determinó el volumen del biofloc suspendido en el agua diariamente a las 12:00 h. mediante el uso de cuatro conos de Imhoff graduados de un litro de capacidad que permiten una fácil visualización de los sólidos sedimentables y su medición (**Figura 6**).¹⁵ Con cada cono se tomó una muestra de agua de cada esquina del estanque sumergiendo el cono boca abajo 20 cm bajo la superficie del agua y posteriormente volteándolo para que se llenara.¹⁶ Durante el experimento se obtuvo un volumen promedio de 4.5 ml/L. Posteriormente se determinó la composición química proximal de los flóculos de acuerdo a las técnicas estándar para el análisis de alimentos de los animales de la AOAC ¹⁷ (1987) la cual mostró que el biofloc del estanque contenía un 23% de proteína cruda.



Figura 7. Conos de Imhoff con biofloc sedimentado.

Para proporcionar a los microorganismos nitrificantes una fuente de carbono para sus procesos metabólicos, en especial para la transformación de los compuestos nitrogenados (amoníaco, nitritos y nitratos) derivados la descomposición orgánica del metabolismo de

los peces a proteína de origen bacteriano se utilizó la técnica descrita por Avnimelech ¹⁸ y De Souza ¹⁹ agregando el 30% del peso del volumen de alimento suministrado en melaza de caña de azúcar (a granel).

3.8 Tipos de dietas y sistema de alimentación

La marca de alimento comercial que se utilizó fue El Pedregal Silver Cup de 5.5 mm con 32% y 25% de proteína cruda, a los cuales se les determinó la composición química proximal ¹⁷ para corroborar el porcentaje de proteína marcado en la etiqueta.

La cantidad de alimento que se proporcionó a los peces fue a saciedad aparente ²⁰ (**Figura 7**), diariamente en un horario de: 08:00, 12:00 y 16:00 h. Este sistema de alimentación consistió en proporcionar a los peces una cantidad de alimento que consuman en su totalidad, repitiendo este procedimiento hasta que los peces ya no manifestaran más el comportamiento alimenticio caracterizado por la presencia invariable de pellets en la superficie. Para tener un registro del consumo de alimento diariamente, se pesaban 500 g de alimento para cada jaula en un frasco de plástico, al terminar de proporcionar la última ración, se pesó el alimento no consumido de cada frasco para poder calcular el consumo diario de los peces de cada unidad experimental.



Figura 8. Suministro de alimento comercial a sociedad aparente.

3.9 Muestreo de los animales

Cada 30 días se determinó la biomasa total en kg y se contó el total de individuos de cada tratamiento (Figura 9).



Figura 9. Remoción de peces para realizar los muestreos planeados.

El experimento concluyó a los 90 días; de cada tratamiento se tomaron 10 peces al azar y se obtuvo su peso individual, posteriormente se sacrificaron por el método de decapitación

rápida haciendo una incisión en la base de la cabeza (Figura 10) para obtener los filetes sin piel de cada pez de acuerdo a la técnica descrita por Garduño (Figura 11).²¹



Figura 10. Técnica de decapitación rápida.



Figura 11. Fileteado y remoción de la piel de los peces.

3.10 Determinación de las variables productivas

Las variables evaluadas al final del experimento para cada tratamiento y grupos genéticos fueron los siguientes: supervivencia, peso final, ganancia diaria de peso, porcentaje de peso ganado, tasa específica de crecimiento, rendimiento de filete, índice de conversión alimenticia e índice de eficiencia económica del alimento, los cuales se obtuvieron con las siguientes fórmulas:

3.10.1 Supervivencia

Estima el porcentaje de peces que vivieron hasta el final del experimento o cada etapa y al final de estudio.

$$\text{SUPERVIVENCIA} = \frac{\text{Número de peces al término del experimento}}{\text{Número de peces al inicio del experimento}} \times 100$$

3.10.2 Ganancia diaria de peso

Es la cantidad en gramos aumentada cada día por individuo.

$$\text{GDP} = (P_f - P_i) / N_{\text{días}}$$

$$\text{GANACIA DIARIA DE PESO} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Número de días que duro el experimento}}$$

3.10.3 Porcentaje de peso ganado

Estima el porcentaje de peso extra obtenido al final del experimento, respecto al peso inicial.

$$\text{PORCENTAJE DE PESO GANADO} = \frac{100 (\text{Peso final} - \text{Peso inicial})}{\text{Peso inicial}}$$

3.10.4 Tasa específica de crecimiento

Proporciona el porcentaje del crecimiento por pez al día.

