



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**Reciclaje de nutrientes en un sistema Biofloc para Tilapia
Oreochromis niloticus (Teleostei) aplicando una red trófica
asistida: Evaluación del cultivo de los crustáceos branquiópodos
Triops sp. (Notostraca), *Thamnocephalus mexicanus* y
Streptocephalus dorotheae (Anostraca)**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Acuicultura)

P r e s e n t a

Víctor Hugo Fuentes Andraca

La Paz, B.C.S., diciembre 2018.

CONFORMACIÓN DE COMITÉS

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Director de Tesis

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Director de Tesis

Dr. Rafael Campos Ramos.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Co-Tutor de Tesis

COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez

Dr. Rafael Campos Ramos

JURADO EXÁMEN DE GRADO

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez

Dr. Rafael Campos Ramos

SUPLENTE

Dr. Gopal Murugan

Resumen

El sistema Biofloc (BFT) permite cultivar Tilapia en altas densidades y sin recambio de agua. Sin embargo, el elevado costo del alimento estimula la investigación conducente a mejorar la tasa de conversión alimenticia (FCR). En el sistema BFT es crítico mantener una aireación vigorosa y una relación carbono:nitrógeno no menos de 10:1, con lo cual se promueve la formación de flóculos y el establecimiento de comunidades microbianas y microfauna. En este medio de cultivo sucede el reciclaje de nutrientes y la disminución de desechos tóxicos como el amonio. La presente investigación tiene como meta incrementar el reciclaje de nutrientes en el sistema BFT como una estrategia para mejorar la FCR. Se infiere que los bioflóculos pueden ser reciclados tróficamente por crustáceos filtradores típicos de sistemas argilotróficos. Los objetivos se dividieron en dos etapas; la primera etapa consistió en la estandarización de (1) un sistema de recirculación RAS y de (2) un sistema BFT para el mantenimiento y cultivo de Tilapia. Los objetivos de la segunda etapa fueron estudiar el desempeño de cultivo de los branquiópodos en medio BFT a través de la evaluación de la (3) supervivencia, crecimiento, producción y eclosión de quistes de larvas y adultos de *Triops*, y de la evaluación de la supervivencia y crecimiento de juveniles de (4) *Thamnocephalus mexicanus* y (5) *Streptocephalus dorotheae*. El desempeño productivo de Tilapia cultivada en un sistema RAS con dos alimentos comerciales resultó en un 100% de supervivencia. Se estandarizó el sistema BFT con alimento comercial y con sacarosa refinada como fuente de carbono con una relación teórica carbono:nitrógeno de 20:1 con resultado de 100% de supervivencia. Los resultados obtenidos del cultivo de *Triops* presentaron una supervivencia de 0% en larvas y de 79% en adultos pero con infestación externa de anélidos oligoquetos. En *T. mexicanus* la supervivencia fue menor al 1% en sistema de canaletas y garrafones invertidos, con evidencia de obstrucción de flóculos en el canal alimenticio. En el caso de *S. dorotheae* se obtuvo una supervivencia de 55.8% y 8.3% en sistema de canaletas y garrafones respectivamente. Se concluye que los camarones de las especies sometidos a las diferentes condiciones de los ensayos y experimentos presentaron en general evidencias de su nula o baja adaptación en términos de supervivencia, crecimiento y reproducción a las condiciones aplicadas con medio BFT.

Palabras clave: peces de agua dulce, crustáceos branquiópodos, sistema Biofloc, sistema RAS.

Co-Director de Tesis

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Co-Director de Tesis

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez

Summary

The Biofloc system (BFT) allows to culture Tilapia in high densities without water change. However, the elevated cost of commercial feeds stimulates to carry out research to improve the feed conversion rate (FCR). In the BFT system is critical maintaining a vigorous aeration and a carbon:nitrogen relation of not less of 10:1 to promote bioflocs formation and the establishment of microbial and microfauna communities. Thus, in this medium occur the nutrients recycling and the reduction of toxic waste such as ammonia. This investigation aims to increase the nutrients recycling in the BFT as a strategy to improve the FCR. We infer that the bioflocs can be trophically recycled by filtering crustaceans typical of argillotrophic systems. The objectives were divided in two steps; the first one consisted in the standardization of a (1) recirculation system (RAS) and of a (2) BFT system for the maintenance and culture of Tilapia. The objectives of the second step were to study the culture performance of branchiopods in BFT medium through the evaluation of the (3) survival, growth, and cyst production and hatching of larvae and adults of *Triops*, and the evaluation of the survival and growth of juveniles of (4) *Thamnocephalus mexicanus*, and (5) *Streptocephalus dorotheae*. The Tilapia performance in the RAS system with two commercial feeds resulted in 100% survival. The BFT system was standardized using the best commercial feed evaluated in the RAS system, and refined sucrose with a theoretical relation 20:1 of carbon:nitrogen resulted in 100% survival. The *Triops* cultures resulted with a survival of 0% in larvae and 79% in adults with external infestation of oligochaets annelids. In *T. mexicanus* the survival was less than 1% in the channels system and inverted vessels systems with evidences of alimentary groove obstruction by the bioflocs. In the case of *S. dorotheae* a survival of 55.8% and 8.3% was obtained in the channels and inverted vessels systems respectively. Therefore, the shrimp submitted to the different conditions of the essays and experiments showed in general evidences of their nule or low adaptation in terms of survival, growth and reproduction to the applied conditions with BFT medium.

Key words: *freshwater fish, branchipod crustaceans, Bifloc system, RAS system*

Co-Director de Tesis

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez

Co-Director de Tesis

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez

Dedicatoria

A mi familia:

Por todo el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento y porque gracias a ellos soy lo que soy en la actualidad y he llegado hasta en donde estoy.

A mi tía Virginia Flores:

Por todo el apoyo que me ha brindado en cada momento de mi vida y que sin lugar a duda es uno de los motivos por los cuales he realizado este logro.

A mis abuelos paternos:

Por todas sus enseñanzas y apoyo que me han brindado. Aunque por motivos de distancia no se encuentren conmigo sé que cuento con ellos y que se sienten muy orgullosos de mí.

A mis abuelos maternos:

Por todas sus enseñanzas y apoyo que me brindaron. Y aunque ya no están físicamente conmigo sé que se sienten muy orgullosos de mí.

A todos mis amigos y conocidos:

Por ayudarme en cada momento y darme ese pequeño impulso por seguir adelante y no darme por vencido.

Y a todos los que hicieron posible este trabajo.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por las instalaciones y el apoyo para que este trabajo se llevara a cabo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada No. 785660 que me permitió continuar con mis estudios a nivel de Maestría.

A mi Comité Tutorial, Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez, Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez y Dr. Rafael Campos Ramos, por darme la oportunidad de pertenecer a sus fuerzas básicas.

A la Dra. Hortencia Obregón Barboza del Laboratorio de Carcinología por todo su apoyo que me brindó en todo momento y por su conocimiento compartido.

Al MC Pablo Monsalvo Spencer y Biol. Mar. Gabriel Robles Villegas del Laboratorio de Aclimatación y Mantenimiento de Organismos Acuáticos por ser prácticamente mis dos manos y apoyarme con los sistemas de cultivo.

A la Dra. Gabriela Del Valle Picnataro, Coordinadora de la Unidad de Gestión Tecnológica (UGT) del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. y al Dr. Ismael Espinosa Curiel, Coordinador de la Unidad de Transferencia Tecnológica UT3 CICESE Tepic, Nayarit, por las facilidades prestadas durante la presente investigación.

Al señor Sr. José Ángel Camacho Durán por su apoyo en la instalación de los sistemas de cultivo y al señor José Márquez Villalobos por el mantenimiento de las Tilapias.

Al Dr. Dr. Rafael Campos Ramos y MC José Gilberto Colado Durán del Laboratorio de Reproducción de Peces Marinos por el sexado de los ejemplares de Tilapia.

A la MC Alondra Martínez Hernández del Laboratorio de Análisis Químico de Agua por la evaluación de muestras de agua.

A la MC Míriam Lizzeth Hernández de Haro del Laboratorio de Edafología por el préstamo de instalaciones y equipo de laboratorio.

A la MC Dolores Rondero Astorga y Sindy Areli Juan Antúnez del Laboratorio de Análisis Químico Proximal por el préstamo de instalaciones y equipo de laboratorio, así como por los análisis proximales de muestras de Tilapia.

Al Dr. Carlos Eliud Angulo Valadez y Dra. Martha Reyes Becerril por los análisis inmunológicos de muestras de Tilapia.

Al MC Roberto Hernández Herrera del Laboratorio de Bioquímica Fisiológica por los análisis bioquímicos de muestras de Tilapia.

A la Dra. Ma. del Carmen Rodríguez Jaramillo y María Eulalia Meza Chávez del Laboratorio de Histología e Histoquímica por el análisis histológico de muestras de Tilapia.

A la MC Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo, estudiante de Doctorado del CIBNOR, por todo el apoyo brindado y el conocimiento compartido para la realización de este trabajo.

Al Programa de Acuicultura y al Laboratorio de Microalgas por las facilidades de espacio e instalaciones para llevar al cabo la presente investigación de tesis.

Y a todos mis amigos que conocí y me acompañaron durante este trayecto de mis estudios de Maestría.

Contenido

Resumen	I
Summary	iii
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Contenido	viii
Lista de figuras	xii
Lista de tablas	xiii
Lista de anexos	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	7
2.1 Sistema de recirculación (RAS) para el cultivo de Tilapia.....	7
2.2 Sistema Biofloc (BFT) para el cultivo de Tilapia.....	11
2.3 Cultivo del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp.....	15
2.4 Cultivo del camarón duende <i>Thamnocephalus mexicanus</i>	17
2.5 Cultivo del camarón duende <i>Streptocephalus dorotheae</i>	20
3. JUSTIFICACIÓN	22
4. HIPÓTESIS	23
5. OBJETIVOS	23
5.1 Objetivo general.....	23
5.2 Objetivos particulares.....	24
6. MATERIAL Y MÉTODOS	24
6.1 Material y métodos del objetivo particular 1.....	24
6.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.....	24
6.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.....	26
6.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.....	26
6.2 Material y métodos del objetivo particular 2.....	27
6.2.1 Fase 1. Establecimiento de sistema BFT-1 sin Tilapia.....	27
6.2.2 Fase 2. Establecimiento de sistema BFT-2 con Tilapia.....	28
6.3 Material y métodos del objetivo particular 3.....	28
6.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	28
6.3.1.1 Evaluación de la supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia (Fig. 6).....	29
6.3.1.2 Determinación del porcentaje de quistes con embrión obtenidos del cultivo de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural (Fig.8).....	30
6.3.1.3 Determinación del porcentaje de eclosión de quistes obtenidos del cultivo de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural (Fig. 9).....	31
6.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de <i>Triops</i>	32
6.3.2.1 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-2 con Tilapia (Fig. 10).....	32
6.3.2.2 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación de tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de	

panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de <i>Triops</i>	33
6.3.2.3 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y agua del sistema BFT-2 con Tilapia en el cultivo larvario de <i>Triops</i> ...	34
6.4 Material y métodos del objetivo particular 4.....	35
6.4.1 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> . Ensayo 1: Sistema de canaletas (Fig. 11).....	35
6.4.2 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> . Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos (Fig. 12).....	35
6.5 Material y métodos del objetivo particular 5.....	36
6.5.1 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> . Ensayo 1: Sistema de canaletas (Fig. 13).....	36
6.5.2 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> . Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos (Fig. 14).....	37
7. RESULTADOS	38
7.1 Resultados del objetivo particular 1.....	38
7.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.....	38
7.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.....	39
7.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.....	40
7.2 Resultados del objetivo particular 2.....	41
7.2.1 Fase 1. Establecimiento de sistema BFT-1 sin Tilapia.....	41
7.2.2 Fase 2. Establecimiento de sistema BFT-2 con Tilapia.....	42
7.3 Resultados del objetivo particular 3.....	43
7.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	43
7.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	43
7.3.1.2 Porcentaje de quistes con embrión obtenidos del cultivo de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural.....	46
7.3.1.3 Porcentaje de eclosión de quistes obtenidos del cultivo de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural.....	46
7.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de <i>Triops</i>	47
7.3.2.1 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	47
7.3.2.2 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparar tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de <i>Triops</i>	47
7.3.2.3 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de <i>Triops</i>	47
7.4 Resultados del objetivo particular 4.....	48
7.4.1 Supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> . Ensayo 1: Sistema de canaletas.....	48
7.4.2 Supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> . Ensayo 2: Sistema de	

garrafones invertidos.....	50
7.5 Resultados del objetivo particular 5.....	50
7.5.1 Supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> . Ensayo 1: Sistema de canaletas.....	50
7.5.2 Supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> . Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos.....	50
8. DISCUSIÓN	51
8.1 Discusión del objetivo particular 1.....	51
8.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.....	51
8.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.....	52
8.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.....	52
8.2 Discusión del objetivo particular 2.....	54
8.2.1 Fase 1. Establecimiento de sistema BFT-1 sin Tilapia.....	54
8.2.2 Fase 2. Establecimiento de sistema BFT-2 con Tilapia.....	54
8.3 Discusión del objetivo particular 3.....	56
8.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	56
8.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de <i>Triops</i>	56
8.3.1.2 Porcentaje de quistes con embrión.....	56
8.3.1.3 Porcentaje de eclosión de quistes.....	57
8.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de <i>Triops</i>	57
8.3.2.1 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	57
8.3.2.2 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación de tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de <i>Triops</i>	58
8.3.2.3 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de <i>Triops</i>	59
8.4 Discusión del objetivo particular 4 y objetivo particular 5.....	59
8.4.1 Supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> y <i>S. dorotheae</i>	59
9. CONCLUSIONES	60
9.1 Conclusiones del objetivo particular 1.....	60
9.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.....	60
9.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.....	60
9.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.....	60
9.2 Conclusiones del objetivo particular 2.....	60
9.2.1 Fase 1. Establecimiento de sistema BFT-1 sin Tilapia.....	60
9.2.2 Fase 2. Establecimiento de sistema BFT-2 con Tilapia.....	61
9.3 Conclusiones del objetivo particular 3.....	61
9.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	61

9.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de <i>Triops</i>	61
9.3.1.2 Porcentaje de quistes con embrión.....	61
9.3.1.3 Porcentaje de eclosión de quistes.....	61
9.3.2 Fase 2. Evaluación el cultivo larvario de <i>Triops</i>	61
9.3.2.1 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	61
9.3.2.2 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de <i>Triops</i>	62
9.3.2.3 Cultivo larvario de <i>Triops</i> con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de <i>Triops</i>	62
9.4 Conclusiones del objetivo particular 4.....	62
9.4.1 Supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> . Ensayos 1 y 2.....	62
9.5 Conclusiones del objetivo particular 5.....	62
9.5.1 Supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> . Ensayos 1 y 2.....	62
10. LITERATURA CITADA	64
11. ANEXOS	76

Lista de figuras

Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2016)..	1
Figura 2. Cuerpos de agua argilotróficos típicamente temporales. A, B y C. Fase seca. D. Medio argilotrófico con alta turbidez y camarones renacuajo <i>Triops</i>	5
Figura 3. <i>Triops</i> sp. KM64.....	6
Figura 4. <i>Thamnocephalus mexicanus</i>	6
Figura 5. <i>Streptocephalus dorotheae</i> . A. Hembra. B. Macho.....	7
Figura 6. Secuencia de las etapas para la evaluación de la supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	30
Figura 7. Secuencia de las etapas para la estimación del número de quistes obtenidos en el sistema de canaletas con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	30
Figura 8. Secuencia de las etapas de la descapsulación para determinar el porcentaje de quistes con embrión.....	31
Figura 9. Secuencia de las etapas de incubación de quistes para determinar el porcentaje de eclosión.....	32
Figura 10. Secuencia de las etapas de incubación de quistes para la siembra de larvas en el sistema de canaletas.....	32
Figura 11. Secuencia de las etapas del Ensayo 1 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> en sistema de canaletas con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	35
Figura 12. Secuencia de las etapas del Ensayo 2 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>T. mexicanus</i> en sistema de garrafones invertidos con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	36
Figura 13. Secuencia de las etapas del Ensayo 1 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> en sistema de canaletas con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	37
Figura 14. Secuencia de las etapas del Ensayo 2 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de <i>S. dorotheae</i> en sistema de garrafones invertidos con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	37
Figura 15. Ejemplares de Tilapia al final del experimento para la definición de un alimento estándar. A. Tratamiento-1 con Purina® y B. Tratamiento-2 con Wardley®.....	41
Figura 16. Adultos de <i>Triops</i> sp. KM64 provenientes del cultivo en canaletas con medio BFT-1 sin Tilapia con infestación externa de gusanos del grupo Annelida, Oligochaeta. A y B. Vista ventral de la región mandibular. C y D. Vista dorsal de la región cefálica del caparazón. E, F, G y H. Vista dorsal de la región abdominal.....	45
Figura 17. Larvas de <i>Triops</i> procedentes de los experimentos 1 y 2, a las 48 horas de cultivo.....	48
Figura 18. Adultos de <i>Thamnocephalus mexicanus</i> provenientes del cultivo en canaletas con medio BFT-2 con Tilapia. A. Vista lateral de individuo macho con paquete de flóculos en su región mandibular. B. Vista ventral de la región cefálica con paquete de flóculos en su región mandibular. C. Vista lateral de individuo macho con paquete de flóculos en todo su canal alimenticio. D. Acercamiento del paquete de flóculos del individuo de la fotografía C.	49

Lista de tablas

Tabla I. Origen y naturaleza de las sustancias orgánicas del agua en sistemas acuáticos.....	4
Tabla II. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón renacuajo <i>Triops</i> sp. KM64. Tomado de Obregón-Barboza <i>et al.</i> (2001).....	17
Tabla III. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende <i>Thamnocephalus mexicanus</i> . Tomado de Maeda-Martínez <i>et al.</i> (1995 y 2003).....	20
Tabla IV. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende <i>Streptocephalus dorotheae</i> . Tomado de Ali y Brendonck (1995).....	22
Tabla V. Calidad del agua del cultivo sin recirculación de Tilapia.....	38
Tabla VI. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el cultivo de Tilapia (n = 64) en un sistema sin recirculación.....	38
Tabla VII. Calidad del agua del cultivo de Tilapia en el sistema RAS.....	39
Tabla VIII. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el ensayo de Tilapia cultivada en el sistema RAS.....	39
Tabla IX. Calidad del agua en sistema RAS para evaluar dos alimentos comerciales (Purina® y Wardley®) en el desempeño de Tilapia.....	40
Tabla X. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el experimento de Tilapia cultivada en el sistema RAS con dos alimentos comerciales (alimento Purina® y alimento Wardley®).....	41
Tabla XI. Calidad del agua del sistema BFT-1 con melaza como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 12:1.....	42
Tabla XII. Calidad del agua del sistema BFT-2 elaborado con sacarosa refinada como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 20:1.....	42
Tabla XIII. Peso, talla, K, FCR y supervivencia de Tilapia (n = 18) en el sistema BFT-2 con sacarosa refinada como fuente de carbono.....	43
Tabla XIV. Calidad del agua del cultivo de <i>Triops</i> con medio procedente del sistema BFT-1 sin Tilapia y del cultivo externo.....	44
Tabla XV. Talla, peso, K, supervivencia y número de quistes del inicio y final del cultivo por nueve días de adultos de <i>Triops</i> (n = 24, 4 canaletas, 6 camarones por canaletas) con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.....	44
Tabla XVI. Porcentaje de embriones del cultivo de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural.....	46
Tabla XVII. Calidad del agua durante el proceso de eclosión de quistes de <i>Triops</i>	46
Tabla XVIII. Porcentaje de eclosión de quistes de <i>Triops</i> a través de una técnica estandarizada.....	46
Tabla XIX. Cultivo de larvas de <i>Triops</i> con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.....	47
Tabla XX. Supervivencia de larvas de <i>Triops</i> comparando tres concentraciones de alimentos comerciales.....	47
Tabla XXI. Supervivencia de larvas de <i>Triops</i> en tres tratamientos: dos alimentos	

comerciales y agua del sistema BFT-2 con Tilapia.....	48
Tabla XXII. Talla y supervivencia del cultivo de <i>Thamnocephalus mexicanus</i> (n = 120, 4 canaletas, 30 camarones por canaleta) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de canaletas.....	49
Tabla XXIII. Talla y supervivencia del cultivo de <i>Thamnocephalus mexicanus</i> (n = 240, 4 garrafones, 60 camarones por garrafón) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de garrafones invertidos.....	50
Tabla XXIV. Talla y supervivencia del cultivo de <i>Streptocephalus dorotheae</i> (n = 240, 4 canaletas, 60 camarones por canaleta) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de canaletas.....	50
Tabla XXV. Talla y supervivencia del cultivo de <i>Streptocephalus dorotheae</i> (n = 240, 4 garrafones, 60 camarones por garrafón) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de garrafones invertidos.....	51