$$\text{TASA ESPECIFICA DE CRECIMIENTO} = \frac{(\text{Logaritmo natural del peso final} - \text{Logaritmo natural del peso inicial}) \times 100}{\text{Número de días que duro el experimento}}$$

3.10.5 Rendimiento de filete

Es el porcentaje del peso del pez correspondiente al filete.

$$\text{RENDIMIENTO DE FILETE} = \frac{\text{Peso total del filete}}{\text{Peso total del pescado}} \times 100$$

3.10.6 Índice de conversión alimenticia

Es el alimento usado para producir un kilogramo de pescado

$$\text{INDICE DE CONVERSION ALIMENTICIA} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Peso Ganado}}$$

3.10.7 Índice de eficiencia económica del alimento (IEEA)

Es un indicador del beneficio económico al vender una unidad de pescado sobre el costo de su producción.

$$\text{IEEA} = \frac{\text{Precio del pescado vendido}}{\text{Costo del alimento consumido}}$$

3.11 Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un análisis de la varianza para un diseño completamente al azar para tres tratamientos, dados por: dos grupos genéticos, tres tipos de dietas y tres repeticiones. El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_j + e_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = valor fenotípico del tratamiento (j) en la unidad experimental (i)

μ = media poblacional común a todas las observaciones

t_j = efecto del tratamiento

e_{ij} = efecto aleatorio del error de la unidad experimental (i) y del tratamiento (j) con distribución N (0,0²)

Las medias de las variables observadas en los tratamientos: supervivencia, peso inicial, peso final, ganancia diaria de peso, porcentaje de peso ganado, tasa específica de crecimiento, rendimiento de filete, índice de conversión alimenticia e índice de eficiencia económica se compararon con la prueba múltiple de medias de Tukey²² con un nivel de probabilidad del 95% ($P < 0.05$) mediante el empleo del Statistical Analysis System.²³ Los errores estándar (EE) se calcularon a partir del cuadrado medio del error experimental. Las variables expresadas en porcentaje (%) se normalizaron mediante el empleo del arcoseno de acuerdo con Sokal y Rolf.²⁴

4.0 RESULTADOS

En el **Cuadro 2** se presenta la comparación de las variables productivas estudiadas del periodo experimental de 90 días. La supervivencia fue cercana al 100 % en todos los tratamientos, los cuales fueron similares entre sí ($P>0.05$). El peso final presentó diferencias significativas ($P<0.05$), los tratamientos: PU25, PU32, NG25 y NG32, presentaron pesos finales similares entre sí ($P>0.05$) y a su vez mayores a PUBF y NGBF. En cuanto al GDP, PPG y TEC, los pesos de los animales complementados con alimento balanceado fueron mayores en relación a los alimentados únicamente con biofloc ($P<0.05$). El mayor rendimiento de filete lo presentaron los peces de los tratamientos NG32, NG25 y PU32 que además fueron similares entre sí ($P>0.05$). PUBF presentó el menor rendimiento de filete de todos los tratamientos. La eficiencia alimenticia, evaluada mediante el ICA, fue similar ($P>0.05$) entre los tratamientos con ambos grupos genéticos que fueron alimentados. Los peces que consumieron biofloc no se incluyeron en el análisis debido a que no se les proporcionó alimento artificial y no se midió el consumo del alimento natural. El IEEA de los animales que comieron alimento fue similar ($P>0.05$).

Cuadro 2

Variables productivas de la tilapia gris del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y de Pargo-UNAM cultivados en un sistema de biofloc.

Valores Promedio ¹	PUBF ²	NGBF ³	PU25 ⁴	NG25 ⁵	PU32 ⁶	NG32 ⁷	Pr > F	EE ⁸
Supervivencia (%)	99.1 ^A	95.6 ^A	99.8 ^A	99.2 ^A	99.8 ^A	98.9 ^A	0.42	3.24
Peso Inicial (g)	218.5 ^A	250.4 ^A	213.5 ^A	234.9 ^A	208.7 ^A	237.9 ^A	0.1140	15.2
Peso Final (g)	196.40 ^B	241.7 ^B	430.9 ^A	480.4 ^A	454.5 ^A	483.6 ^A	<0.0001	24.3
GDP (g) ⁹	-0.25 ^C	-0.08 ^C	2.02 ^B	2.46 ^{AB}	2.54 ^{AB}	2.66 ^A	<0.0001	0.2
PPG (%) ¹⁰	-10.1 ^B	-3.3 ^B	101.8 ^A	105.0 ^A	118.9 ^A	103.5 ^A	<0.0001	11.6
TEC ¹¹	-0.12 ^B	-0.07 ^B	0.70 ^A	0.70 ^A	0.80 ^A	0.70 ^A	<0.0001	0.06
RF (%) ¹²	22.9 ^D	26.8 ^C	29.01 ^{BC}	31.06 ^{AB}	30.04 ^{AB}	32.3 ^A	<0.0001	0.5
ICA ¹³	---	---	3.03 ^A	3.23 ^A	2.64 ^A	2.58 ^A	0.7134	0.64
IEEA ¹⁴	---	---	1.56 ^A	1.65 ^A	1.68 ^A	1.67 ^A	0.7302	0.12