Lista de anexos

Anexo A. Sistema sin recirculación.....	76
Anexo B. Calidad del agua potable del suministro municipal.....	76
Anexo C. Información nutrimental de los alimentos comerciales.....	77
Anexo D. Ajuste de alimentación de peces en los sistemas RAS y BFT.....	80
Anexo E. Método de anestesia de peces.....	80
Anexo F. Variables para evaluar el desempeño productivo de la Tilapia.....	81
Anexo G. Sistema de recirculación (RAS).....	82
Anexo H. Evaluación de la calidad del agua.....	83
Anexo I. Registro de la mortalidad, mortalidad acumulada y supervivencia de juveniles de Tilapia en un sistema sin recirculación.....	85
Anexo J. Cálculo de la relación Carbono – Nitrógeno.....	85
Anexo K. Sistema Biofloc (BFT).....	87
Anexo L. Compuestos nitrogenados medidos con Kit vs. análisis de Laboratorio... ..	88
Anexo M. Sistema de cultivo externo.....	88
Anexo N. Variables para evaluar el desempeño productivo de los crustáceos branquiópodos.....	89
Anexo Ñ. Sistema de canaletas.....	90
Anexo O. Sistema de incubación de quistes de <i>Triops</i>	90
Anexo P. Método de anestesia de <i>Thamnocephalus</i> y <i>Streptocephalus</i>	91

1. INTRODUCCIÓN

La contribución de la producción de alimentos de origen animal a la seguridad alimentaria de millones de personas es muy importante ya que son los alimentos que mayor proporción de proteína de alto valor biológico aportan a la nutrición humana (Giraldo, 2008). Actividades como la pesca y la acuicultura son importantes fuentes de alimentos, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo (FAO, 2016). La población mundial en el año 2017 fue de ca. 7,500 millones de habitantes y en México de ca. 129 millones, por tal motivo es importante destacar la enorme función que tienen los océanos y las aguas continentales de contribuir de forma destacada a la seguridad alimentaria de una población mundial que se prevé alcance los 9,700 millones de habitantes en 2050 (Banco Mundial, 2018; FAO, 2016). Sin embargo, ante el estancamiento que se ha observado en la producción de la pesca de captura desde finales de la década de 1980, la acuicultura ha sido la desencadenante del impresionante crecimiento del suministro de pescado para el consumo humano (Fig. 1) (FAO, 2016).

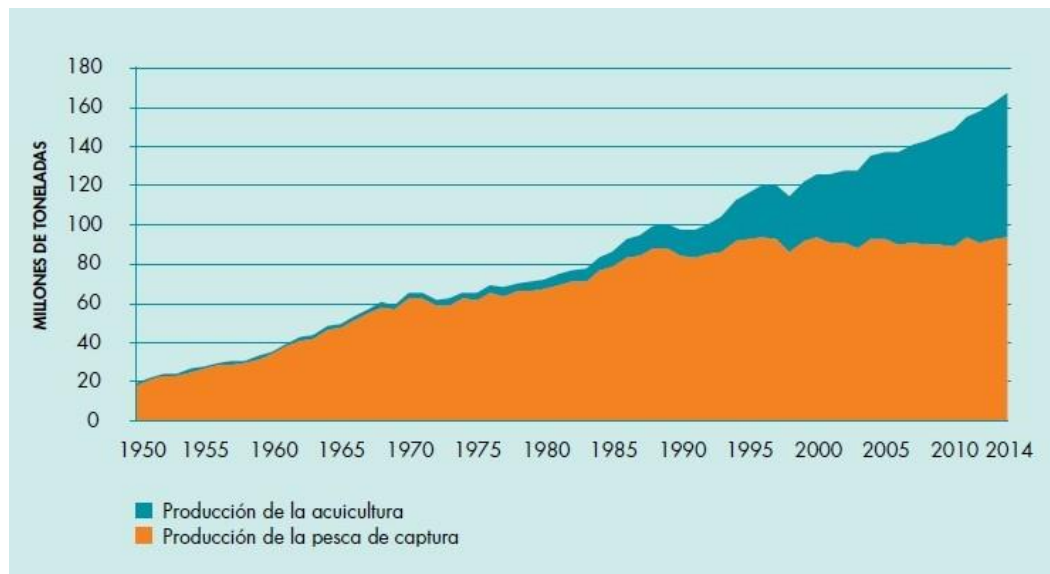


Figura 1. Producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura (FAO, 2016).

A pesar del rápido aumento de la Acuicultura en las últimas décadas, su crecimiento mundial puede estar desacelerándose debido a las limitaciones de los recursos naturales y los impactos ambientales negativos que le impiden mantener un crecimiento continuo (Bostock, 2011; FAO, 2010). Por tal motivo, existe una tendencia global hacia la intensificación de los sistemas de cultivo a medida que aumenta la competencia por los recursos de tierra y agua (Klinger y Naylor, 2012). Dentro de la Piscicultura el método básico tradicional es el tipo acuario con aireación, sifoneo de fondo y recambios periódicos para evitar la acumulación de desechos nitrogenados y restos de alimento y heces fecales. Sin embargo, en las últimas décadas se han desarrollado tecnologías como el sistema de recirculación (RAS, por sus siglas en inglés), el sistema acuapónico, la acuicultura multitrófica integrada (IMTA, por sus siglas en inglés), la acuicultura en mar abierto, y la tecnología o sistema Biofloc (BFT, por sus siglas en inglés) los cuales buscan reducir el uso de la tierra y del agua, intensificando la producción o trasladándose al océano, y a su vez reduciendo la contaminación por nutrientes y sustancias químicas mediante el tratamiento, la conversión, reciclaje, y la dilución de los desechos (Klinger y Naylor, 2012; Ornelas-Luna *et al.*, 2017). Sin embargo, las condiciones de intensificación a través del confinamiento a elevadas densidades pueden causar desequilibrio fisiológico de los peces (estrés), detonando problemas por inmunosupresión y facilitando la incidencia de diversos agentes patógenos. Por tal motivo, la capacidad de carga de los sistemas es el factor básico que limita la producción de proteína de origen acuático, además de otros factores elementales que influyen en el desempeño del crecimiento como la calidad de agua, régimen de alimentación, calidad del alimento, biomasa y densidades de siembra (Ornelas-Luna *et al.*, 2017).

Se estima que en el año 2030 el 62% de la biomasa de pescado procederá de la acuicultura, con un crecimiento más rápido en especies de agua dulce como la carpa, bagre y Tilapia (nombre común que involucra al menos tres especies de mojarra del género *Oreochromis*). Está previsto que la producción mundial de Tilapia casi se duplique de 4.3 a 7.3 millones de toneladas anuales entre el 2010 y el 2030 (World Bank, 2013). En este sentido, debido a sus hábitos omnívoros y de filtración, su capacidad de adaptación a diferentes sistemas de cultivo, sabor y características nutricionales de su carne, la Tilapia se

ha colocado en el segundo lugar de los peces de agua dulce más cultivados en el mundo después de la carpa (FAO, 2018; Toledo-Pérez y García-Capote, 2000). Sin embargo, para mejorar y optimizar la tecnología de su cultivo hay que tener en cuenta factores críticos como la alimentación, principalmente en países donde el alimento balanceado es escaso y los productores tienden a buscar alternativas de alimentación con diversos productos y subproductos locales (Cantor, 2007).

En la mayoría de los lugares la disponibilidad de agua y suelo para el cultivo de Tilapia es escasa, de esta forma los productores incursionan en el cultivo intensivo, pero la intensificación da como resultado el deterioro de la calidad del agua que causa estrés a los peces, seguido por el brote de las enfermedades (Daniel y Nageswari, 2017). Los tanques y raceways son buena alternativa para llevar a cabo el cultivo intensivo cuando no hay suficiente agua o tierra disponibles y la economía es favorable, razón por la cual los sistemas RAS y BFT han sido exitosos en el cultivo de Tilapia (Gupta y Acosta, 2004). Actualmente existe controversia respecto a que sistema es mejor (RAS vs BFT), ya que así lo demuestran varios estudios comparando ambos sistemas con diferentes especies acuáticas (Dauda *et al.*, 2018; Dibello y Doassans, 2013; Verster, 2017; Vinatea *et al.*, 2018; Ray, 2012); sin embargo, en un estudio realizado en la producción de Tilapia se concluye que BFT es mejor que RAS (Vinatea *et al.*, 2018).

La creciente evidencia científica reconoce la influencia positiva del sistema Biofloc en el crecimiento, inmunidad no específica, prevención de enfermedades y mejora en la calidad del agua; además de que sirve de alimento para organismos omnívoros, debido a que contiene una mezcla de bacterias, algas y detritus, motivo por el cual ha obtenido gran auge en los últimos años (Daniel y Nageswari, 2017). Es importante mencionar que en el cultivo de Tilapia el alimento balanceado representa el 80% del costo de producción y este podría ser el factor limitante para su expansión.

Al igual que en los sistemas naturales, el agua en los sistemas RAS y BFT contiene diversos nutrientes tales como moléculas orgánicas disueltas y particuladas derivadas de proteínas, lípidos, carbohidratos y pigmentos, los cuales se originan de los organismos en cultivo, del alimento y de compuestos propios del manejo (Tabla I) (Moss, 1993).

Tabla I. Origen y naturaleza de las sustancias orgánicas del agua en sistemas acuáticos.

Moléculas orgánicas	Derivados orgánicos disueltos o particulados en el agua en sistemas acuáticos
Proteínas	Metano, péptidos, aminoácidos, urea, fenoles, indol, ácidos grasos, mercaptanos, melanina, melanoidina, sustancias amarillas (gelbstoffe).
Lípidos (grasas, ceras, aceites, hidrocarburos)	Metano, ácidos alifáticos, acetato, lactato, citrato, glicolato, malato, palmitato, estearato, oleato, carbohidratos, hidrocarburos.
Carbohidratos (celulosa, hemicelulosa, lignina)	Metano, glucosa, fructosa, galactosa, almidón, arabinosa, ribosa, xilosa, ácidos húmicos, ácidos flavicos, taninos.
Porfirinas y pigmentos de plantas (clorofilas, hemina, carotenoides)	Fitano, pristano, isoprenoide, alcoholes, cetonas, ácidos, porfirinas.

En el sistema BFT se promueve, en primera instancia, la formación de flóculos a partir de material particulado con un tamaño de 1 a 500 μm que proviene principalmente del alimento no consumido y del material fecal de los peces; en segunda instancia, con aireación vigorosa se promueve la suspensión y distribución de los flóculos por todo el tanque y se evita la sedimentación de los mismos (Avnimelech, 2012; Ekasari *et al.*, 2014). De manera típica, los flóculos en el sistema BFT se exponen a la acción de una red trófica, típicamente consistente de una comunidad de bacterias, microalgas, protozoarios y pluricelulares de pequeño tamaño como anélidos, platelmintos y larvas de insectos (De Schryver *et al.*, 2008). Esta red trófica recicla los nutrientes a través de su utilización termodinámica tanto catabólica (degradación-descomposición) como anabólica (construcción de nuevos polipéptidos y proteínas) (Emerenciano *et al.*, 2013). Tomando en cuenta este fundamento del reciclaje de nutrientes, se han llevado a cabo diversos trabajos con el fin de utilizar los flóculos del sistema BFT como fuente de alimento para otras especies acuáticas y que esto no genere un costo adicional de alimentación; tal es el caso del cultivo del crustáceo branquiópodo *Artemia* (Gao *et al.*, 2017; Luo *et al.*, 2017; Magnotti *et al.*, 2016; Ronald *et al.*, 2014; Toi *et al.*, 2013).

La presente investigación de tesis se enfocó en el estudio de la incorporación de crustáceos filtradores como organismos tróficamente intermedios (i.e., entre la comunidad microbiológica y los peces) en un sistema BFT con la meta de acelerar y mejorar el

reciclaje de nutrientes y con ello lograr un mejor desempeño de la Tilapia sin aumentar la cantidad del alimento comercial. Se seleccionaron tres especies de tres géneros de crustáceos branquiópodos filtradores que viven en sistemas argilotróficos de agua dulce. Los sistemas argilotróficos (Fig. 2) son humedales que presentan alta turbidez por la suspensión de partículas de arcilla y flóculos de materia orgánica con bacterias y protozoarios (Daborn, 1975). Los crustáceos branquiópodos llevan al cabo la función termodinámica del reciclaje de nutrientes a través de la utilización de material particulado suspendido en sistemas argilotróficos (Fryer, 1988), por lo tanto es plausible que éstos crustáceos se adapten a vivir, crecer y reproducirse en un medio con flóculos del sistema BFT. Las especies seleccionadas son el notostraco *Triops* sp. KM64 (Fig. 3) y los anostracos *Thamnocephalus mexicanus* (Fig. 4) y *Streptocephalus dorotheae* (Fig. 5). Especies de estos géneros han sido propuestas con potencial de uso en acuicultura (Maeda-Martínez *et al.*, 2002; Obregón-Barboza *et al.*, 2001).

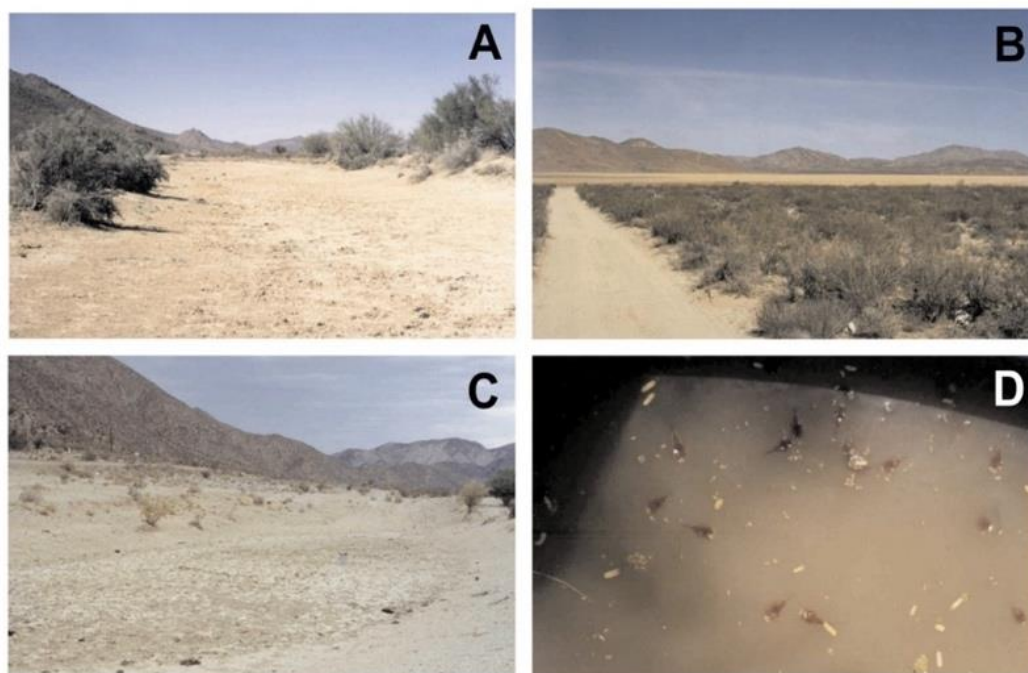


Figura 2. Cuerpos de agua argilotróficos típicamente temporales. A, B y C. Fase seca. D. Medio argilotrífico con alta turbidez y camarones renacuajo *Triops*.

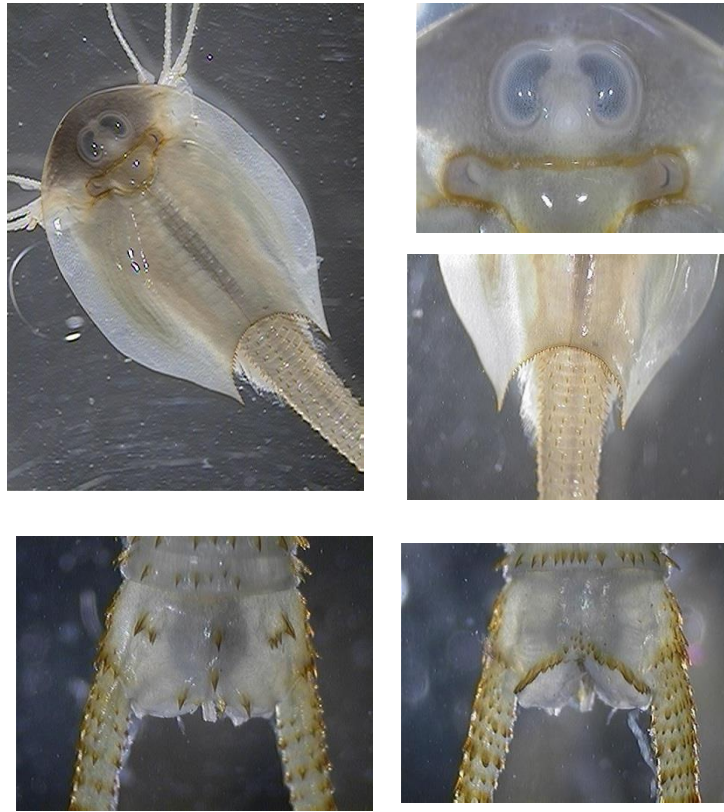


Figura 3. *Triops* sp. KM64.

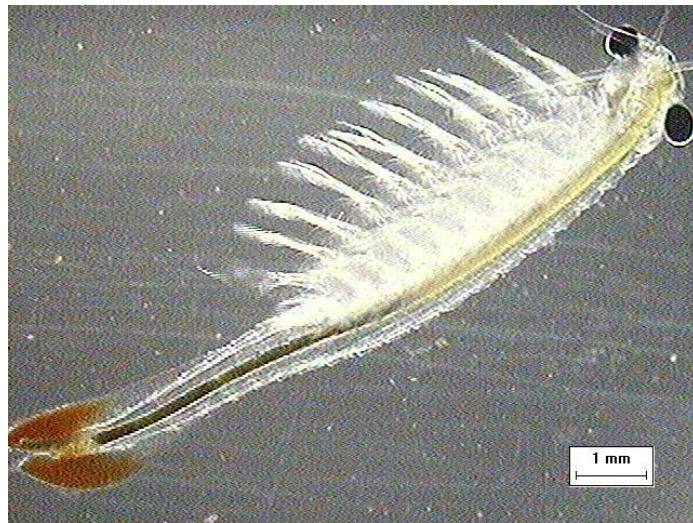


Figura 4. *Thamnocephalus mexicanus*.

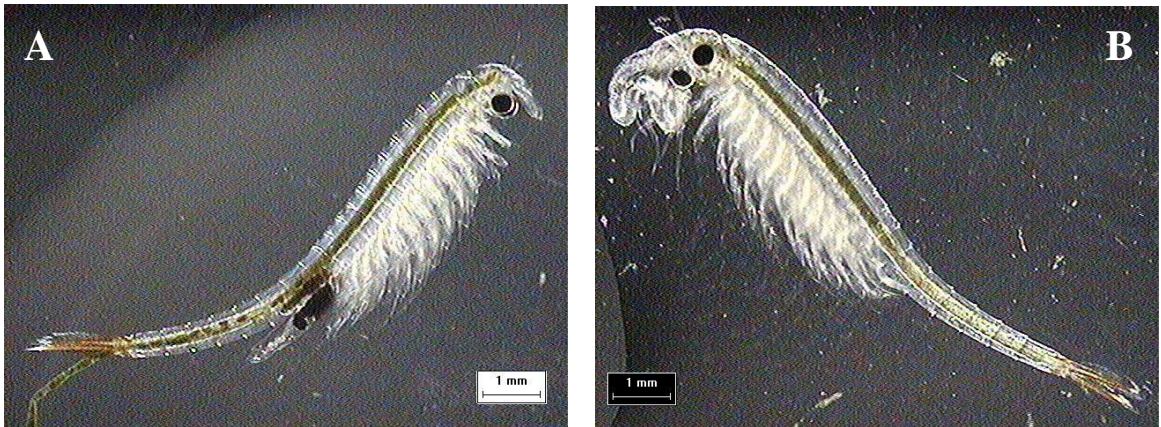


Figura 5. *Streptocephalus dorotheae*. A. Hembra. B. Macho.

2. ANTECEDENTES

2.1 Sistema de recirculación (RAS) para el cultivo de Tilapia.

El término Tilapia es usado para un grupo de peces de la familia *Cichlidae* en particular de los géneros *Oreochromis*, *Sarotherodon* y *Tilapia*, endémicos de África y Medio Oriente, aunque actualmente también se encuentran en la zona tropical y subtropical de todo el planeta debido a su introducción por el hombre (Llanes *et al.*, 2006). *Oreochromis niloticus* (en lo sucesivo denominada Tilapia en este documento) es la especie más cultivada en México debido a que posee extraordinarias cualidades como adaptación a su cautiverio, crecimiento acelerado, tolerancia a elevadas densidades de cultivo, resistencia a enfermedades y aceptación a una amplia gama de alimento. Además cuenta con buenos atributos para su comercialización, como carne blanca de buena calidad, sabor agradable, poca espina, adecuada talla y precio accesible que le confiere una preferencia y demanda en el mercado de la acuicultura mundial (Arredondo y Lozano, 1996; SINCOAGRO S.C. *et al.*, 2007).

El alimento de calidad es uno de los factores principales para lograr el cultivo exitoso de la Tilapia tanto en términos del desempeño (supervivencia y crecimiento) como en términos económicos ya que representa no menos del 60 % del costo de su producción en sistemas acuícolas (García-Berber *et al.*, 2015; Quispe, 2000). El alimento para peces se vende como pellets secos, pellets semihúmedos y hojuelas. Los pellets secos son las dietas

más completas y sus desventajas incluyen el potencial para un rápido hundimiento (a menos que el pellet esté extruido) y el tamaño del mismo, debido a que puede ser imposible fabricar una partícula lo suficientemente pequeña para juveniles de muchas especies o un pellet muy pequeño que puede ser inaceptable para animales grandes. Los pellets semihúmedos son suaves, compactos y muchos de estos son caros, pero tienden a ser dietas de alta calidad que pueden ser una excelente opción para algunas especies. Por último las hojuelas que son usadas ampliamente en la industria de peces ornamentales y tienen las ventajas que se hunden muy lentamente y son lo suficientemente suaves para que los peces muy pequeños las consuman (Pandey, 2013). En el caso del cultivo de la Tilapia el alimento se usa en dos presentaciones: triturado que se aplica para la fase de reversión sexual y alevinaje con un tamaño de partícula de 0.5 a 1 mm, y en pellet para la fase de preengorda con un tamaño de 2 a 4 mm y de 4 a 6 mm para la fase de engorda y reproducción (Llanes *et al.*, 2006). En algunos casos se emplea alimento vivo para la fase de cría, obteniéndolo de cultivos específicos o mediante captura directa en campo; entre los animales más empleados se tienen a rotíferos y branquiópodos como *Daphnia pulex* y *Artemia* sp., y plantas como *Azolla* sp. y *Elodea* sp.. La tasa de conversión alimenticia (FCR, por sus siglas en inglés) en Tilapia fluctúa entre 1.4 a 2.5 en las diferentes fases de cultivo (Toledo-Pérez y García-Capote, 2000).

El cultivo de Tilapia se ha basado tradicionalmente en sistemas extensivos y semi-intensivos en estanques de tierra. La expansión de su cultivo en todo el mundo, junto con la escasez de agua dulce y la competencia con la agricultura y las actividades urbanas, han desplazado gradualmente este cultivo de los sistemas semi-intensivos tradicionales a sistemas de producción más intensivos. Esta especie es un candidato ideal para el cultivo intensivo debido a su capacidad para tolerar la alta densidad y una amplia gama de condiciones ambientales, además de su alta resistencia al estrés, la enfermedad y la manipulación. Las especies cultivadas preferidas son del género *Oreochromis*, particularmente *O. niloticus*, *O. aureus* y *O. mossambicus* y sus híbridos. El cultivo intensivo de Tilapia se ha expandido globalmente, experimentalmente o comercialmente, en estanques, tanques, raceways, jaulas, sistemas de recirculación, acuapónicos y Biofloc. La calidad del agua (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, amonio, pH, metabolitos sólidos

disueltos, etc.), nutrición y alimentación, y densidades de almacenamiento son los factores más importantes que determinan el éxito o fracaso del cultivo intensivo de Tilapia (Avnimelech, 2012; El-Sayed, 2006).

Los sistemas de recirculación (RAS) requieren menos del 10% del agua y mucho menos espacio que los sistemas extensivos en estanques para cultivar la misma cantidad de peces. Una de las principales ventajas de los RAS es la capacidad de controlar algunas variables de calidad del agua para optimizar la salud de los peces y las tasas de crecimiento. Los residuos sólidos se filtran y eliminan, se agrega aire para mantener niveles suficientes de oxígeno disuelto para la densidad de cultivo y el agua efluente se pasa a través de un biofiltro para una conversión biológica de nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitratos. El fallo en cualquiera de estas operaciones puede provocar la falla de todo el sistema y la muerte de los peces del cultivo (Timmons *et al.*, 2002). Los sólidos residuales que se acumulan en este tipo de sistemas provienen de alimento no consumido, residuos de alimento, materia fecal, algas y masa de células biofilm desprendidas de los filtros biológicos y son la principal fuente de residuos orgánicos del sistema. Los estudios indican que los peces producen entre 0.3 y 0.4 kg de sólidos suspendidos totales (TSS, por sus siglas en inglés) por cada kilogramo de alimento consumido y el volumen generado de estos puede ser mayor o menor a esta cifra, dependiendo de la calidad del alimento, manejo alimenticio adoptado y calidad del agua. Estos sólidos influyen en la eficiencia de todos los demás procesos en un sistema de recirculación, son una fuente importante de demanda de oxígeno y nutrientes en el agua, y pueden afectar directamente la salud de los peces dentro de estos sistemas al dañar las branquias de los peces y albergar patógenos. El límite superior tentativo para los peces de agua dulce es de 25 mg TSS/L, con 10 mg TSS/L recomendado para el funcionamiento normal. Por lo tanto, la eliminación de sólidos es uno de los procesos más críticos en los sistemas de acuicultura. De manera óptima, los sólidos deben ser removidos del tanque de cultivo de peces tan pronto como sea posible (Kubitza, 2006; Timmons *et al.*, 2002). Estos sólidos se clasifican en tres categorías: sedimentables, suspendidos y disueltos. La diferencia entre los sedimentables y suspendidos es simplemente el tiempo que tardan en establecerse en el fondo de un cono Imhoff, ya que los sedimentables se sedimentan en menos de una hora y los suspendidos no lo hacen; por lo

tanto, requieren un proceso de tratamiento distinto de los tanques convencionales de sedimentación por gravedad. Los sólidos sedimentables son aquellos con partículas mayores a 100 μm y representan cerca del 50% del total de sólidos. Estos son fácilmente concentrados en el fondo del drenaje central de los tanques circulares y pueden ser removidos del sistema utilizando conos o tanques de sedimentación. Los sólidos suspendidos son las partículas entre 40 y 100 μm que componen el 25% de los sólidos totales. Estos sólidos a su vez se clasifican en dos tipos de materia: particulada y soluble. La materia particulada, constituida por los sólidos sedimentables y suspendidos, puede incluir heces, alimento no digerido, materia orgánica y compuestos que contengan nitrógeno y fósforo. Y la materia soluble, constituida por los sólidos disueltos, incluye compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, principalmente nitrógeno y fósforo, derivados del metabolismo de los organismos acuáticos (como el amonio y orina) y la descomposición de residuos sólidos (UICN, 2007).

En el sistema RAS el principal desafío con respecto a los desechos nitrogenados es eliminar el amonio del sistema, el cual es la principal forma de nitrógeno (N) excretado por las especies acuáticas y comprende entre el 60-90% de todo el N excretado. Es una molécula pequeña, altamente soluble en lípidos, fácilmente eliminada de la sangre por difusión branquial y existe en solución acuosa como amonio ionizado (NH_4^+) y no ionizado (NH_3). Aunque ambas formas pueden ser tóxicas para los peces, el NH_3 es la forma más tóxica a bajas concentraciones (≤ 0.6 mg/L para el caso de la Tilapia). Por tal motivo, el nitrógeno amoniacal total (TAN, por sus siglas en inglés) se utiliza como una variable limitante clave de la calidad del agua debido a las variaciones del amonio ionizado y no ionizado a diferente temperatura y pH; razón por la cual es importante estimar la concentración de NH_3 tomando en consideración estas dos últimas variables de la calidad del agua (Foore, 2016; Timmons *et al.*, 2002). Por tal motivo, uno de los componentes clave de estos sistemas es su sistema de biofiltración, que se utiliza para transformar el amonio que se libera de los peces en una forma no tóxica de nitrato a través del proceso de nitrificación que consta de dos pasos. En el primer paso, oxidación de amonio a nitrito, participan bacterias de los géneros *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*; mientras que en el segundo paso, oxidación de nitrito a

nitrate, participan de los géneros *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* y *Nitrospina*. Estas bacterias nitrificantes son quimioautótrofas, ya que utilizan compuestos inorgánicos para la síntesis de ATP (Foore, 2016).

El volumen de producción mundial de peces cultivados en sistema RAS no favorece la producción de múltiples especies entre ellas la Tilapia y otros cíclidos, las cuales representan sólo el 7% del volumen de producción, debido a que el éxito o fracaso del cultivo de estas especies dependen en gran medida de las condiciones del mercado. Producir un pequeño volumen de una especie de pez de prestigio bien puede ser rentable, ya que tiene un precio elevado. Sin embargo, debido a que el mercado para especies de prestigio es limitado, el precio puede bajar pronto si aumenta la producción y, por lo tanto, la disponibilidad del producto. Puede ser muy rentable ser el primero y el único en el mercado con una nueva especie en acuicultura. Por otro lado, también es un negocio riesgoso con un alto grado de incertidumbre tanto en la producción como en el desarrollo del mercado. A pesar de todo esto y al precio extremadamente bajo de la Tilapia en el mercado probablemente sea rentable para crecer en algún tipo de sistema de recirculación a medida que se intensifica la lucha por el agua y el espacio (Bregnballe, 2015). Existen numerosos trabajos realizados en diferentes fases del cultivo de Tilapia utilizando el sistema RAS, cabe señalar que el diseño del sistema puede variar de trabajo a otro; sin embargo, todos se manejan bajo el mismo principio (Brazil, 2006; El-Sayed y Kawanna, 2008; Luo *et al.*, 2014; Maigual *et al.*, 2013; Rafiee y Saad, 2005; Shnel *et al.*, 2002; Soto-Zarazúa *et al.*, 2011; Verster, 2017).

2.2 Sistema Biofloc (BFT) para el cultivo de Tilapia.

El sistema BFT se desarrolló como una nueva tecnología para facilitar el cultivo intensivo, manteniendo la inversión inicial, bajos costos de mantenimiento continuos e incorporando el reciclaje del alimento (Avnimelech, 2012). El concepto de “sistema Biofloc” puede ser definido como el sistema de cultivo que promueve la floculación de materia orgánica, resultando en una elevada concentración de biomasa viva o muerta en forma de microorganismos y de partículas o bioflóculos resultando en el control de desechos nitrogenados tóxicos como el amonio (Becerril-Cortés *et al.*, 2017). Los bioflóculos son

agregados muy complejos que pueden contener bacterias, diatomeas, macroalgas, invertebrados, pellets fecales, exoesqueletos y restos de organismos muertos (Phulia *et al.*, 2012). Para favorecer la formación de bioflóculos es importante estimular el crecimiento y metabolismo de bacterias heterotróficas añadiendo una fuente de carbono orgánico (C) y equilibrando este sustrato con el nitrógeno amoniacal total (N) a través de la relación C:N (Avnimelech, 1999; Ebeling *et al.*, 2006). Las fuentes de carbono orgánico que se pueden agregar son carbohidratos como la sacarosa y melaza, pero el almidón o celulosa también pueden ser apropiados (Lekang, 2013). La melaza es un líquido denso y viscoso de color oscuro, subproducto de la fabricación de la sacarosa. Se utiliza principalmente en alimentos para animales y como suplemento alimenticio para el hombre, y en el caso del sistema BFT como fuente de carbono. La melaza es un buen medio nutritivo para microorganismos por lo que generalmente tiene una carga importante de bacterias y hongos mesófilos y termófilos cuya composición puede variar considerablemente dependiendo de múltiples factores tales como la variedad de la caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar, tipo y capacidad de los evaporadores (Avnimelech, 2012; Fajardo y Sarmiento, 2007). La sacarosa, sucrosa o azúcar es un disacárido compuesto por glucosa y fructosa obtenido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L., fam. Gramíneas) que se utiliza como edulcorante en alimentos para el hombre y en acuicultura se utiliza como fuente de carbono en los sistemas BFT (Fajardo y Sarmiento, 2007; Ray, 2012). La razón por la que se agrega sacarosa como fuente de carbono es para estimular la absorción de TAN por parte de las bacterias heterótroficas y se sugiere que esta molécula es un carbohidrato de acción rápida para este propósito (De Schryver *et al.*, 2008; Ray, 2012). Diversos estudios se han llevado a cabo utilizando esta fuente de carbono obteniendo resultados positivos en el sistema BFT y en el cultivo de organismos acuáticos (Ekasari *et al.*, 2010; López-Elías *et al.*, 2015; Sakkaravarthi y Sankar, 2015; Silva *et al.*, 2017; Supono *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2012).

En el sistema BFT es importante tener buena aireación y circulación del agua para evitar zonas que desarrollen cultivos bacterianos en condiciones anaeróbicas que se consideran inapropiados para mantener la calidad del medio. Las bacterias consideradas benéficas tienen mucho alimento o sustrato disponible (residuos orgánicos) en el sistema

BFT, y cuando se aplica aireación y el agua se mezcla adecuadamente habrá un rápido crecimiento de las mismas (Lekang, 2013). Variables físicas y químicas como la intensidad de la mezcla, temperatura, pH, carga orgánica y fuente de carbono orgánico afectan la floculación, calidad del tamaño y cantidad de flóculos presentes en el sistema de cultivo. A través de la detección y agregación de los grupos microbianos se determina la calidad de los flóculos, los cuales ayudan a eliminar o suprimir la presencia de organismos patógenos en el sistema con un efecto probiótico a través de la producción de poli β -hidroxibutirato en el entorno (Anjalee y Madhusoodana, 2015). El concepto del sistema BFT incluye la capacidad esperada de los peces y crustáceos en cultivo para consumir grandes cantidades de microorganismos y partículas orgánicas si éstos están agrupados en los bioflóculos. En especies comerciales como Tilapia y el camarón *Litopenaeus vannamei* se ha demostrado su capacidad de consumir y aprovechar los bioflóculos del sistema BFT (Lekang, 2013).

El mantenimiento y monitoreo de la calidad del agua en acuicultura son las prácticas esenciales para alcanzar el éxito. La temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad, alcalinidad, ortofosfatos, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales son algunas de las variables que deben supervisarse continuamente, especialmente en el sistema BFT. El volumen óptimo de sólidos sedimentables (SS) (variable conocida también como volumen de Biofloc (FV)) es de hasta 40 mL/L en camarón, y de 100 mL/L en peces. Cuando este volumen es inferior a 2 mL/L en el cultivo de camarón, e inferior a 5 mL/L en el cultivo de peces es recomendable agregar suplementos de materia orgánica. Por el otro lado, un volumen por encima de 20 mL/L (camarón) ó 50 mL/L (peces) se recomienda drenarse los flóculos excesivos. Los altos niveles de SS contribuirán al consumo de DO por la comunidad heterotrófica y pueden físicamente ocluir las branquias. En el sistema BFT se recomienda correlacionar el peso de los Sólidos Suspendidos Totales (TSS por sus siglas en inglés) con el volumen de los SS. Esta correlación permite la estimación de los TSS mediante una simple determinación de campo de SS. La cantidad de TSS recomendada en el cultivo de Tilapia es mantenerla menor a 500 mg/L. La determinación de SS es simple, no requiere equipo costoso y se puede hacer fácilmente en cualquier granja acuícola, pero la determinación de TSS exige mejores equipos y puede realizarse periódicamente como un

medio para calibrar las determinaciones de SS (Avnimelech, 2012; Emerenciano *et al.*, 2017).

En general los sistemas de acuicultura tradicionales requieren la descarga de aguas residuales. Los factores limitantes típicos en sus operaciones son el nivel elevado de sólidos suspendidos y la acumulación de amonio y nitratos, los cuales se eliminan con reactores biológicos, lo que mejora la reutilización del agua en las instalaciones acuícolas. En el caso de los SS se espera una tasa de eliminación del 95 – 99.5% y de los nitratos del 90 – 95%. Los nitratos no son tóxicos a menos que estén presentes en niveles muy elevados (más de 100 mg/L). Los flóculos se retiran del biorreactor para controlar y estabilizar la población de microorganismos, ya que la edad de los flóculos influye en el tipo de organismos que lo componen; así un biofloc joven tendrá organismos predominantemente heterótrofos y un biofloc maduro podría estar dominado por hongos. Además de que estos se pueden utilizar como fuente de proteína alternativa y reducir así la cantidad de harina de pescado requerida en las dietas acuícolas (Avnimelech *et al.*, 2012).

Un elemento básico en el diseño de un sistema BFT es tener definida la especie que se cultivará, ya que no todas los organismos acuáticos son candidatos para este sistema. Algunas características parecen ser necesarias para lograr un mejor rendimiento de crecimiento como resistencia a elevadas densidades, a la mala calidad del agua, a elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados y de sólidos (de al menos 15 mL/L), tolerancia a niveles intermedios de DO (~3-6 mg/L), presencia de un aparato filtrador (por ejemplo en la Tilapia), hábitos omnívoros y un sistema digestivo adaptable para asimilar mejor las partículas microbianas. Es por ello que el sistema BFT funciona mejor con especies que pueden obtener algún beneficio nutricional del consumo directo de los flóculos; tal es el caso de especies como el camarón y la Tilapia que tienen adaptaciones fisiológicas que les permiten consumir flóculos y digerir la proteína microbiana, aprovechando así estas partículas como recurso alimenticio. Por tal motivo, es importante mencionar que el bagre de canal y la lubina rayada híbrida son ejemplos de peces que no son buenos candidatos para el sistema BFT, debido a que no toleran el agua con concentraciones muy elevadas de sólidos y no tienen adaptaciones para filtrar estas partículas del agua (Emerenciano *et al.*, 2013; Hargreaves, 2013; Taw, 2010). Aunque en la

actualidad el auge de este sistema es para cultivar camarón, carpa y Tilapia principalmente, existen diversos trabajos con otros organismos acuáticos de importancia comercial con resultados controvertibles, como es el caso del crustáceo branquiópodo *Artemia* (Hargreaves, 2013; Le *et al.*, 2018).

2.3 Cultivo del camarón renacuajo *Triops* sp.

En acuicultura se utilizan organismos como alimento vivo que incluyen plantas (fitoplancton) y animales (zooplancton) que son consumidos por peces de importancia económica. Estos organismos obtenidos de cultivos específicos o mediante captura se pueden distribuir en la columna de agua y estar constantemente disponibles para los peces. La mayoría de las larvas de peces y crustáceos en la naturaleza se alimentan de pequeños organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos. Sin embargo, estos organismos generalmente no son abundantes en cultivos de agua clara, pero son abundantes en cultivos que tienen agua verdosa (Das *et al.*, 2012; Toledo-Pérez y García-Capote, 2000). A través del consumo de estos organismos los peces garantizan su metabolismo normal, crecimiento adecuado, salud y reproducción debido a que el alimento vivo posee alta biodisponibilidad de aminoácidos libres, péptidos de bajo peso molecular que facilitan su absorción intestinal y la estructura de las proteínas que puede ser digerida más fácilmente por las larvas de los peces. Existen muchos organismos empleados para este fin como son las microalgas, protozoarios, rotíferos, cladóceros, copépodos, gusanos tubífex y larvas de insectos quiromónidos; sin embargo, los más utilizados son el rotífero *Brachionus* y los branquiópodos *Daphnia* y *Artemia* (Das *et al.*, 2012; García-Ortega *et al.*, 2001; Llanes *et al.*, 2006).