¹Valores en la misma fila con diferente superíndice son diferentes (P<0.05). ² Pargo-UNAM tratamiento biofloc. ³ Tilapia gris del Nilo tratamiento biofloc. ⁴ Pargo-UNAM tratamiento con alimento con 25% de proteína. ⁵ Tilapia gris del Nilo tratamiento con alimento con 25% de proteína. ⁶ Pargo-UNAM tratamiento con alimento con 32% de proteína. ⁷ Tilapia gris del Nilo tratamiento con alimento con 32% de proteína. ⁸ Error estándar. ⁹ Ganancia diaria de peso. ¹⁰ Porcentaje de peso ganado. ¹¹ Tasa específica de crecimiento. ¹² Rendimiento de filete. ¹³ Índice de conversión alimenticia ¹⁴ Índice de eficiencia económica del alimento.

5.0 DISCUSIÓN

5.1 Supervivencia

En el presente trabajo se obtuvo una supervivencia de 99.6% para el Pargo-UNAM y de 97.4% en la tilapia gris del Nilo. En cuanto a otros cultivos de tilapia bajo un sistema de biofloc, Azim (2008) y Crab (2009) reportaron supervivencias de 100% y 94% respectivamente; Xu (2012) y Wasielesky (2006) presentaron supervivencias de 85% y 87% respectivamente en cultivos de camarón.

Las supervivencias elevadas en tilapia, cuando se ha sustituido parte de su dieta por otras materias primas, se da cuando esas materias carecen de compuestos antinutricionales o tóxicos que dañan la salud de los peces, por lo que se asume que el biofloc carece de estos compuestos.

Crab (2009) discute en su experimento que el biofloc puede elevar la supervivencia de los peces al mantener una temperatura adecuada y buena calidad del agua en estanques dentro de invernaderos. No obstante en el presente estudio hubo variaciones significativas en la temperatura del agua algunos días y sin embargo se obtuvieron supervivencias cercanas al 100%, por lo tanto se asume que la elevada supervivencia se debe principalmente a la buena calidad del agua.

5.2 Peso final

Al finalizar los 90 días de engorda los tratamientos que recibieron alimento comercial PU25, PU32, NG25 y NG32 tuvieron pesos finales similares entre sí, datos similares son los reportados por Azim (2008) en donde los tratamientos alimentados con 35% y 23% de proteína bajo un sistema de biofloc tuvieron un peso similar entre sí al término de su experimento.

Es posible que el biofloc haya complementado la nutrición de los peces alimentados con menor porcentaje de inclusión de proteína para que pudiesen obtener un crecimiento similar a los alimentados con un porcentaje mayor. Xu (2012) menciona que el crecimiento del camarón y la utilización del alimento comercial mejora cuando existen bioflocs presentes en el cultivo, esto se vería reflejado en un costo de alimentación menor.

Los tratamientos alimentados únicamente con biofloc (PUBF y NGBF) perdieron el 10% y 3% de su peso inicial respectivamente, lo que sugiere, que el biofloc, por sí solo, aparentemente fue insuficiente en el presente experimento donde se obtuvo un volumen promedio de 4.5 ml/L; Avnimelech (2000) menciona que el volumen del biofloc debe ser de 50 ml/L, por lo tanto, la baja concentración del volumen de biofloc puede estar relacionada con la disminución de peso de PUBF y NGBF.

El que la tilapia gris del Nilo perdiera menos peso en relación con Pargo-UNAM puede ser atribuido a que probablemente la tilapia gris del Nilo tiene más capacidad para filtrar el alimento natural tal y como Hephher y Pruginin (1988) mencionan, ya que es considerada una especie omnívora eficiente en el aprovechamiento del fitoplancton e incluso de algunas algas verde-azules que por lo común no son digeridas por otros peces.