Algunos de los crustáceos branquiópodos que se usan como alimento vivo para el cultivo de peces, crustáceos y moluscos cefalópodos son *Artemia* en todo el mundo, *Dendrocephalus brasiliensis* y *Eulimnadia colombiensis* en Brasil, *Leptestheria compleximanus* en México, y *Parartemia* en Australia. En Tailandia ciertos pueblos consumen pasta hecha de *Streptocephalus sirindhornae* cultivado en estanques de manera extensiva (Rogers, 2009). De todos estos branquiópodos el más estudiado a nivel mundial y con un cultivo ya estandarizado es *Artemia*; sin embargo en los últimos años se han

realizado cultivos en sistemas Biofloc obteniendo diversos resultados, tales como mejora en la supervivencia y producción total de biomasa cuando no hay suministro de microalgas. El resultado de MUFA en *Artemia* indica que *Artemia* consume más bacterias cuando falta un suministro de microalgas (Toi *et al.*, 2013). Los sistemas BFT con glicerol como fuente de carbono inhiben la bioluminiscencia regulada por el quórum en *V. harveyi* y protegen a las larvas de *Artemia* de la vibriosis (Crab *et al.*, 2010). Se obtuvieron buenos resultados en la producción de *Artemia* en un sistema Biofloc alimentada con bacterias y condiciones limitadas de algas (Huynh *et al.*, 2013). En el cultivo de larvario de branquiópodos se ha utilizado como fuente de alimento una pasta compuesta de levadura de pan, aceite vegetal, aceite de pescado y espirulina (Maeda-Martínez *et al.*, 1995).

Los Notostraca, conocidos como camarones renacuajo, son animales típicamente dulceacuícolas y se clasifican en dos géneros, el género *Lepidurus*, cuyas especies se restringen a humedales de aguas frías (hasta 25 °C), y el género *Triops*, cuyas especies ocurren en humedales de aguas de mayor temperatura de hasta 35-40 °C (Maeda-Martínez *et al.*, 2002). Sus hábitats naturales son cuerpos de agua dulce temporales que se caracterizan por sus extremas condiciones físicas y químicas. Estos organismos son omnívoros y predominantemente bentónicos; se alimentan de detritus o de organismos vivos o muertos (Martin, 1992). Los *Triops* son organismos omnívoros filtradores y trituradores de material floculado suspendido, que poseen gran valor nutritivo por contener altos valores de proteínas, ácidos grasos esenciales y carotenoides (Dararat *et al.*, 2012; Fryer, 1988; Maeda-Martínez, 1982). *Triops* sp. KM64 es un camarón renacuajo de morfotipo corto y reproducción hermafrodita cuyos adultos tienen la capacidad de producir hasta 1,200 huevos o quistes (embriones en latencia) por día, con una tasa promedio de crecimiento diario de 0.84 mm de longitud estándar (Obregón-Barboza *et al.*, 2001). En el cultivo de *Triops* las dietas consisten de manera natural de algas y protozoarios de suelos rehidratados, suplementadas con *Tubifex* vivo comprado comercialmente (Scholnick, 1995). Los huevos o quistes no eclosionan hasta que las temperaturas son mayores a 14 °C y esta tasa de eclosión es mayor encima de los 22 °C; la tasa de crecimiento promedio para animales de campo fue de 53 mg/día, similar a la tasa de 57 mg/día para animales criados

en el laboratorio (Scholnick, 1995). Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón renacuajo *Triops* sp. KM64 se presentan en la tabla II.

Tabla II. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón renacuajo *Triops* sp. KM64. Tomado de Obregón-Barboza *et al.* (2001).

Dato biológico o antecedente zootécnico	Resultado
Incubación de quistes	Si
Larvicultura	No
Cultivo de adultos	Si
Reproducción	Hermafrodita
Fecundidad	306 quistes/día (20 días)
Eclosión de quistes (hábitat)	84%
Hábito	Omnívoro filtrador bentónico

2.4 Cultivo del camarón duende *Thamnocephalus mexicanus*.

Thamnocephalus es un anostraco de agua dulce endémico del continente Americano. Habita en charcas temporales de aguas cálidas (17-35 °C) las cuales son moderadas en sólidos disueltos (TDS 0.30-0.60 g/l), menos predecibles y de vida corta (≤ 3 semanas). Tolera un amplio rango de temperatura y salinidad. Requiere una temperatura mayor a 13 °C y el rango de temperatura para eclosión es de 20-25 °C (baja la eclosión a 15 y de 30-35 °C). Estos organismos son blanquecinos con un patrón característico de color naranja en los cercópodos. Son organismos filtradores de la columna de agua que se alimentan en condiciones naturales de fitoplancton, zooplancton, bacterioplancton y partículas de arcilla en suspensión (López-Sánchez y Pereira, 1999; Maeda Martínez *et al.*, 2003).

Excepto para las formas partenogénicas en el género *Artemia*, la reproducción en los anostracos es zigogénica, se reproducen por oviparidad y producen embriones encapsulados comúnmente llamados quistes. La hembra tiene un par de ovarios en forma de cinta situados a ambos lados del intestino, y un par de oviductos con bolsas laterales localizadas en el segmento genital. Las bolsas laterales están conectadas a un ovisaco individual el cual está contenido en una bolsa de crianza formada por los primeros dos segmentos post-torácicos y dentro del atrio de la bolsa de crianza dos pares de glándulas de la concha unidas al ovisaco. El macho tiene un par de testículos y un par de penes

localizados en los primeros dos segmentos post-torácicos. Los dos pares de glándulas de la concha difieren en color; el par dorsal es oscuro de color rojo marrón a café oscuro, mientras que el par ventral es claro de color marrón claro a café. Las hembras tienen ovarios unirámicos los cuales se extienden desde el segmento genital 1 hasta el segmento post-torácico 8. Los ovarios muestran un color blanco azulado durante la vitelogénesis y las bolsas laterales, cuando están llenas de oocitos, adquieren una forma de saco esférico. En las bolsas laterales y en el ovisaco, el color de los oocitos varía del blanco azulado al blanco rosado. En los ciclos productivos, el color de los oocitos cambia a marrón blanquecino y finalmente al característico color café de los quistes. En los ciclos no productivos, los oocitos no cambian de color, pero eventualmente se desintegran y se transforman en una sustancia lechosa azulada la cual es expulsada (Maeda Martínez *et al.*, 2003).

En las formas zigogénicas ocurren al menos cinco eventos principales durante cada ciclo reproductivo: ciclo ovárico, tránsito de oocito, desarrollo de oocitos fertilizados, ciclo de la glándula de la concha y copula (fertilización). Después de la ovulación, el tránsito de oocito, y el desarrollo de oocitos fertilizados ocurre en cuatro fases subsecuentes: almacén de oocitos en las bolsas laterales, liberación de oocitos de las bolsas laterales al ovisaco, almacén de oocito/quiste o larva en ovisaco (el cual incluye fertilización del oocito y enquistamiento/ desarrollo larval) y liberación del quiste o nauplio del ovisaco al medio ambiente externo. El ciclo ovárico consiste de pre-vitelogénesis, vitelogénesis y ovulación (liberación del oocito del ovario a las bolsas laterales). El ciclo de la glándula de la concha consiste de una fase de recarga/almacenamiento y de una fase de descarga (secreción del material de la glándula de la concha en el ovisaco para formar el recubrimiento del huevo). La cópula ocurre cuando un macho sostiene una hembra alrededor de su segmento genital por medio de su segunda antena e introduce uno de sus dos penes en el ovisaco. Las hembras de los anostracos no almacenan esperma, por lo tanto la copulación es requerida para fertilizar cada embrague de ovocitos. Las hembras están receptivas para la copulación después de cada liberación de quistes/nauplios, muda y ovulación. Por lo tanto, una hembra receptiva tiene un ovisaco vacío y ovocitos maduros en las bolsas laterales (Maeda Martínez *et al.*, 2003).

La producción de quistes en *Thamnocephalus platyurus* es de 647 (rango de 98-1454), la cual incrementa con la edad (número de ciclos). Alcanzan la madurez en el día 12 y 13 después de la eclosión con una longitud estándar de 18-20 mm. Los primeros ciclos reproductivos ocurren en el día 13 y la detección, orientación, toma de estación, amplexus y copulación toma de 3-5 segundos. La detección, orientación y toma de estación ocurre con el macho localizado por encima del lado ventral de la hembra, con la cabeza colocada cerca de la punta de la bolsa de crianza. El amplexus y copulación ocurren con el macho debajo del lado dorsal de la hembra. La orientación y toma de estación ocurren en aproximadamente 2-3 segundos, mientras que el amplexus y copulación duran aproximadamente de 1-2 segundos. Aunque es común observar a los machos haciendo detección y orientación en las hembras, sólo en pocas ocasiones se observa la cópula. La duración del ciclo reproductivo incrementa con la edad, siendo la fase de almacenamiento de oocitos/quistes en el ovisaco (fase 3) la más larga con 89 y 91% de duración. La desintegración de oocitos sin concha en el ovisaco sugiere que los oocitos no fueron fertilizados. El paso espontáneo de oocitos de los sacos laterales al ovisaco ocurre en ausencia de machos. Estos oocitos no fertilizados se desintegran en el ovisaco y después son expulsados. Los oocitos transitan de las bolsas laterales al ovisaco aún en ausencia de cópula. La muda normalmente ocurre después de la liberación de quistes o de la ovulación; y esta última ocurre justo antes de vaciar el saco de crianza hasta 180 minutos después de vaciar el mismo. Las hembras son receptivas después de la muda (Maeda Martínez *et al.*, 2003). Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende *Thamnocephalus mexicanus* se presentan en la tabla III.

Tabla III. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende *Thamnocephalus mexicanus*. Tomado de Maeda-Martínez *et al.* (1995 y 2003).

Dato biológico o antecedente zootécnico	Resultado
Incubación de quistes	Si
Larvicultura	No
Cultivo de adultos	Si (levadura + spirulina)
Reproducción	Gonocórica
Fecundidad	199 quistes/día (6 días)
Eclosión de quistes (hábitat)	ND
Hábito	Omnívoro filtrador pelágico

2.5 Cultivo del camarón duende *Streptocephalus dorotheae*.

El género *Streptocephalus* se compone de 64 especies que ocurren en todos los continentes, excepto en la Antártida (Maeda-Martínez *et al.*, 2005; Rogers y Padhye, 2014). La diferenciación sexual se establece mediante la presencia o ausencia del saco ovífero en hembras y del desarrollo del segundo par de antenas en los machos. El periodo reproductivo ocurre 10 días después de la eclosión y cuando los organismos presentan una longitud promedio de 10 mm. El crecimiento de los organismos continúa junto con la maduración gonadal y a partir del día 18 se observan los primeros quistes. Después de 37 días de cultivo este organismo presenta una longitud promedio para ambos sexos de 19.2 mm. Las variables ambientales que se consideran como adecuadas para esta especie son pH de 7.2, temperatura de 27.8 °C, fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad y oxígeno de 6.1 mg/l (García-Barrera *et al.*, 2007).

La edad mínima de reproducción se considera como el momento en que los organismos comienzan a desarrollar caracteres sexuales, lo que sucede entre los 3 y 19 días después de la eclosión, mientras que el periodo de deposición de quistes inicia ocho días después de que los quistes se almacenan en el saco ovífero o a partir del día 18 de vida y que puede continuar por un periodo de 21 a 325 días y el cual varía con respecto a la especie, así como a factores ambientales como la temperatura, pH, amonio, densidad de cultivo, disponibilidad y cantidad de alimento (Beladdjal *et al.*, 2003; Castrejón *et al.*, 1993; García-Barrera *et al.*, 2007). Un factor restrictivo durante la reproducción es la disponibilidad, cantidad y calidad del alimento, ya que produce un efecto significativo en el

volumen, cantidad y tamaño de los quistes, independientemente del tipo de dieta que se proporcione (Ali *et al.*, 1999). Un factor limitante en la producción de quistes es la densidad de cultivo debido quizá a que a mayor densidad se presenta competencia por espacio y alimento lo que disminuye las posibilidades de las hembras de almacenar energía para la posterior producción de quistes (García-Barrera *et al.*, 2007). En *S. mackini* y *S. proboscideus* se puede obtener una producción de 300-1,800 quistes/hembra utilizando densidades de 1 a 10 org/l y amplia disponibilidad de alimento (Brendonck *et al.*, 1990; Castrejón y Porras, 1994). Además del efecto de la densidad en la producción de quistes, los resultados también indican que es posible una consecuencia en la supervivencia, ya que los organismos que se cultivan a bajas densidades tienen porcentajes de supervivencia superiores con respecto a los que se cultivan a altas densidades (Anaya-Soto *et al.* 2003; García-Barrera *et al.*, 2007). Las condiciones ambientales para la producción son menos exigentes y los factores que intervienen principalmente en el éxito de esta especie son la densidad poblacional y la cantidad y disponibilidad de alimento. Asimismo, soporta amplios rangos de temperatura y concentraciones bajas de oxígeno, ventajas adicionales de esta especie (Ali *et al.*, 1999; Anaya-Soto *et al.*, 2003; García-Barrera *et al.*, 2007).

Debido al constante crecimiento de las actividades acuícolas y a la demanda de productos para la alimentación de larvas de peces y crustáceos, existe una sobreexplotación de los recursos que se utilizan comúnmente como alimento vivo, principalmente de la *Artemia* sp, que muchas veces es difícil de adquirir por su precio y en las cantidades que requieren los acuicultores; de aquí la necesidad de buscar y desarrollar la tecnología de cultivo para producir otros organismos como alimento vivo. Casos concretos son los cultivos masivos de invertebrados como los rotíferos, cladóceros y anostracos. Por tal motivo, el camarón duende *Streptocephalus* sp. se puede considerar como alimento vivo alternativo en la acuicultura, debido a sus características morfológicas y de cultivo similares a la *Artemia*. Además de que es un organismo que tolera elevadas densidades de confinamiento, presenta un ciclo de vida corto, fácil manejo y, a diferencia de la *Artemia*, se puede producir a bajos costos. Este organismo produce embriones dentro de quistes que permanecen latentes durante largos periodos, por lo que resisten variaciones extremas de clima como las temporadas de sequía, durante las cuales permanecen en el quiste hasta que

se presentan condiciones ambientales propicias para reiniciar su ciclo de vida. Los quistes de esta especie, al igual que los de *Artemia*, se pueden almacenar y usar en el momento que se requieran como complemento en la acuicultura, debido a que consiguen cubrir adecuadamente los requerimientos nutrimentales básicos de estadios larvarios de diversos peces y crustáceos, periodo en el que la alimentación es importante (García-Barrera *et al.*, 2007). Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende *Streptocephalus dorotheae* se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. Datos biológicos y antecedentes zootécnicos del camarón duende *Streptocephalus dorotheae*. Tomado de Ali y Brendonck (1995).

Dato biológico o antecedente zootécnico	Resultado
Incubación de quistes	Si
Larvicultura	Si (microalgas <i>Selenastrum</i>)
Cultivo de adultos	Si (microalgas <i>Selenastrum</i>)
Reproducción	Gonocórica
Fecundidad	155 quistes/día (6 semanas)
Eclosión de quistes (hábitat)	ND
Hábito	Omnívoro filtrador pelágico

3. JUSTIFICACIÓN

3.1 Importancia Científica.

La evaluación del cultivo de los crustáceos filtradores *Triops* sp., *Thamnocephalus mexicanus* y *Streptocephalus dorotheae* aportará información sobre la capacidad de adaptación de estas especies para utilizar flóculos de BFT, los cuales son diferentes a los flóculos de su medio natural argilotrófico.

3.2. Importancia Tecnológica.

Si los resultados muestran una alta capacidad de adaptación de estas especies para utilizar flóculos de BFT se tendrá un avance tecnológico con gran potencial en la acuicultura para producir biomasa animal a partir del reciclaje de nutrientes en un sistema BFT. Podrá servir de fundamento para la innovación del cultivo de Tilapia en un sistema Biofloc.

3.3 Importancia para el desarrollo.

3.3.1 Pertinencia Económica.

Si los resultados son positivos, teóricamente se podrá aumentar y mejorar el reciclaje de nutrientes en el sistema BFT, lo cual eventualmente podrá ayudar a reducir los costos de producción.

3.3.2 Pertinencia Ambiental.

Si los resultados son positivos, teóricamente se podrá aumentar y mejorar el reciclaje de nutrientes en el sistema BFT y con ello no se verá afectada la ventaja ambiental del sistema BFT de no producir efluentes.

3.3.3 Pertinencia Social.

Si los resultados son positivos, teóricamente se podrá aumentar y mejorar el reciclaje de nutrientes en el sistema BFT, lo cual eventualmente podrá ayudar a reducir los costos de producción, y por lo tanto podrá impactar socialmente con una mayor disponibilidad de proteína.

4. HIPÓTESIS

Si en sistemas argilotróficos la función termodinámica del reciclaje de nutrientes con la utilización de material particulado suspendido la llevan al cabo organismos filtradores como los crustáceos branquiópodos, entonces éstos crustáceos serán capaces de vivir, crecer y reproducirse en un medio del sistema BFT.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

Evaluar el cultivo de los crustáceos branquiópodos *Triops* sp. KM64 (Notostraca), *Thamnocephalus mexicanus* y *Streptocephalus dorotheae* (Anostraca) en un medio BFT.

5.2 Objetivos particulares

1. Evaluar el desempeño productivo (crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia) de Tilapia *Oreochromis niloticus* cultivada en un sistema RAS con dos alimentos comerciales.
2. Evaluar un sistema BFT con melaza como fuente de carbono para la relación teórica Carbono-Nitrógeno de 12:1 y un sistema BFT con sacarosa refinada como fuente de carbono para la relación teórica Carbono-Nitrógeno de 20:1.
3. Evaluar la supervivencia, crecimiento, producción y eclosión de quistes de *Triops* cultivado en medio del sistema BFT, en comparación a un sistema control (sin BFT) y con alimentos comerciales.
4. Evaluar la supervivencia y crecimiento de *Thamnocephalus mexicanus* en medio BFT con Tilapias, en dos sistemas de cultivo: canaletas y garrafrones.
5. Evaluar la supervivencia y crecimiento de *Streptocephalus dorotheae* en medio BFT con Tilapias, en dos sistemas de cultivo: canaletas y garrafrones.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Material y métodos del objetivo particular 1.

6.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.

Se recibieron (día 1: 09 abril 2017) 64 ejemplares vivos de Tilapia *Oreochromis niloticus* procedentes del Laboratorio de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Tilapia (LIDETI) perteneciente a la Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (UNCIBNOR). Las crías de Tilapia de aproximadamente 4.7 g de peso y 5.0 cm de talla (30 días) no presentaron mortalidad a la recepción, estaban aparentemente sanas a la vista y se aclimataron antes de su siembra en un sistema sin recirculación (Anexo A). Para llevar a cabo los cultivos se utilizó agua potable del suministro municipal y se aplicó aireación con piedras difusoras. Para la calidad del agua potable del suministro municipal (Anexo B). Se alimentó con un producto comercial en pellet de Purina® (Nutripec Desarrollo 2.4 mm) (Anexo C) a una tasa de alimentación del 8% de la biomasa (Anexo D). Al día siguiente se confirmó que el alimento administrado se encontraba flotando en la superficie del agua. Por lo que se decidió triturar para disminuir

el tamaño de partícula y favorecer el consumo por parte del pez. Además se decidió cubrir el tanque con una malla sombra para disminuir la luz directa del sol. A partir del día 3 se realizó sifoneo del tanque para retirar alimento no consumido y los desechos de los peces, añadiendo agua limpia para reestablecer el nivel del tanque. Para la obtención de esta agua se contó con una tina de reserva de agua y decoloración con aireación constante durante mínimo 24 h y evitar residuos de cloro. A partir del día 6 se observó que el agua adquiría una coloración verde probablemente por la presencia de microalgas. También se observaron tres organismos muertos (4.7% de mortalidad) que se encontraban flotando en la superficie del agua, razón por lo cual se decidió hacer recambio de agua de aproximadamente el 40% cada tercer día. Del día 7 en adelante hubo más casos de mortalidad, por lo que se decidió continuar con el sifoneo del tanque y recambio de agua. El día 9 hubo mortalidad de 2 organismos más (9.4% de mortalidad), en los cuales se evaluó el contenido estomacal y no se observó la presencia de alimento comercial, sólo una coloración verde en uno de los individuos. Con base en estas observaciones se ofreció el mismo alimento triturado de Tilapia combinado con alimento en pellet para camarón, con un tamaño de partícula de 1.5-2.00 mm de diámetro, sin obtener resultados positivos. Al día 16 se instaló un nuevo sistema de aireación a base de manguera porosa (Aerotube®) y al día 17 se colocaron a los peces nuevamente en el tanque. Este mismo día se alimentó en dos ocasiones con sardinas en salsa de tomate Guaymex® y alimento para camarón triturado para facilitar el consumo del mismo. Al día 27 se inició la alimentación con alimento en hojuela Wardley® (Anexo C) obteniendo una respuesta positiva, ya que las Tilapias aceptaron mejor las hojuelas que los otros alimentos ofrecidos (alimento para tilapia, alimento para camarón y sardina) y se logró disminuir a cero la elevada mortalidad que se tenía. Al día 36 se llevó a cabo el proceso de anestesia (Anexo E) con el objetivo de determinar el peso y la talla (Anexo F) y ajustar la alimentación (Anexo D). Al día 45 se determinó nuevamente el peso y la talla, previo proceso de anestesia, y se realizó un desdoble para evaluar un sistema RAS (Anexo G) con 10 organismos y evaluar el comportamiento de los peces en un acuario con 2 organismos. Se inició con la determinación de variables de la calidad del agua cada 4 días. Las variables que se determinaron fueron la temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, pH, amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad y amonio no ionizado

(Anexo H). Al día 92 se determinó el peso y la talla con el objetivo de transferir a todos los organismos al sistema RAS (Anexo G). Se determinó el factor de condición (K), tasa de conversión alimenticia (FCR) y supervivencia (Anexo F). El registro de la mortalidad, mortalidad acumulada y supervivencia de juveniles de Tilapia durante este periodo de cultivo en un sistema sin recirculación se presentan en el anexo I.

6.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.

Se mantuvieron en cultivo durante 170 días 36 juveniles de Tilapia con un peso inicial promedio de 44.6 (± 11.4) en un sistema RAS (Anexo G). Se administró alimento en hojuela Wardley® (Anexo C) con una tasa de alimentación del 3% (Anexo D) y se mantuvo un flujo constante de agua de aproximadamente 3.6 L/min. Cada cuatro días se determinó la temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, pH, oxígeno disuelto, amonio, amonio no ionizado, nitritos y nitratos (Anexo H). Al final del ensayo se llevó a cabo el proceso de anestesia de las Tilapias (Anexo E) y se determinaron el peso, talla, K, FCR y supervivencia (Anexo F).

6.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.

Con base en los resultados obtenidos en los cultivos descritos anteriormente y considerando el crecimiento (peso y talla), K, FCR y supervivencia obtenidos en el cultivo de Tilapia en el sistema RAS con alimento en hojuela Wardley®, cuyo costo es de \$600.00 el kilogramo, se decide comparar el desempeño productivo de la Tilapia utilizando este alimento (Wardley®) y un alimento comercial de menor costo como Purina®, cuyo costo es de \$30.72 el kilogramo. La composición nutricional e ingredientes de los alimentos Purina® (pellets) y Wardley® (hojuelas) utilizados en este ensayo se presentan en el Anexo C. El experimento tuvo una duración de 28 días y se llevó a cabo en el sistema RAS (Anexo G). Se colocaron 18 ejemplares con un peso inicial promedio de 228.1 (± 42.5) g en el Tratamiento 1 = alimento Purina® en pellets y de 232.8 (± 41.8) g en el Tratamiento 2 = alimento Wardley® en hojuelas sin haber diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$). La tasa de alimentación que se administró fue del 2% de la biomasa (Anexo D).

Cada cinco días se determinó la temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos disueltos totales, pH, oxígeno disuelto, amonio, amonio no ionizado, nitritos y nitratos (Anexo H). También se drenó el tanque sedimentador para eliminar los desechos acumulados. Al final del experimento se determinó el peso, talla, K, FCR, supervivencia e incidencia de costos (Anexo F). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante la prueba de ANOVA de una vía, con previa comprobación de la Normalidad y Homocedasticidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnoff y la prueba de Levene respectivamente, y en los casos donde se detectaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$) se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con el programa estadístico Past.

6.2 Material y métodos del objetivo particular 2.

6.2.1 Fase 1. Establecimiento del sistema BFT-1 sin Tilapia.

1. Se calculó la cantidad de alimento en pellet Purina® (40% de proteína) para una densidad de 35 organismos/m³ con un peso promedio de 12.3 g y una tasa de alimentación del 5% (Anexo D).
2. Se determinó la cantidad de melaza (50% de carbono) a agregar para mantener una relación teórica de Carbono:Nitrógeno de 12:1 (Anexo J) (Emerenciano *et al.*, 2017).
3. Se instaló un tanque circular de 750 L y se aplicó aireación con manguera porosa para establecer el sistema BFT.
4. Para establecer el sistema BFT se agregaron 21.6 g de alimento en pellet Purina® molido, 15.8 g de melaza, 2 g de Epicin hatcheries® (con *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae*), 100 L de agua provenientes de un cultivo con Tilapias y 300 L de agua provenientes del suministro municipal (Avnimelech, 2012).
5. Diariamente se agregaron 21.6 g de alimento en pellet Purina® molido y 15.8 g de melaza hasta que los niveles de amonio y nitritos descendieron a 0 ppm y el SS aumentó a 50 mL/L, y posteriormente se agregaron cada siete días.
6. Se determinaron cada cuatro días los valores de las variables de temperatura, pH, amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales,

salinidad y oxígeno disuelto hasta que los niveles de amonio y nitritos descendieron a 0 ppm y el SS aumentó a 50 mL/L, y posteriormente se determinaron cada siete días. Los sólidos sedimentables se determinaron de manera esporádica (Anexo H).

7. Al día 35 de cultivo se cambió el alimento en pellet Purina® por un alimento en hojuela Wardley® (Anexo C).

8. Se agregó sólo el agua perdida por evaporación y el sistema se mantuvo durante 191 días.

6.2.2 Fase 2. Establecimiento del sistema BFT-2 con Tilapia.

1. En un tanque de 3 m³ y aireación con manguera porosa se colocaron 18 Tilapias con peso promedio de 636.8 (±129.5) (Anexo K).

2. Se determinó la cantidad de alimento en pellet de Purina® con 25% de proteína a administrar diariamente con una tasa de alimentación del 1% (Anexo D).

3. Se calculó la relación teórica de Carbono - Nitrógeno de 20:1 utilizando sacarosa refinada con 41% de carbono (Ray, 2012), la cual se añadió diariamente durante treinta días y posteriormente cada 7 días (Anexo J) (Avnimelech, 2012; Emerenciano *et al.*, 2017).

4. Cada seis días se determinaron la temperatura, pH, amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, salinidad, oxígeno disuelto y sólidos sedimentables. Los sólidos suspendidos totales se determinaron de manera esporádica (Anexo H). Para corroborar los valores de amonio, nitritos y nitratos obtenidos con el kit, estos se mandaron a determinar en una ocasión al Laboratorio de Análisis Químicos del Agua del CIBNOR y los resultados obtenidos se presentan en el Anexo L.

5. Al día 82 del cultivo se ajustó la alimentación con base en un análisis de regresión lineal simple considerando la ganancia de peso de las Tilapias (Anexo D).

6. Se determinaron el peso, talla, K, FCR y supervivencia (Anexo F).

7. Se agregó el agua perdida por la evaporación y el ensayo tuvo una duración de 97 días.

6.3 Material y métodos del objetivo particular 3.

6.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo *Triops* sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

6.3.1.1 Evaluación de la supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia (Fig. 6).

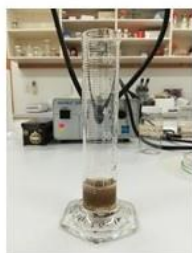
1. Se recolectaron 24 adultos de *Triops* del sistema de cultivo externo (Anexo M) y se les determinó el peso y la talla (Anexo N).
2. Se colocaron seis organismos en un sistema de canaletas (4 unidades) con un flujo de agua de ca. 1.5 L/min procedente del sistema BFT-1 sin Tilapias (Anexo Ñ).
3. Se determinaron cada cuatro días la temperatura, pH, amonio, nitritos, nitratos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, salinidad, oxígeno disuelto y sólidos sedimentables (Anexo H).
4. La duración del ensayo fue de nueve días y al final de este se determinó el peso, talla factor de condición y supervivencia de los organismos colectados (Anexo N); así como el número de quistes colectados del sedimento mediante la siguiente metodología (Fig. 7):
 - A. El sedimento de las canaletas se filtró con un tamiz de 300 μm y se depositó en recipientes de 5 L.
 - B. El sedimento obtenido se filtró nuevamente con un tamiz de 300 μm y se depositó en un frasco de cristal aforado con agua a 130 mL.
 - C. Se agitó el frasco de cristal y se obtuvieron tres alícuotas de 10 mL con una probeta de 100 mL.
 - D. El volumen obtenido se colocó en una caja de Petri de cristal y se realizó el conteo de los quistes.
 - E. Los quistes obtenidos fueron depositados en grupos de 100 en rodajas de papel filtro.

Inicio del ensayo:Sistema de cultivo externo
(origen de ejemplares)Biometría inicial
(peso y talla)Siembra en sistema
de canaletasSistema de
canaletas**Final del ensayo:**

Supervivencia

Crecimiento
(peso y talla)Reproducción
(número de quistes)

Figura 6. Secuencia de las etapas para la evaluación de la supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

Agitación de muestra de
130 mL con quistes

Alicuota de 10 mL



Conteo de quistes de tres alicuotas

Figura 7. Secuencia de las etapas para la estimación del número de quistes obtenidos en el sistema de canaletas con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

6.3.1.2 Determinación del porcentaje de quistes con embrión obtenidos del cultivo de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural (Fig. 8).

1. Hidratación de los quistes en agua potable por un periodo de 2 h.
2. Descapsulación en una caja de Petri añadiendo una solución de 5 mL de hipoclorito de sodio y 2.5 mL de agua potable (2:1) por un periodo de 5 min. Es importante realizar este paso en el microscopio estereoscópico para observar dicho proceso.

3. Lavado de los embriones obtenidos, eliminando la solución de la descapsulación y añadiendo y eliminando agua potable durante tres ocasiones como mínimo, para eliminar los residuos del hipoclorito de sodio y las impurezas que pudieran permanecer entre los embriones.
4. Conservar los embriones obtenidos colocándolos en tubos Eppendorf con alcohol absoluto.



Figura 8. Secuencia de las etapas de la descapsulación para determinar el porcentaje de quistes con embrión.

6.3.1.3 Determinación del porcentaje de eclosión de quistes obtenidos del cultivo de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural (Fig. 9).

1. Depositar 100 quistes en un frasco eclosionador de poliestireno transparente de 60 mL, el cual cuenta con la tapa y el fondo cubiertos con una gasa de 100 μm .
2. Desechar las muestras a 37 °C durante 24 h en una estufa de secado®.
3. Aclimatar los quistes a temperatura ambiente por un periodo de 2 h.
4. Colocar cada frasco eclosionador en un matraz Erlenmeyer de 600 mL y sumergirlo en agua potable.
5. Incubar a baño María en un sistema de incubación con aireación constante y luz continua. La aireación constante se suministró a través de pipetas Pasteur y la luz fue provista continuamente por dos lámparas fluorescentes de 40 W instaladas a 30 cm por encima de los matraces de incubación (Anexo O) (Obregón-Barboza *et al.*, 2001).
6. Determinar los TDS, temperatura, pH, DO e intensidad luminosa (Anexo O).
7. Determinar la eclosión de los quistes retirando los nauplios a las 24 y 48 h.



Figura 9. Secuencia de las etapas de incubación de quistes para determinar el porcentaje de eclosión.

6.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de *Triops*.

6.3.2.1 Cultivo larvario de *Triops* con medio proveniente del sistema BFT-2 con Tilapia (Fig. 10).

1. Se colocaron 1,600 quistes del hábitat natural en 4 frascos eclosionadores y se pusieron a desecar a 37 °C durante 24 h en una estufa de secado®.
2. Se llevó a cabo la incubación de los quistes en un sistema de incubación de acuerdo al método descrito por Obregón-Barboza *et al.*, (2001) (Anexo O).
3. Se colectaron los nauplios eclosionados a las 24 y 48 horas y se lavaron de manera individual durante tres ocasiones, haciéndose pasar en tres cajas de Petri que contenían agua potable.
4. Los nauplios obtenidos se colocaron en el sistema de canaletas (4 unidades) con un volumen de agua de ca. 126 L procedentes del sistema Biofloc-2 con Tilapias (Anexo Ñ).
5. Se determinó la supervivencia a las 72 horas (Anexo N).



Figura 10. Secuencia de las etapas de incubación de quistes para la siembra de larvas en el sistema de canaletas.

6.3.2.2 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación de tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de *Triops*.

*Preparación del alimento:

Añadir en un vaso deprecipitado de 1 L 800 mL de agua potable (Ciel®), 0.1 g 800 mL⁻¹ de levadura de panadería (Nevada, Safmex®), 0.7 g (1 cápsula) 800 mL⁻¹ de espirulina (Spirulina, GNC Superfoods®), y 0.4 g (1 cápsula) 800 mL⁻¹ de probióticos (Probiotix: *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*®). Homogeneizar en un agitador de placa caliente (cerámica, 7x7, 120V modelo 1235A21) durante 20 min a una intensidad de 400 rpm y mantener a 4 °C en el mismo recipiente cubierto.

1. Incubar 500 quistes de *Triops* del hábitat natural en un sistema de incubación de acuerdo al método descrito por Obregón-Barboza *et al.*, (2001) (Anexo O).
2. Retirar las larvas eclosionadas a las 24 horas y realizarles 3 lavados de manera individual.
3. Agregar agua potable a 30 recipientes de cultivo de 130 mL según el tratamiento (T1: 28 mL, T2: 26 mL y T3: 22 mL).
4. Colocar una larva en cada recipiente y mantener en baño María a 28 °C.
5. Agregar dos veces al día la suspensión de alimentos de la siguiente manera:
 - Agitar y tomar 70 mL de la solución madre.
 - Filtrar la suspensión obtenida con un tamiz de 100 µm.
 - Agitar y agregar con una jeringa de 3 mL la cantidad de suspensión requerida según el tratamiento (T1: 1 mL, T2: 2 mL y T3: 4 mL).
6. Verificar cada 24 h el estado (vivo o muerto) de los metanauplios de *Triops* y retirar los organismos muertos.
7. Repetir diariamente en el paso 3, 5 y 6.

6.3.2.3 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y agua del sistema BFT-2 con Tilapia en el cultivo larvario de *Triops*.

*Preparación del alimento:

T1 (Alimento Totto®): Moler el alimento comercial en un molino de café hasta obtener un polvo fino el cual es filtrado en un tamiz de 300 μm en seco. Tomar en un tubo eppendorf de 1 mL una cantidad de la muestra filtrada y suspender en un frasco de 100 mL con 50 mL de agua potable, agitar y filtrar en una malla de 20 μm para obtener 50 mL de alimento ya suspendido.

T2 (Alimento Wardley®): El mismo procedimiento que el alimento anterior.

T3 (agua del sistema Biofloc-2): Tomar 100 mL de agua con 40 mL/L de sólidos sedimentables y filtrar con una malla de 20 μm .

*Plan de alimentación:

Día 1: 2 raciones de 2 mL filtrado con 20 μm .

Día 2: 2 raciones de 2 mL filtrado con 20 μm y 1 ración de 2 mL filtrado con 50 μm .

Día 3: 2 raciones de 2 mL filtrado con 50 μm y 2 raciones de 2 mL filtrado con 100 μm .

1. Incubar 500 quistes de *Triops* del hábitat natural en un sistema de incubación de acuerdo al método descrito por Obregón-Barboza *et al.* (2001) (Anexo O).
2. Colectar 10 larvas por tratamiento a las 24 horas y realizarles 3 lavados de manera individual.
3. Agregar 30 mL de agua potable a 30 recipientes de cultivo de 130 mL.
4. Colocar una larva en cada recipiente y mantener en baño María a 28 °C.
5. Alimentar con cada tratamiento según el plan de alimentación descrito anteriormente.
6. Verificar cada 24 h el estado (vivo o muerto) de los metanauplios de *Triops* y retirar los organismos muertos.
7. Retirar el agua del cultivo cada 24 h y repetir los pasos 3, 5 y 6.

6.4 Material y métodos del objetivo particular 4.

6.4.1 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus*. Ensayo 1: Sistema de canaletas (Fig. 11).

1. Se recolectaron 140 juveniles de *Thamnocephalus* del sistema de cultivo externo (Anexo M).
2. Se anestesiaron 20 organismos con agua mineral (agua gaseosa comercial) (Anexo P) y se determinó la talla de los mismos (Anexo N).
3. En el sistema de canaletas se colocaron 30 organismos en cada canaleta (4 unidades) con un volumen de agua de ca. 126 litros de agua procedente del sistema BFT-2 con Tilapias (Anexo Ñ).
4. La duración del ensayo fue de 3 días y al final de este se determinó la talla y supervivencia, previo proceso de anestesia (Anexos P y N).

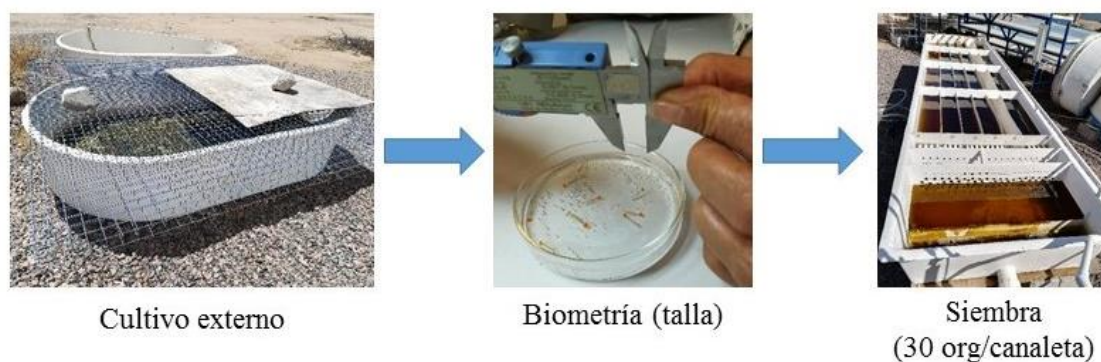


Figura 11. Secuencia de las etapas del Ensayo 1 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus* en sistema de canaletas con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

6.4.2 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus*. Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos (Fig. 12).

1. Se recolectaron 270 juveniles de *Thamnocephalus* del sistema de cultivo externo (Anexo M).
2. Se anestesiaron 30 organismos con agua mineral (agua gaseosa comercial) (Anexo P) y se les determinó la talla (Anexo N).

3. En un sistema de garrafones invertidos se colocaron 60 organismos en cada garrafón (4 unidades) con 9 litros de agua filtrada con un tamiz de 180 μm proveniente del sistema BFT-2 con Tilapias.
4. El ensayo tuvo una duración de 3 días y al final de éste se determinó la talla y supervivencia, previo proceso de anestesia (Anexos P y N).