5.3 Conversión alimenticia

Los índices de conversión alimenticia (ICA) presentados fueron de 2.8 y 2.9 para Pargo-UNAM y tilapia gris del Nilo respectivamente. En el caso de PUBF y NGBF no se pudo determinar la cantidad de alimento natural que éstos filtraban, por lo que no se cuenta con un índice de conversión alimenticia. Azim (2008) reporta un ICA de 3.5 en los tratamientos con biofloc mientras que Crab (2009) reporta un ICA de 1.9.

El ICA de los cultivos realizados bajo un sistema de biofloc es mayor en comparación con el sistema tradicional en agua clara, esto podría deberse a que los peces puedan tener dificultades al observar el alimento en la superficie dependiendo del volumen del biofloc presente en el agua. Dentro de los estudios mencionados en los que se cultivó tilapia bajo un sistema de biofloc, Azim (2008) fue el que reportó la mayor conversión alimenticia y presentó un volumen de biofloc de 500 ml/L razón por la cual concluye que aunque el biofloc contribuye de manera significativa al crecimiento de la tilapia, el ICA es poco viable comercialmente, Crab (2009) determinó un volumen promedio de 350 ml/L de biofloc con un menor ICA.

Sin embargo el volumen de biofloc y el ICA del presente experimento no concuerdan con esta teoría ya que, aunque si se obtuvo un ICA elevado, el volumen del biofloc (4.5 ml/L) fue significativamente menor en comparación al obtenido por Azim (2008) y Crab (2009), por lo que los peces no presentaron dificultades para ver el alimento en la superficie, por lo tanto, se asume que el ICA elevado en este experimento se deba al comportamiento que presentaron los peces, ya que al comer movían la superficie del agua con tal fuerza que arrojaban el alimento fuera de las jaulas.

5.4 Rendimiento de filete

Timmons ³² y colaboradores indican que un rendimiento superior al 30% es aceptable para las tilapias. En el presente trabajo se obtuvieron rendimientos de filete de 30%, 31.1% y 32.3% en los tratamientos PU32, NG25 y NG32 respectivamente los cuales entran en este rango, mientras que PU25, NGBF y PUBF obtuvieron un rendimiento de 29%, 26.8% y 22.9% respectivamente. Peña (2009) Ramírez (2009) y Villarue (2010) reportan rendimientos de filete superiores al 33% tanto en el Pargo-UNAM como en la tilapia gris del Nilo al ser alimentados con un alimento comercial con 32% de proteína cruda. Se asume que la alimentación de los peces con alimento comercial fue suficiente para que pudieran alcanzar el porcentaje aceptable de filete, no siendo el caso para los peces en el tratamiento 1, por lo cual se asume que el biofloc por sí solo no mejoró el rendimiento de filete de los peces bajo estas condiciones experimentales.

CONCLUSIONES

1.- El aporte del biofloc como complemento alimenticio permitió un crecimiento similar en la tilapia gris del Nilo y el Pargo-UNAM a pesar de la diferencia de 7 puntos porcentuales en la alimentación de los tratamientos sin que influyera negativamente sobre el crecimiento de los grupos genéticos.

2.- El rendimiento de filete de los grupos genéticos: tilapia gris del Nilo y Pargo-UNAM no se vio afectado de manera negativa por la reducción en el nivel de proteína de la dieta.

3.- El biofloc por sí solo no logró sustituir al 100% del uso de alimento comercial en el cultivo de tilapia gris del Nilo y de Pargo-UNAM bajo las condiciones en las que se presentó el experimento.

4.- El biofloc que consumieron los peces, no afectó de manera negativa la supervivencia, por lo que se considera un ambiente inofensivo para los grupos genéticos: tilapia del Nilo y el Pargo-UNAM.

6.0 REFERENCIAS

- 1) Departamento de la Pesca y la Acuicultura de la FAO. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf>. [Accedido el 20 de Mayo del 2013].
- 2) El-Saidy, D. y Gaber, M. (2003). Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research*, 34, 1119-1127.
- 3) El-Sayed, A.F. (1999). Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. *Aquaculture*, 179, 149-168.
- 4) Avnimelech, Y. (1993). Control of microbial activity in aquaculture systems: Active suspension ponds. *World Aquaculture*, 34, 19–21.
- 5) Browdy, C.; Ray, A.; Leffler, J.; Avnimelech, Y. (2012). *Biofloc-based Aquaculture Systems*. John Wiley & Sons, Inc.
- 6) FAO. (2005). Programa de información de especies acuáticas *Oreochromis niloticus*. [En línea] Disponible en: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es. [Accedido el: 10 de Febrero del 2014].

- 7) Saavedra, M.A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua.
- 8) De Schryver, P.; Crab, R.; Defoirdt, T.; Boon, N. y Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277, 125-137.
- 9) Azim, M. y Little, D. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283, 29-35.
- 10) Crab, R.; Kochva, M.; Verstraete, W. y Avnimelech Y. (2009). Bioflocs technology in over-wintering of tilapia. *Aquacultural engineering*, 40, 105-112.
- 11) Xu, W.; Pan, L.; Zhao, D. y Huang, J. (2012). Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture*, 350-353, 147-153.
- 12) Wasielesky, W.; Atwood, H.; Stokes, A. y Browdy, C. (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258, 396-403.
- 13) SEFIPLAN. (2013). Cuadernillos municipales 2013: Tlapacoyan, Sistema de Información Municipal. [En línea] Disponible en: <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/files/2013/04/Tlapacoyan.pdf>. [Accedido el: 13 de Mayo del 2013].
- 14) Mc Andrew, B.J.; Roubal, F.R.; Roberts, R.J.; Bullock, A.M. y Mc Ewen, I. (1988). The genetics and histology of red, blond and associated color variants in *Oreochromis niloticus*. *Genetica*, 76, 127-137.

- 15) Torres, J.A.; Tello, M.E. y Ostos, S. (2008). Desarrollo y optimización de una metodología analítica para la determinación de sedimento en bebida de mesa derivada del cacao. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farmc.*, 37 (2), 177-190.
- 16) Avnimelech, Y. y Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ^{15}N tracing. *Acuaculture*, 287, 163-168.
- 17) AOAC. (1984). *Official Methods of Analysis*. Arlington, U.S.A.: Association of Official Analytical Chemists.
- 18) Avnimelech, Y. (1999). Carbon / nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Acuaculture*, 176, 227-235.
- 19) De Souza, M.D.; Medeiros, S.S.; Romano, L.A.; Wasielesky, J.W. y Cupertino-Ballester, E.L. (2012). Use of molasses as a carbon source during the nursery rearing of *Farfantepenaeus brasiliensis* (Laitelle, 1817) in a Biofloc technology system. *Aquaculture Research*, 1-8.
- 20) Galindo, A. 2011. Rasgos productivos de una población sintética de tilapia roja Pargo-UNAM segregada en tres grupos que presentan diferencia en la velocidad de crecimiento al término de la inversión sexual. Tesis de licenciatura. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 21) Muñoz-Córdoba, G. y Garduño-Lugo, M. 2003. Mejoramiento Genético en Tilapia. Sistemas de cruzamiento y mecanismos genéticos en la determinación del color. Tesis de doctorado. México, Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México.

- 22) Steel, G.D.R.; Torrie, H.J. (1986). Bioestadística Principios y Procedimientos. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- 23) SAS Institute. (1985). SAS User's Guide: Statistics, 5th edn. NC, USA: SAS Institute.
- 24) Sokal, R.; Rolf, J. (1996). Biometry. W.H. Freeman & Company.
- 25) Peña, C. (2009). Comparación de crecimiento y rendimiento de filete entre una población sintética de tilapia roja, El "Pargo-UNAM", la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y un híbrido rojo en Medellín de Bravo, Veracruz. Tesis de licenciatura. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 26) Ramírez, J. (2009). Comparación del desempeño productivo de la población sintética de tilapia roja Pargo-UNAM y la tilapia del Nilo gris bajo condiciones de cultivo intensivo. Tesis de licenciatura. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 27) Villarue, H. (2010). Comparación del desempeño productivo entre las tilapias rojas: Pargo UNAM y Red Jumbo, y la tilapia del Nilo gris o de tipo silvestre, bajo condiciones de cultivo intensivo en la zona centro-norte del estado de Veracruz. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 28) Olvera-Novoa, M.A.; Campos, G.S.; Sabido, G.M. y Martínez-Palacios, C.A. (1990). The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 90, 291-302.
- 29) Garduño-lugo, M.; Olvera-novoa, M.A. (2008). Potential of the use of peanut (*Arachis hypogaea*) leaf meal as a partial replacement for fish meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 39, 1299-1362

30) Avnimelech, Y. (2000). Tilapia production using biofloc technology (BFT). Israel, Haifa: Dept. of Civil & Environmental Eng, Technion, Israel Inst. Of Technology.

31) Hopher B, Pruginin Y. 1988. Cultivo de peces comerciales. Basado en las Experiencias de las Granjas Piscícolas de Israel. México ,D.F.: Limusa.

32) Timmons MB, Ebeling JM, Wheaton FM, Summerfelt ST, Vinci B. Recirculating Aquaculture Systems (RAS). 2nd Edition, USDA, USA. 760 p.