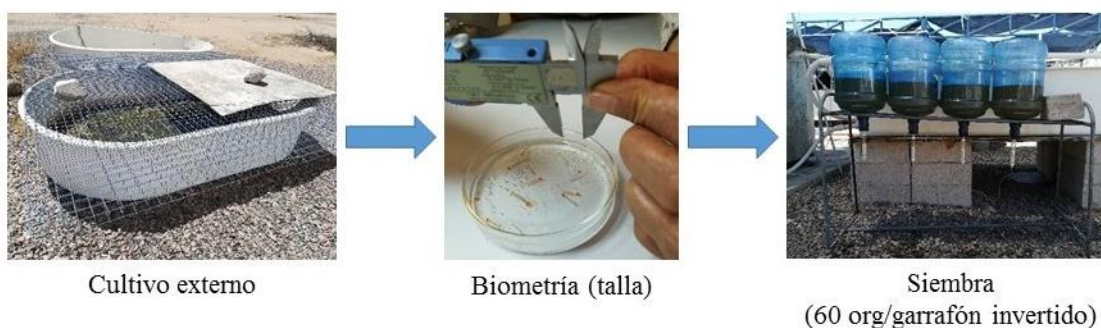


Figura 12. Secuencia de las etapas del Ensayo 2 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus* en sistema de garrafones invertidos con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

6.5 Material y métodos del objetivo particular 5.

6.5.1 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae*. Ensayo 1: Sistema de canaletas (Fig. 13).

1. Se recolectaron 277 juveniles de *Streptocephalus* del sistema de cultivo externo (Anexo M).
2. Se anestesiaron 37 organismos con agua mineral (agua gaseosa comercial) (Anexo P) y se determinó la talla (Anexo N).
3. En el sistema de canaletas se colocaron 60 organismos en cada canaleta (4 unidades) con un volumen de agua de ca. 126 L proveniente del sistema BFT-2 con Tilapias (Anexo Ñ).
4. La duración del ensayo fue de 21 días y al final de este se determinó la talla y supervivencia, previo proceso de anestesia (Anexos P y N).

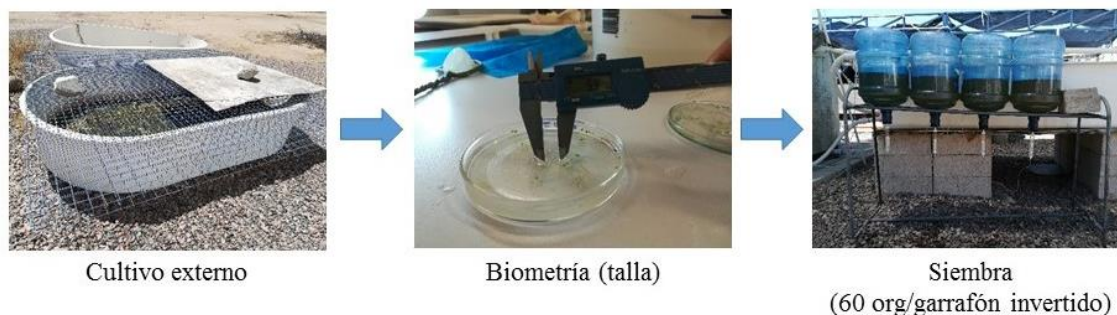


Figura 13. Secuencia de las etapas del Ensayo 1 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae* en sistema de canaletas con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

6.5.2 Evaluación de la supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae*. Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos (Fig. 14).

1. Se recolectaron 270 juveniles de *Streptocephalus* del sistema de cultivo externo (Anexo M).
2. Se anestesiaron 30 organismos con agua mineral (agua gaseosa comercial) (Anexo P) y se determinó la talla (Anexo N).
3. En el sistema de garrafones invertidos se colocaron 60 organismos en cada garrafón (4 unidades) con 9 L de agua filtrada con un tamiz de 180 μm proveniente del sistema BFT-2 con Tilapias.
4. El ensayo tuvo una duración de 3 días y al final de éste se determinó la talla y supervivencia, previo proceso de anestesia (Anexos P y N).

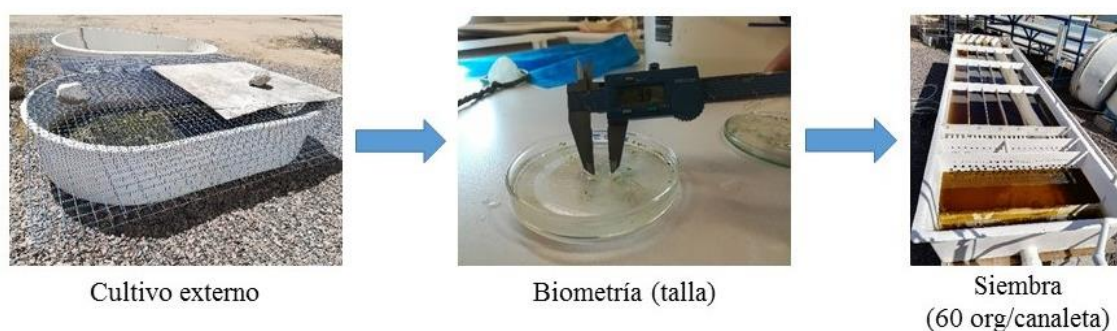


Figura 14. Secuencia de las etapas del Ensayo 2 para la evaluación de la supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae* en sistema de garrafones invertidos con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

7. RESULTADOS

7.1 Resultados del objetivo particular 1.

7.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.

Las variables de la calidad del agua en general se encontraron dentro del rango recomendado por Alcántar-Vázquez *et al.* (2014), Oviedo *et al.* (2013) y Timmons *et al.* (2002) para el cultivo de Tilapia, salvo la concentración de amonio y nitritos que se mantuvieron por arriba de ese rango. Los resultados obtenidos de la calidad del agua durante el cultivo de la Tilapia en un sistema sin recirculación se presentan en la Tabla V.

Tabla V. Calidad del agua del cultivo sin recirculación de Tilapia.

Variable	Cultivo sin recirculación	Rango recomendado
Temperatura (°C)	28.2 ± 2.0	26 – 30 ^I
pH	8.1 ± 0.2	6.5 – 9 ^I
Amonio (ppm)	0.4 ± 0.2	≤ 0.1 ^I
Amonio no ionizado (mg/L)	0.1 ± 0.01	≤ 0.6 ^{III}
Nitritos (ppm)	0.6 ± 0.5	≤ 0.1 ^I
Nitratos (ppm)	50.0 ± 0	0 - 400 ^{II}
Alcalinidad (mg/L)	183.6 ± 19.2	50 – 300 ^{II}
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.2 ± 0.1	≤ 500 ^I
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.7 ± 0.02	≤ 400 ^{II}
Salinidad (g/L)	0.6 ± 0.1	≤ 10 ^I

Notas: ^I Oviedo *et al.*, 2013; ^{II} Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014; ^{III} Timmons *et al.*, 2002.

Los resultados de peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos durante el cultivo de la Tilapia en un sistema sin recirculación se presentan en la tabla VI. La elevada mortalidad se corrigió cuando se administró el alimento en hojuela.

Tabla VI. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el cultivo de Tilapia (n = 64) en un sistema sin recirculación.

Variable	Cultivo sin recirculación	Cultivo sin recirculación
	Inicio	Final
Peso (g)	1.5	44.6 ± 11.4
Talla (cm)	2.5	14.2 ± 1.0
K		1.5 ± 0.1
FCR		1.2
Supervivencia (%)		56.2

7.1.2. Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.

La mayoría de las variables de la calidad del agua se mantuvieron dentro del rango óptimo para la especie, excepto el amonio y los nitritos que se encontraron por arriba del valor óptimo y el oxígeno disuelto que se mantuvo por debajo. La calidad del agua del cultivo de Tilapias en el sistema RAS se presenta en la tabla VII.

Tabla VII. Calidad del agua del cultivo de Tilapia en el sistema RAS.

Variable	Sistema RAS	Rango recomendado
Temperatura (°C)	26.7 ± 2.4	26 – 30 ^I
pH	7.8 ± 0.5	6.5 – 9 ^I
Amonio (ppm)	1.0 ± 1.7	≤ 0.1 ^I
Amonio no ionizado (mg/L)	0.1 ± 0.02	≤ 0.6 ^{III}
Nitritos (ppm)	0.6 ± 0.5	≤ 0.1 ^I
Nitratos (ppm)	45.7 ± 13.8	0 - 400 ^{II}
Alcalinidad (mg/L)	136.9 ± 26.5	50 – 300 ^{II}
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.4 ± 0.3	≤ 500 ^I
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.9 ± 0.2	≤ 400 ^{II}
Salinidad (g/L)	0.7 ± 0.1	≤ 10 ^I
Oxígeno disuelto (mg/L)	3.7 ± 0.5	5.1 – 9 ^I

Notas: ^I Oviedo *et al.*, 2013; ^{II} Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014; ^{III} Timmons *et al.*, 2002.

De los resultados obtenidos, se observa un incremento en peso, talla y K. Aunque el valor de FCR (1.7) se considera aceptable se desea que entre más bajo mejor y se obtuvo 100% de supervivencia. Los resultados de peso, talla, K, FCR y supervivencia se presentan en la tabla VIII.

Tabla VIII. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el ensayo de Tilapia cultivada en el sistema RAS.

Variable	Sistema RAS Inicial	Sistema RAS Final
Peso (g)	44.6 ± 11.4	230.4 ± 42.2
Talla (cm)	14.2 ± 1.0	23.0 ± 1.7
K	1.5 ± 0.1	1.9 ± 0.2
FCR		1.7
Supervivencia (%)		100

7.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.

La mayoría de las variables de la calidad del agua se mantuvieron dentro del rango óptimo para la especie, excepto el amonio y los nitritos que se encontraron por arriba del valor óptimo y el oxígeno disuelto que se mantuvo por debajo. Los resultados de la calidad del agua del cultivo de Tilapias con dos alimentos comerciales y en un sistema RAS se presentan en la tabla IX.

Tabla IX. Calidad del agua en sistema RAS para evaluar dos alimentos comerciales (Purina® y Wardley®) en el desempeño de Tilapia.

Variable	Sistema Tratamiento-1 (Purina®)	Sistema Tratamiento-2 (Wardley®)	Rango recomendado
Temperatura (°C)	25.5 ± 2.0	25.2 ± 1.8	26 – 30 ^I
pH	7.4 ± 0.1	7.7 ± 0.2	6.5 – 9 ^I
Amonio (ppm)	1.6 ± 2.9	3.7 ± 4.1	≤ 0.1 ^I
Amonio no ionizado (mg/L)	0.05 ± 0.001	0.1 ± 0.01	≤ 0.6 ^{III}
Nitritos (ppm)	1.6 ± 0.5	0.9 ± 1.0	≤ 0.1 ^I
Nitratos (ppm)	121.4 ± 66.4	14.3 ± 12.7	0 - 400 ^{II}
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.4 ± 0.2	1.5 ± 0.1	≤ 500 ^I
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.9 ± 0.1	1.0 ± 0.03	≤ 400 ^{II}
Salinidad (g/L)	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1	≤ 10 ^I
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	5.1 – 9 ^I

Notas: ^I Oviedo *et al.*, 2013; ^{II} Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014; ^{III} Timmons *et al.*, 2002.

De los resultados obtenidos se observó un incremento en peso, talla y K, siendo mayores los resultados obtenidos en peso y K para el alimento Purina® y sin diferencia significativa para el caso de la talla ($P < 0.05$) (ver ejemplo de ejemplares en Fig. 15). Se obtuvo un mejor valor de FCR con el alimento Purina® comparado con el alimento Wardley® y por ende una menor incidencia de costos. Para ambos tratamientos se obtuvo 100% de supervivencia. Los resultados de peso, talla, K, FCR y supervivencia se presentan en la tabla X.

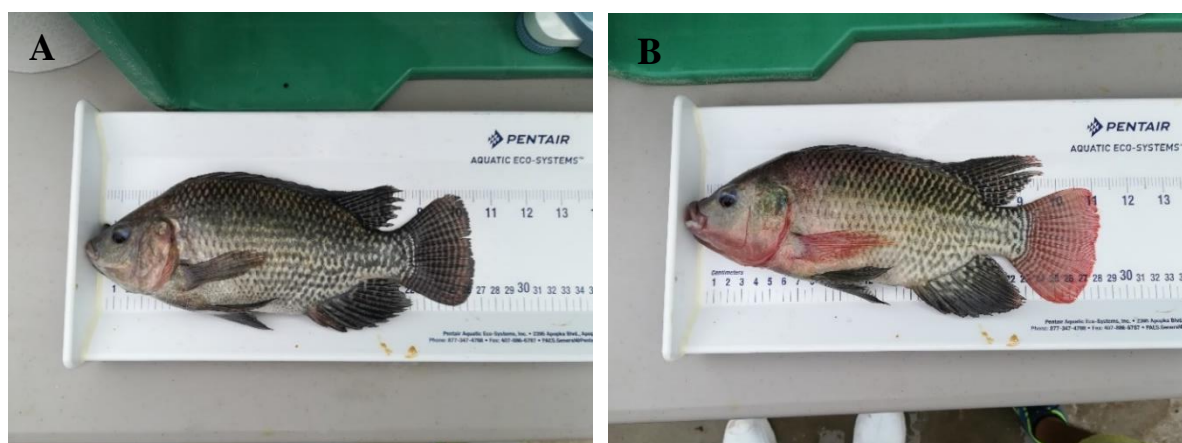


Figura 15. Ejemplares de Tilapia al final del experimento para la definición de un alimento estándar. A. Tratamiento-1 con Purina® y B. Tratamiento-2 con Wardley®.

Tabla X. Peso, talla, K, FCR y supervivencia obtenidos al finalizar el experimento de Tilapia cultivada en el sistema RAS con dos alimentos comerciales (alimento Purina® y alimento Wardley®).

Variable	Sistema R1	Sistema R1	Sistema R2	Sistema R2
	(Purina®)	(Purina®)	(Wardley®)	(Wardley®)
	Inicial	Final	Inicial	Final
Peso (g)	228.1 ± 42.5	403.0 ± 69.7 ^a	232.8 ± 41.8	343.7 ± 76.3 ^b
Talla (cm)	23.0 ± 1.7	27.0 ± 1.7 ^a	22.9 ± 1.6	26.3 ± 1.4 ^a
K	1.9 ± 0.2	2.0 ± 0.1 ^a	1.9 ± 0.3	1.9 ± 0.2 ^b
FCR		0.7		1.2
Supervivencia (%)		100		100
Incidencia de costos		22.4		704.8

Notas: ^{a, b} Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística ($P < 0.05$).

7.2 Resultados del objetivo particular 2.

7.2.1 Fase 1. Establecimiento del sistema BFT-1 sin Tilapia.

En general, la calidad del agua se mantuvo dentro del valor óptimo para el cultivo de la Tilapia, excepto el nivel de nitratos que se mantuvieron por arriba del valor óptimo. Al día 32 de cultivo se considera que el sistema se estabilizó, ya que el amonio y los nitritos descendieron a 0 ppm y los SS aumentaron a 50 mL/L. La calidad del agua del sistema BFT-1 con melaza como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 12:1 se presenta en la tabla XI.

Tabla XI. Calidad del agua del sistema BFT-1 con melaza como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 12:1.

Variable	BFT-1	Valor recomendado
Temperatura (°C)	26.9 ± 2.7	28 - 30 ^{III}
pH	7.6 ± 2.7	6.8 – 8.0 ^{III}
Amonio (ppm)	0.2 ± 0.6	≤ 1.0 ^{III}
Nitritos (ppm)	0.1 ± 0.2	≤ 1.0 ^{III}
Nitratos (ppm)	59.9 ± 44.9	0.5 – 20 ^{III}
Alcalinidad (mg/L)	157.1 ± 59.1	≥ 100 ^{III}
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.1 ± 0.5	≤ 500 ^I
Sólidos disueltos totales (g/L)	1.3 ± 0.3	≤ 400 ^{II}
Salinidad (g/L)	1.0 ± 0.2	≤ 10 ^I
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.9 ± 0.7	≥ 4.0 ^{III}
Sólidos sedimentables (mL/L)	20-45	20 - 50 ^{III}

Notas: ^I Oviedo *et al.*, 2013; ^{II} Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014; ^{III} Emerenciano *et al.*, 2017.

7.2.2 Fase 2. Establecimiento del sistema BFT-2 con Tilapia.

En general, la calidad del agua se mantuvo dentro del valor óptimo para el cultivo de la Tilapia, excepto el nivel de nitratos que se mantuvieron por arriba del valor óptimo. Al día 12 de cultivo se considera que el sistema se estabilizó, ya que el amonio y los nitritos descendieron a 0 ppm y los SS aumentaron a 50 mL/L. La calidad del agua del sistema BFT-2 elaborado con sacarosa refinada como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 20:1 se presenta en la tabla XII.

Tabla XII. Calidad del agua del sistema BFT-2 elaborado con sacarosa refinada como fuente de carbono y manteniendo una relación Carbono – Nitrógeno de 20:1.

Variable	BFT-2	Valor recomendado
Temperatura (°C)	25.9 ± 1.9	28 - 30 ^{III}
pH	7.9 ± 0.2	6.8 – 8.0 ^{III}
Amonio (ppm)	0.1 ± 0.1	≤ 1.0 ^{III}
Nitritos (ppm)	0 ± 0	≤ 1.0 ^{III}
Nitratos (ppm)	81.4 ± 64.3	0.5 – 20 ^{III}
Alcalinidad (mg/L)	174.2 ± 21.4	≥ 100 ^{III}
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.9 ± 0.1	≤ 500 ^I
Sólidos disueltos totales (g/L)	1.2 ± 0.05	≤ 400 ^{II}
Salinidad (g/L)	0.9 ± 0.05	≤ 10 ^I
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.4 ± 0.4	≥ 4.0 ^{III}
Sólidos sedimentables (mL/L)	20 – 50	20 - 50 ^{III}
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	273.3 ± 60.1	≤ 500 ^{III}

Notas: ^I Oviedo *et al.*, 2013; ^{II} Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014; ^{III} Emerenciano *et al.*, 2017.

Del cultivo de Tilapia en un sistema BFT utilizando sacarosa como fuente de carbono se obtuvieron resultados positivos, debido a que hubo un incremento en peso y talla y se obtuvo 100% de supervivencia. Aunque el valor de FCR (1.8) se considera aceptable se desea que entre más bajo mejor y se hubo un decremento en el factor de condición. El peso, talla, K, FCR y supervivencia de Tilapia en el sistema BFT-2 utilizando sacarosa refinada como fuente de carbono se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII. Peso, talla, K, FCR y supervivencia de Tilapia (n = 18) en el sistema BFT-2 utilizando sacarosa refinada como fuente de carbono.

Variable	Inicial	Final
Peso (g)	636.8 ± 129.5	1069.3 ± 273.4
Talla (cm)	31.3 ± 1.9	37.4 ± 2.8
K	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.2
FCR	-	1.8
Supervivencia (%)	-	100

7.3 Resultados del objetivo particular 3.

7.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo *Triops* sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

7.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

De los resultados obtenidos el amonio, nitritos, nitratos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, salinidad, oxígeno disuelto se mantuvieron mayores comparados con el cultivo externo y la temperatura y pH se mantuvieron menores. La calidad del agua del cultivo de *Triops* con agua procedente del sistema BFT-1 sin Tilapias y del cultivo externo se presenta en la tabla XIV.

Tabla XIV. Calidad del agua del cultivo de *Triops* con medio procedente del sistema BFT-1 sin Tilapia y del cultivo externo.

Variable	Tanque	Raceway	Cultivo externo*
Temperatura (°C)	21.6 ± 1.4	20.9 ± 1.0	30.4
pH	8.0 ± 0.2	7.8 ± 0.2	8.2
Amonio (ppm)	0.4 ± 0.5	0.4 ± 0.5	0
Nitritos (ppm)	1.3 ± 1.2	2.0 ± 0	1
Nitratos (ppm)	160 ± 0	133.3 ± 46.2	0
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.4 ± 0.04	1.4 ± 0.1	0.5
Sólidos disueltos totales (g/L)	1.0 ± 0.03	1.0 ± 0.1	0.3
Salinidad (g/L)	0.8 ± 1.36E-16	0.8 ± 0.1	0.2
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.2 ± 0.3	7.4 ± 1.4	6.5
Sólidos Sedimentables (mL/L)	0 - ≤10	30	-

*Lectura a la toma de organismos

De los resultados obtenidos hubo un incremento en talla y peso, más no fue así en el caso de K y la supervivencia; también se puede apreciar que hubo producción de quistes. La talla, peso, K, supervivencia y número de quistes del cultivo de *Triops* con agua procedente del sistema BFT-1 sin Tilapias se presentan en la tabla XV. Los organismos muertos rescatados de las canaletas presentaron infestación externa de gusanos del grupo Annelida, Oligochaeta (Fig. 16).

Tabla XV. Talla, peso, K, supervivencia y número de quistes del inicio y final del cultivo por nueve días de adultos de *Triops* (n = 24, 4 canaletas, 6 camarones por canaletas) con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

Variable	Inicial	Final
Talla (cm)	3.2 ± 0.4	3.6 ± 0.4
Peso (g)	0.9 ± 0.2	1.0 ± 0.3
Factor de Condición	2.6 ± 0.3	2.0 ± 0.2
Supervivencia (%)	100	79.2
Número de quistes	-	3,352

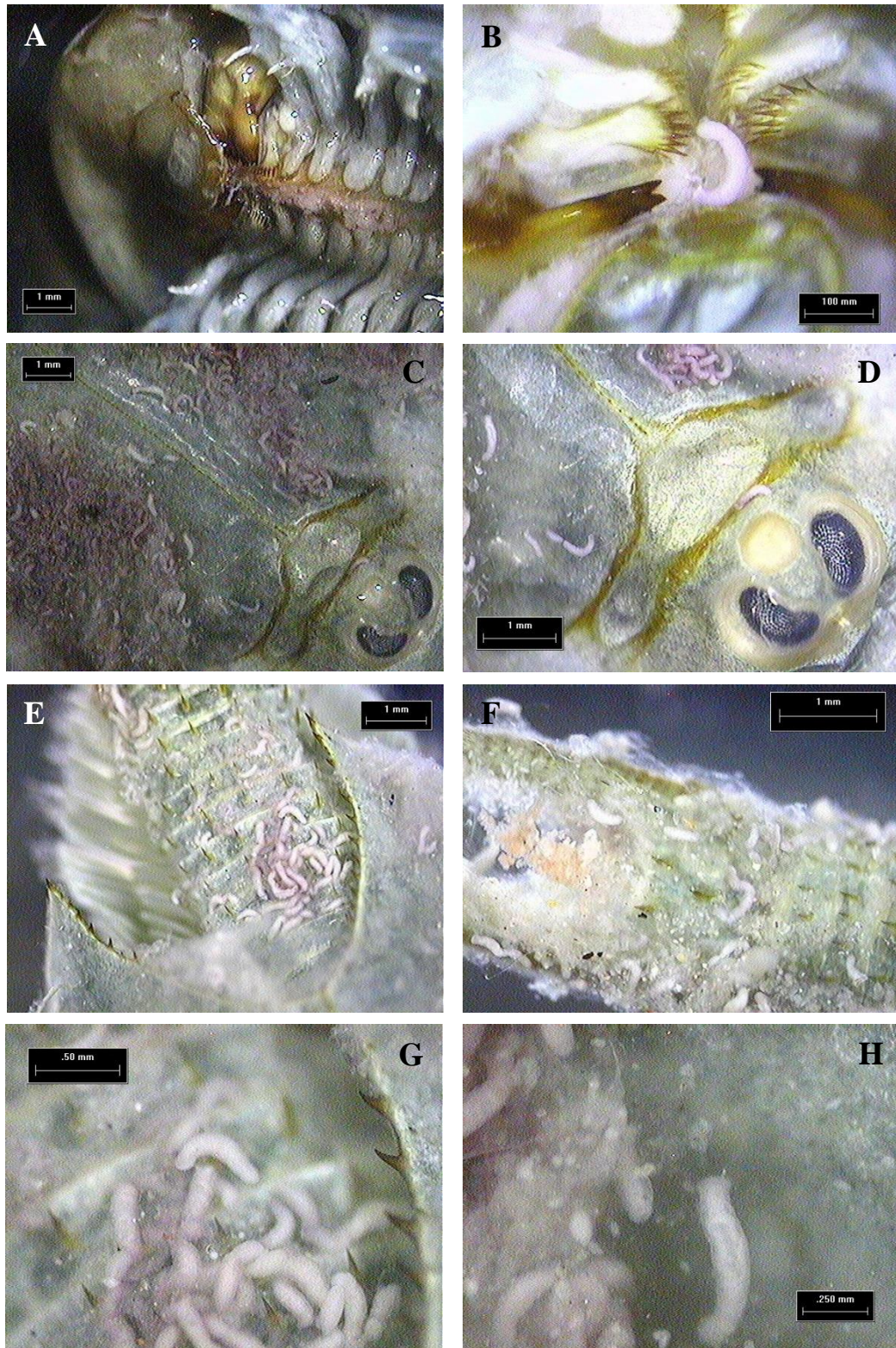


Figura 16. Adultos de *Triops* sp. KM64 provenientes del cultivo en canaletas con medio BFT-1 sin Tilapia con infestación externa de gusanos del grupo Annelida, Oligochaeta. A y B. Vista ventral de la región mandibular. C y D. Vista dorsal de la región cefálica del caparazón. E, F, G y H. Vista dorsal de la región abdominal.

7.3.1.2. Porcentaje de quistes con embrión obtenidos del cultivo de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural.

El porcentaje de embriones del cultivo de *Triops* fue mayor comparado con los del hábitat natural. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla XVI.

Tabla XVI. Porcentaje de embriones del cultivo de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural.

Variable	Canaleta 1	Canaleta 2	Canaleta 3	Canaleta 4	Hábitat natural
% Embriones	94	71	67	58	54

7.3.1.3. Porcentaje de eclosión de quistes obtenidos del cultivo de *Triops* con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia y del hábitat natural

Las variables de la calidad del agua se mantuvieron dentro del valor óptimo. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla XVII.

Tabla XVII. Calidad del agua durante el proceso de eclosión de quistes de *Triops*.

Variable	Valor	Valor recomendado*
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.0233	≤0.3
pH	7.28	≈7.0
Temperatura (°C)	26.4	25-30
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6.47	≥5.0
Intensidad Luminosa (luxes)	8,370	≥1,000

Notas: *Obregón-Barboza *et al.* (2001).

No se obtuvo ninguna eclosión de los quistes de *Triops* obtenidos del cultivo comparado con los del hábitat natural. El porcentaje de eclosión de quistes de *Triops* a través de una técnica estandarizada se presenta en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Porcentaje de eclosión de quistes de *Triops* a través de una técnica estandarizada.

% Eclosión	Canaleta 1	Canaleta 2	Canaleta 3	Canaleta 4	Hábitat natural
24 horas	0	0	0	0	15
48 horas	0	0	0	0	15
Total	0	0	0	0	30

7.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de *Triops*.

7.3.2.1 Cultivo larvario de *Triops* con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

Del cultivo larvario de *Triops* con agua proveniente del sistema BFT-2 con Tilapia se obtuvo 0% de supervivencia (Tabla XIX).

Tabla XIX. Cultivo de larvas de *Triops* con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

Variable	Valor
Densidad inicial (larvas/canaleta)	59
Densidad final (larvas/canaleta)	0
Supervivencia (%)	0

7.3.2.2 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparar tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de *Triops*.

De los resultados obtenidos, se obtuvo una baja supervivencia en general después de 48 horas de cultivo, siendo la menor concentración de alimento el mejor tratamiento. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla XX.

Tabla XX. Supervivencia de larvas de *Triops* comparando tres concentraciones de alimentos comerciales.

Supervivencia	0 horas	24 horas	48 horas
Tratamiento 1	10	10	2
Tratamiento 2	10	6	1
Tratamiento 3	10	8	0

7.3.2.3 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de *Triops*.

De los resultados obtenidos, se obtuvo una baja supervivencia en general después de 120 horas de cultivo, siendo los alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) los mejores tratamientos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla XXI.

En la figura 17 se presentan fotografías de las larvas de *Triops* procedentes de los experimentos.

Tabla XXI. Supervivencia de larvas de *Triops* en tres tratamientos: dos alimentos comerciales y agua del sistema BFT-2 con Tilapia.

Supervivencia	0 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	120 horas
Tratamiento 1	10	7	5	5	3	2
Tratamiento 2	10	8	8	3	2	2
Tratamiento 3	10	1	0	0	0	0

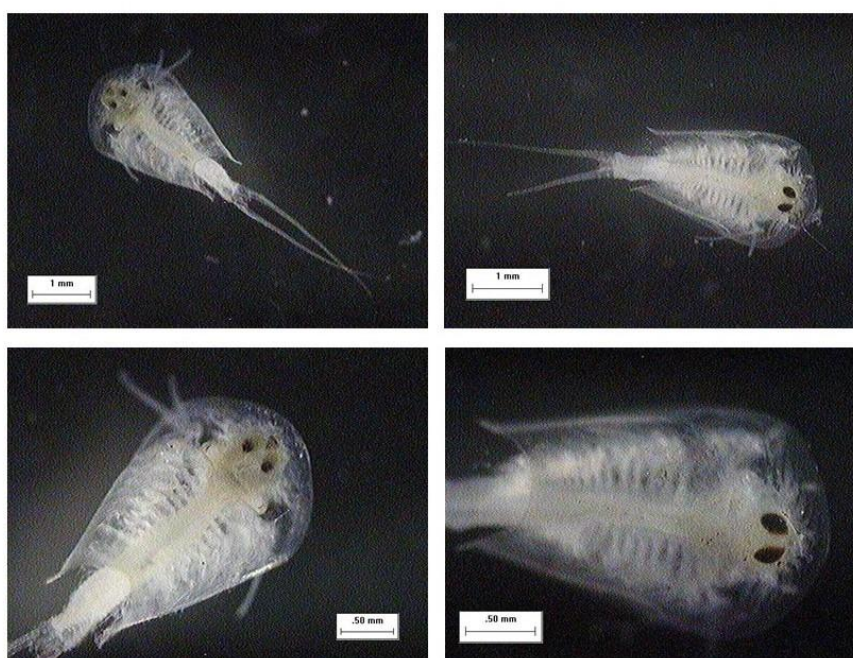


Figura 17. Larvas de *Triops* procedentes de los experimentos 1 y 2, a las 48 horas de cultivo.

7.4 Resultados del objetivo particular 4.

7.4.1 Supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus*. Ensayo 1: Sistema de canaletas.

Del cultivo de *Thamnocephalus mexicanus* con agua del sistema BFT-2 con Tilapias en un sistema de canaletas se obtuvieron resultados negativos, debido a que se obtuvo una nula supervivencia. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla XXII. Los camarones

mueritos rescatados de las canaletas presentaron paquetes de flóculos en su canal alimenticio (Fig. 18).

Tabla XXII. Talla y supervivencia del cultivo de *Thamnocephalus mexicanus* (n = 120, 4 canaletas, 30 camarones por canaleta) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de canaletas.

Variable	Inicial	Final
Talla (mm)	11.9 ± 1.3	-
Supervivencia (%)	100	0



Figura 18. Adultos de *Thamnocephalus mexicanus* provenientes del cultivo en canaletas con medio BFT-2 con Tilapia. A. Vista lateral de individuo macho con paquete de flóculos en su región mandibular. B. Vista ventral de la región cefálica con paquete de flóculos en su región mandibular. C. Vista lateral de individuo macho con paquete de flóculos en todo su canal alimenticio. D. Acercamiento del paquete de flóculos del individuo de la fotografía C.

7.4.2 Supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus*. Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos.

Del cultivo de *Thamnocephalus mexicanus* con agua del sistema BFT-2 con Tilapias en un sistema de garrafones invertidos se obtuvieron resultados negativos, debido a que se obtuvo una muy baja supervivencia. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Talla y supervivencia del cultivo de *Thamnocephalus mexicanus* (n = 240, 4 garrafones, 60 camarones por garrafón) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de garrafones invertidos.

Variable	Inicial	Final
Talla (mm)	13.4 ± 2.3	-
Supervivencia (%)	100	0.83

7.5 Resultados del objetivo particular 5.

7.5.1 Supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae*. Ensayo 1: Sistema de canaletas.

Del cultivo de *Streptocephalus* con agua del sistema BFT-2 con Tilapias en un sistema de canaletas se obtuvo un incremento en la talla y una baja supervivencia. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Talla y supervivencia del cultivo de *Streptocephalus dorotheae* (n = 240, 4 canaletas, 60 camarones por canaleta) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de canaletas.

Variable	Inicial	Final
Talla (mm)	10.3 ± 0.7	9.7 ± 0.9
Supervivencia (%)	100	55.8

7.5.2 Supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae*. Ensayo 2: Sistema de garrafones invertidos.

Del cultivo de *Streptocephalus* con agua del sistema BFT-2 con Tilapias en un sistema de garrafones invertidos se obtuvo un decremento en la talla y una mediana supervivencia. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla XXV.

Tabla XXV. Talla y supervivencia del cultivo de *Streptocephalus dorotheae* (n = 240, 4 garrafones, 60 camarones por garrafón) con medio del sistema BFT-2 con Tilapia en un sistema de garrafones invertidos.

Variable	Inicial	Final
Talla (mm)	9.6 ± 1.2	16.0 ± 1.5
Supervivencia (%)	100	8.3

8. DISCUSIÓN

8.1 Discusión del objetivo particular 1.

8.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.

En cuanto a la calidad del agua, las concentraciones de amonio y de nitritos se encontraron más elevadas que el límite recomendado. Sin embargo, aunque la concentración de amonio superó el nivel óptimo indicado (≤ 0.1), no fue letal para las tilapias. El amonio total se encuentra integrado por el amonio ionizado y el no ionizado, este último es tóxico para varias especies de peces cultivadas, y se mantuvo dentro del límite permitido (≤ 0.6). Dentro de los efectos inmediatos de la exposición a elevados niveles de amonio se encuentran la inapetencia, reducción del rendimiento en la natación, aumento de la ventilación branquial, movimientos erráticos y rápidos, convulsiones, pérdida del equilibrio y finalmente la muerte. La exposición crónica a este compuesto incrementa la tasa metabólica, reduce la resistencia a enfermedades, la fecundidad y la tasa de crecimiento (Sandoval *et al.*, 2015). En cuanto a la concentración de nitritos, se observó un ligero incremento de los mismos y esto seguramente ocasionó una consecuencia negativa en los peces, debido a que cuando esta molécula logra ingresar al torrente sanguíneo se alteran varias funciones fisiológicas, tales como el transporte de gases, la regulación de iones y cardiovascular y procesos endocrinos y de excreción, lo que puede conducir a efectos tóxicos sub-letales o mortalidad masiva de peces (Sandoval *et al.*, 2015).

El factor de condición se consideró como un índice corporal bajo (1.6 – 1.8); además de que no es fue valor esperado o normal en la Tilapia (2.08 – 2.5) (Chemonics International Inc., 2012; Timmons *et al.*, 2002). En cuanto a la tasa de conversión alimenticia, esta se consideró adecuada para la especie, debido a que un valor estándar fluctúa entre 1.4 a 2.5 en las diferentes fases de cultivo (Toledo-Pérez y García-Capote,

2000). La alimentación es un aspecto muy importante en el cultivo de organismos acuáticos, la cual puede tener repercusiones negativas sino se realiza adecuadamente. En este caso, no se observó un consumo adecuado de los distintos alimentos proporcionados, por lo cual se atribuye a este defecto la elevada mortalidad que se presentó durante todo el periodo del cultivo y la cual se detuvo con la alimentación con hojuela. Aunque la alimentación a base de hojuela es más común en peces de ornato, es posible alimentar a otras especies con este tipo de alimento, debido principalmente a dos aspectos: uno que presenta flotabilidad y dos a que no es necesario cuidar que el tamaño de partícula sea el adecuado en base a la talla de las especies, debido a que presenta la ventaja de permitirle al pez morder y fraccionar la partícula del alimento (Arboleda, 2005; Pandey, 2013).

8.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.

Las concentraciones de amonio y de nitritos se encontraron más elevadas que el límite recomendado y el oxígeno disuelto por debajo del mismo. Sin embargo, el amonio no ionizado se encontró en un nivel permisible (≤ 0.6). En cuanto a la concentración de nitritos, de igual manera se consideró que tuvo una baja afectación en las tilapias. Mientras tanto que los bajos niveles de oxígeno disuelto limitan la respiración, el crecimiento y otras actividades metabólicas de los peces (El-Sayed, 2006). Sin embargo, las tilapias tienen la capacidad de sobrevivir cuando el nivel de oxígeno se encuentra por debajo de la saturación. El factor de condición y la tasa de conversión alimenticia también se encontraron en rangos aceptables. Con lo anterior, se sugiere que existió un consumo adecuado del alimento proporcionado y el sistema de producción funcionó adecuadamente para el cultivo de esta especie obteniendo 100% de supervivencia.

8.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.

Las variables de la calidad del agua en general se encontraron dentro del rango óptimo sugerido por Oviedo *et al.* (2013) y Alcántar-Vázquez *et al.* (2014) para el cultivo de Tilapia. Con base en los resultados obtenidos de la calidad del agua, existió una marcada diferencia en la concentración de amonio durante el periodo de cultivo. Razón por la cual,

las diferencias obtenidas en las variables productivas del experimento se podrían atribuir al efecto de este compuesto nitrogenado y no al efecto de los alimentos comerciales.

En cuanto a los costos de producción, es importante tomarlos en cuenta ya que de éstos se puedan calcular valores de rentabilidad. Por tal motivo y tomando en cuenta esta variable conviene más producir Tilapia con el alimento Purina® (Poot-Delgado *et al.* 2009). Existen distintos trabajos en los que evalúan el efecto de varios alimentos comerciales. Silva-Acuña y Guevara (2002) evaluaron dos dietas comerciales (alimento para cachamas con 28% de proteína y alimento para Tilapias con 24% de proteína) sobre el crecimiento del híbrido cachama con morocoto sin observar diferencias significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.05$). Poot-Delgado *et al.* (2009) evaluaron tres dietas comerciales (Purina®, Malta-Clayton® y Campi®) en la etapa de crianza de Tilapia y no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Sin embargo, en la incidencia de costo la dieta con Campi® resultó ser más elevada. Ayarza-Rengifo *et al.* (2014) hicieron un análisis comparativo de tres dietas comerciales del tipo extruido (Murveco= 35% PB, Purina= 28% PB y IIAP= 28% de PB) en el crecimiento de alevinos de gamitana sin observar efecto de las dietas en los principales índices de crecimiento y utilización del alimento evaluado ($P \geq 0,05$); sólo se observaron diferencias significativas en el índice hepatosomático. Concluyendo que las tres dietas tuvieron similar desempeño en la promoción del crecimiento y en la eficiencia alimenticia, por lo que la decisión de cual dieta usar para fines de precría de gamitana (fase de inicio) queda a criterio de un previo análisis de costos de estas tres dietas. Cerna-Meza *et al.* (2014) evaluaron el efecto de tres dietas comerciales (Nutrafin Max: 43% PB en pellets, Tetramin: 47% PB en escamas y Sera: 46.2% PB en escamas) en el crecimiento y supervivencia de alevinos de pez ángel, obteniendo mejores niveles de crecimiento con la dieta Tetramin, seguida de Sera, siendo el menor desempeño productivo observado en aquellos peces alimentados con la dieta Nutrafin Max. Los autores concluyeron que la superioridad mostrada por las dos primeras dietas, puede deberse hipotéticamente a varios factores, entre ellos se pueden citar los siguientes: mayor contenido protéico, de grasa y energía, el tipo de presentación de las dietas, y consecuentemente su mejor asimilación por los peces.

8.2 Discusión del objetivo particular 2.

8.2.1 Fase 1. Establecimiento del sistema BFT-1 sin Tilapia.

Debido a que la melaza posee una carga de microorganismos mesófilos y termófilos cuya identidad es desconocida y una composición muy heterogénea que puede variar considerablemente dependiendo de múltiples factores, tales como la variedad de caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar y tipo y capacidad de los evaporadores (Fajardo y Sarmiento, 2007), se decidió cambiar por otra fuente de carbono que fue la sacarosa refinada, la cual se ha documentado tener una cantidad de C de 41% (Ray, 2012). Por otro lado, no se encontró en la revisión de literatura evidencia científica que demuestre que el producto comercial Epicin – Hatcherics® mejore la calidad del agua, supervivencia, crecimiento en talla y velocidad de desarrollo en cultivos de camarón y tampoco que posee propiedades efectivas de biocontrol, ya que no incrementa la cantidad de bacterias heterótrofas y disminuye bacterias patógenas como el *Vibrio* (Astorga-Sánchez, 2010; González, 2010; Gutiérrez, 2009; Pineda, 2009; Ramírez, 2010); razón por la cual para la estandarización del cultivo se decidió no utilizar este producto en la elaboración de un nuevo sistema BFT en la presente investigación de tesis.

La concentración de nitratos se mantuvo por arriba del rango recomendado (0.5 – 20 ppm), sin embargo se mantuvo por debajo del nivel considerado como tóxico (≥ 100 mg/L) (Avnimelech, 2012). La acumulación de este compuesto se puede evitar utilizando reactores biológicos, los cuales tienen una tasa de eliminación del 90 – 95%, lo que mejora la reutilización del agua en las instalaciones acuícolas y reduce la cantidad de harina de pescado requerida en las dietas acuícolas utilizando los bioflóculos como fuente de proteína alternativa (Avnimelech, 2012).

8.2.2 Fase 2. Establecimiento del sistema BFT-2 con Tilapia.

En general, las variables de la calidad del agua se mantuvieron dentro del rango recomendado para el cultivo de la Tilapia. Sin embargo, la concentración de nitratos nuevamente se mantuvo por arriba del rango aceptable (0.5 – 20 ppm) pero por debajo del nivel considerado como tóxico (≥ 100 mg/L). La acumulación de este compuesto se puede

evitar utilizando reactores biológicos, los cuales tienen una tasa de eliminación del 90 – 95%, lo que mejora la reutilización del agua en las instalaciones acuícolas y reduce la cantidad de harina de pescado requerida en las dietas acuícolas utilizando los bioflóculos como fuente de proteína alternativa (Avnimelech, 2012). Se logró estabilizar el sistema BFT-2 con Tilapia, ya que el amonio y nitritos descendieron a 0 ppm y los SS aumentaron a 50 mL/L. El nivel de sólidos solubles (SS) no mayor a 20 mL/L se explica porque se utilizó agua del sistema para el cultivo de *Thamnocephalus* y *Streptocephalus*. Los criterios para determinar que el sistema estaba funcionando adecuadamente fueron el nivel de SS y la concentración de amonio y nitritos.

El factor de condición se presentó con valores aceptables (1.9 – 2.2), considerados como normales en Tilapia (2.08 – 2.5) (Chemonics International Inc., 2012; Timmons *et al.*, 2002). En cuanto a la tasa de conversión alimenticia esta se considera fue adecuada para la especie, debido a que un valor adecuado fluctúa entre 1.4 a 2.5 en las diferentes fases de cultivo (Toledo-Pérez y García-Capote, 2000). El sistema BFT-2 con Tilapias resultó con 100% de supervivencia y buen crecimiento (peso y talla) similares a los reportados por Monroy-Dosta *et al.* (2013). Diversos estudios se han realizado utilizando la sacarosa como fuente de carbono. Ekasari *et al.* (2010) concluyen que la fuente de carbono (sacarosa y glicerol) y el nivel de salinidad (0 y 30 UPS) no tienen efecto sobre el contenido de proteína cruda, lípidos y ácidos grasos poli-insaturados n-3. García (2015) evaluó el efecto de tres fuentes de carbono (harina de maíz, harina de trigo y sacarosa) en el crecimiento, mortalidad y calidad de las crías de Tilapia cultivadas en Biofloc, obteniendo los mejores resultados con el uso de la sacarosa como fuente de carbono. Silva *et al.* (2017) evaluaron tres fuentes de carbono (sacarosa, melaza y almidón de yuca) y dos relaciones de carbono (C) a nitrógeno (N) (10:1 y 20:1) sobre la calidad del agua para la Tilapia del Nilo en un sistema BFT; los cuales tuvieron efecto en la alcalinidad, sólidos sedimentables, turbidez y sólidos suspendidos totales mostrando valores más elevados en la relación C:N de 20:1. La mejor fuente de carbono para la formación de los flóculos fue con la melaza y sacarosa en las dos relaciones de C:N. El rendimiento en crecimiento no fue significativamente diferente entre tratamientos y el uso de la melaza puede reducir los costos de producción en regiones donde está disponible, debido a su menor precio en el mercado. López-Elías *et al.*

(2015) utilizaron sacarosa granulada no refinada para establecer un sistema BFT y evaluaron la inclusión de harina vegetal en la producción de Tilapia roja híbrida; los autores concluyeron que la sustitución de harina de pescado con harina vegetal no tiene efectos adversos sobre la producción de Tilapia roja cultivada en agua marina. Aunque el objetivo de este ensayo no fue desafiar la producción de Tilapia en este sistema, Liu *et al.* (2018) alcanzaron una densidad final de $24.32 \pm 1.04 \text{ kg/m}^3$ en el cultivo de Tilapia (adicionando sacarosa como fuente de carbono), lo que indica que es posible incrementar la producción por unidad de área comparado con los resultados obtenidos en este ensayo.

8.3 Discusión del objetivo particular 3.

8.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo del camarón renacuajo *Triops* sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

8.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de *Triops*.

Según la literatura los individuos de *Triops* morfotipo corto presentaron un crecimiento de 0.43 mm/día de su longitud estándar (Obregón-Barboza *et al.*, 2001); en los organismos cultivados presentaron valores similares con un crecimiento de 0.46 mm/día. En cuanto al peso se observó un ligero incremento de 0.1 g; sin embargo, el factor de condición disminuyó y no se encontraron antecedentes que permitan comparar con los resultados obtenidos. La supervivencia fue menor a la obtenida por Obregón-Barboza *et al.* (2001) utilizando un sistema de recirculación y alimento comercial en pellet para camarón. El número de quistes producidos por día fue de 372.4, superior a lo reportado por Obregón-Barboza *et al.* (2001), quien además menciona que el número máximo de quistes depositado por un individuo en 24 h fue de 476.

8.3.1.2 Porcentaje de quistes con embrión.

El porcentaje de quistes con embrión fue superior en aquellos procedentes del cultivo comparado con los del hábitat natural. Resultados inferiores se obtuvieron en otro estudio al evaluar quistes de *Triops* de un humedal urbano en Torreón, Coah., México; el porcentaje de quistes con embrión de los sitios con mayor abundancia de quistes fue de 23.3% y de los sitios con menor abundancia de quistes fue de 20.6% (Segura, 2015).

8.3.1.3 Porcentaje de eclosión de quistes.

La calidad del agua fue adecuada para llevar a cabo el proceso de eclosión de quistes de *Triops* (Obregón-Barboza *et al.*, 2001). La eclosión de quistes de *Triops* fue superior en los obtenidos del hábitat natural comparado con los del cultivo, en los cuales se obtuvo 0% de eclosión. Los resultados obtenidos de los quistes del hábitat natural concuerdan con los datos obtenidos por Obregón-Barboza *et al.* (2001), quienes obtuvieron niveles de eclosión de 23 y 31% para quistes deshidratados y no deshidratados. Se ha sugerido que el tiempo entre la puesta de quistes y el momento en que se produce la desecación tiene un fuerte impacto en la eclosión de los mismos (Obregón-Barboza *et al.*, 2001). Los factores que afectan la eclosión de quistes de *Triops* son la temperatura, fotoperiodo, hidratación incompleta, factores edáficos, conductividad eléctrica del agua, salinidad y pH del agua (Su y Mulla, 2002). Razón por la cual se han realizado innumerables esfuerzos de investigación para dilucidar los aspectos biológicos, bioquímicos y ecológicos de la eclosión de los quistes (Brendonck, 1996; Fry-O'Brien and Mulla, 1996; Hempel-Zawitkowska y Klekowski, 1968; Scott and Grigarick, 1979; Schönbrunner and Eder, 2006). Sin embargo, todos estos esfuerzos no han resultado en una comprensión completa de todos los procesos involucrados, debido a que la causa principal de esto debe buscarse en los múltiples factores que interactúan durante la incubación de los mismos (Lavens y Sorgeloos, 1987).

8.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de *Triops*.

8.3.2.1 Cultivo larvario de *Triops* con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

La supervivencia de 0% obtenida en este ensayo contrasta con los resultados obtenidos por otros autores cultivando nauplios de *Artemia* en un sistema BFT. Luo *et al.*, 2017 obtuvieron supervivencias de 14.9%, Yao *et al.* (2018) entre 16 - 22%, Ronald *et al.* (2014) de máximo 32%, Toi *et al.* (2013) entre 21.9 – 46.9% y Hoa *et al.* (2017) entre 65.4 – 84.9%. Algunos autores señalan que sus resultados se pudieron verse afectados por el tamaño de los flóculos (0.01-1.00 mm), probablemente demasiado grandes para *Artemia*, especialmente para individuos jóvenes, lo que disminuye la eficacia de la alimentación (Avnimelech, 2011; Toi *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2018). Es por ello que se ha sugerido dividir los bioflóculos producidos en diferentes tamaños de partículas de acuerdo con el

tamaño del organismo, y/o triturarlos para hacerlos más accesibles a los nauplios. Sin embargo, este proceso puede causar cambios en la estructura de los bioflóculos, destruyendo los polímeros extracelulares y el material de la pared celular, destruyendo su potencial probiótico. En consecuencia, si estos bioflóculos no son consumidos a tiempo, perecerían y contaminarían el agua (Yao *et al.*, 2018). En el caso de Hoa *et al.* (2017), quienes obtuvieron los mejores resultados, mencionan que es necesaria la turbulencia del agua para mejorar que las partículas de biofloc sirvan como fuente de alimento para la *Artemia*. Cabe señalar que Gao *et al.* (2017) no señalan que supervivencia obtuvieron en su trabajo de investigación. Los resultados obtenidos en nuestro ensayo se pueden atribuir a que los bioflóculos se enredan en las setas filtradoras de los *Triops* lo que obstruye su alimentación, además de que por sus hábitos bentónicos los flóculos también se adhieren a todo el cuerpo provocando la infestación de anélidos (Fig. 16).

8.3.2.2 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación de tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de *Triops*.

De acuerdo con los resultados obtenidos se obtuvo una mejor supervivencia a los dos días cultivo con la menor concentración de alimento. Su y Mulla (2001) obtuvieron una mayor supervivencia a los 32.8-34.4 días de cultivo de *Triops* con suelo, larvas de mosquito y pellets de conejo, comparado con la combinación de dos ingredientes o un solo ingrediente. Fry-O'Brien y Mulla (1996) obtuvieron una alta supervivencia a los 12 días criando *Triops* con un suplemento de 0.5 g de pellets para conejo. Se sugiere que la presencia de suelo puede mejorar la supervivencia de *Triops* (Fry-O'Brien y Mulla 1996; Su y Mulla, 2001). Esto concuerda con estudios previos en los que *Triops* vivió durante aproximadamente un mes en suelo y plántulas de arroz, o en alimento para peces (Scott y Grigarick 1979; Weeks 1990). En un estudio con *Artemia* sp. para evaluar la calidad microbiológica y bioquímica de derivados comerciales de la cianobacteria *Spirulina* todos los productos probados fueron tóxicos para esta especie, habiendo 100% de mortalidad a las 24 h y sin discutir a que atribuyen esta toxicidad sobre la especie, la cual podría haber influido en los resultados obtenidos en este experimento (Loreto *et al.*, 2007).

8.3.2.3 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de *Triops*.

De acuerdo con los resultados obtenidos se obtuvo una mejor supervivencia a los 5 días de cultivo con los dos alimentos comerciales para peces comparado con el agua del sistema BFT-2. Su y Mulla (2001) obtuvieron una mayor supervivencia a los 32.8-34.4 días con suelo, larvas de mosquito y pellets de conejo, comparado con la combinación de dos ingredientes o un solo ingrediente. La supervivencia de 0% obtenida en 5 días de cultivo contrasta con los resultados obtenidos por otros autores cultivando nauplios de *Artemia* con medio de un sistema BFT. Como se mencionó anteriormente Luo *et al.* (2017) obtuvieron supervivencias de 14.9%, Yao *et al.* (2018) entre 16 - 22%, Ronald *et al.* (2014) de máximo 32%, Toi *et al.* (2013) entre 21.9 – 46.9% y Hoa *et al.* (2017) entre 65.4 – 84.9%. Algunos autores señalan que sus resultados pueden deberse a que el tamaño de los flóculos (0.01-1.00 mm) es demasiado grande para la *Artemia* (Avnimelech, 2011; Toi *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2018). Como se mencionó anteriormente los resultados obtenidos en este ensayo se pueden atribuir a que los bioflóculos se enredan en las setas filtradoras de las larvas de *Triops* lo que obstruye su alimentación.

8.4 Discusión del objetivo particular 4 y objetivo particular 5.

8.4.1 Supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus* y *S. dorotheae*.

La supervivencia obtenida en los ensayos con los anostracos *T. mexicanus* y *S. dorotheae* contrasta con los resultados obtenidos por otros autores cultivando *Artemia* con medio de un sistema BFT. Luo *et al.* (2017) obtuvieron supervivencias de 14.9%, Yao *et al.* (2018) entre 16 - 22%, Ronald *et al.* (2014) de máximo 32%, Toi *et al.* (2013) entre 21.9 – 46.9%, y Hoa *et al.* (2017) entre 65.4 – 84.9%. Algunos autores atribuyen sus resultados al tamaño de los flóculos probablemente demasiado grandes para *Artemia*, especialmente para individuos más jóvenes, lo que disminuye la eficacia de la alimentación (Avnimelech, 2011; Toi *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2018). Se sugiere que la mejor supervivencia de los adultos de *Streptocephalus dorotheae* en comparación a *Triops* y *Thamnocephalus* se puede

atribuir a que su sistema de setas filtradoras no presentó el problema de bloqueo de flóculos en el canal alimenticio.

9. CONCLUSIONES

9.1 Conclusiones del objetivo particular 1.

9.1.1 Fase 1. Recepción de alevines. Sistema sin recirculación.

Se concluye que la falta de un alimento adecuado por el tamaño de partícula fue la causa de la elevada mortalidad de las Tilapias y que el alimento en hojuela es una opción viable para el cultivo de peces.

9.1.2 Fase 2. Cultivo con recirculación y alimento Wardley®.

Se concluye que el alimento en hojuelas y el sistema RAS son opciones viables para el cultivo de peces. Sin embargo, hacen falta más estudios que profundicen en la productividad y rentabilidad bajo estas condiciones de cultivo.

9.1.3 Fase 3. Definición de un alimento estándar: alimento Wardley® vs. alimento Purina®.

Se concluye que la mejor opción para cultivar Tilapia es con el alimento que ya existe en el mercado, es este caso corresponde a un alimento comercial de la marca Purina®. Sin embargo, es importante hacer estudios de bioeconomía con el objetivo de hacer más rentable el cultivo de esta especie.

9.2 Conclusiones del objetivo particular 2.

9.2.1 Fase 1. Establecimiento de sistema BFT-1 sin Tilapia.

Si bien la utilización de melaza como fuente de carbono es barata económicamente hablando, presenta desventajas ya que la carga e identidad de microorganismos mesófilos y termófilos son desconocidos y una composición muy heterogénea. La aplicación de productos como Epicin - Hatcheries® requiere estudios detallados que corroboren un impacto positivo en el desempeño del sistema BFT. También se observó un desempeño

aceptable aun con una concentración de nitratos más elevada que el rango óptimo (0.5 – 20 ppm).

9.2.2 Fase 2. Establecimiento de sistema BFT-2 con Tilapia.

Se estableció con éxito un sistema BFT con Tilapias aplicando sacarosa como fuente de carbono y manteniendo una relación teórica de C:N de 20:1 con un resultado de 100% de supervivencia y buen crecimiento (peso y talla) de 1,069.3 g y 37.4 cm.

9.3 Conclusiones del objetivo particular 3.

9.3.1 Fase 1. Evaluación del cultivo de *Triops* sp. KM64 con medio del sistema BFT-1 sin Tilapia.

9.3.1.1 Supervivencia, crecimiento y reproducción de adultos de *Triops*.

Se obtuvieron resultados pobres. Especulamos que estos resultados se deben a que los bioflóculos se enredan en las setas filtradoras lo que obstruye su alimentación, además de que por sus hábitos bentónicos estos también se adhieren a todo el cuerpo de estos organismos.

9.3.1.2 Porcentaje de quistes con embrión.

Como especie candidata para la acuicultura presentó un mejor porcentaje de quistes con embrión en los quistes de cultivo comparado con los quistes obtenidos del hábitat natural. Sin embargo, es importante relacionar esta característica con el porcentaje de eclosión de los mismos.

9.3.1.3 Porcentaje de eclosión de quistes.

Como especie candidata para la acuicultura presentó baja tasa de eclosión en los quistes del hábitat natural y nula en los del cultivo, por tal motivo hace falta más investigación al respecto que nos ayude a entender y controlar este proceso.

9.3.2 Fase 2. Evaluación del cultivo larvario de *Triops*.

9.3.2.1 Cultivo larvario de *Triops* con medio del sistema BFT-2 con Tilapia.

El cultivo de larvas de *Triops* en un sistema BFT presentó nula supervivencia según las condiciones de este estudio. Es necesario hacer más investigación al respecto que fundamente o contradiga los resultados obtenidos.

9.3.2.2 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 1. Comparación de tres concentraciones de alimentos comerciales (levadura de panadería, espirulina y probióticos) en el cultivo larvario de *Triops*.

El cultivo de larvas de *Triops* con una mezcla de alimentos presentó baja supervivencia bajo las condiciones de este estudio. Es necesario hacer más investigación al respecto que fundamente o contradiga los resultados obtenidos.

9.3.2.3 Cultivo larvario de *Triops* con alimentos comerciales. Experimento 2. Comparación de dos alimentos comerciales para peces de acuario (Totto® y Wardley®) y medio del sistema BFT-2 con Tilapia en la producción larvaria de *Triops*.

El cultivo de larvas de *Triops* con alimento comercial para peces y agua del sistema BFT presentó una baja o nula supervivencia según las condiciones de este estudio. Es necesario hacer más investigación al respecto que fundamente o contradiga los resultados obtenidos.

9.4 Conclusiones del objetivo particular 4.

9.4.1 Supervivencia y crecimiento de *T. mexicanus*. Ensayos 1 y 2.

Como especie candidata para Acuicultura y ser cultivada en sistema BFT, no mostró un buen desempeño productivo de acuerdo a las condiciones en que se llevó a cabo los ensayos 1 y 2.

9.5 Conclusiones del objetivo particular 5.

9.5.1 Supervivencia y crecimiento de *S. dorotheae*. Ensayos 1 y 2.

Como especie candidata para Acuicultura y ser cultivada en sistema BFT, mostró un moderado desempeño productivo de acuerdo a las condiciones en que se llevó a cabo este

experimento. Sin embargo, es necesario hacer más investigación al respecto para respaldar los resultados obtenidos.

Los resultados del presente estudio indican que si bien las especies evaluadas habitan naturalmente sistemas argilotróficos utilizando flóculos y material particulado suspendido, los camarones de estas especies sometidos a las diferentes condiciones de los ensayos y experimentos presentaron en general evidencias de su nula o baja adaptación (en términos de supervivencia, crecimiento y reproducción) a las condiciones aplicadas con medio BFT.

10. LITERATURA CITADA

- Alcántar-Vázquez, J.P., C. Santos-Santos, R. Moreno-de la Torre, C. Antonio-Estrada. 2014. Manual para la Producción de supermachos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). UNPA-PIFI, Oaxaca. México. 81 pp.
- Ali A.J., S.S.S. Sarma, H.J. Dumont. 1999. Cyst production in the fairy Shrimp, *Streptocephalus proboscideus* (Anostraca) in relation to algal and loricated rotifer diet. *Crustaceana* 72: 517-530.
- Anaya-Soto A., S.S.S. Sarma, S. Nandini. 2003. Longevity of the freshwater anostracan *Streptocephalus mackini* (Crustacean: Anostraca) in relation to food (*Chlorella vulgaris*) concentration. *Freshwater Biology* 48(3): 432-439.
- Anderson, R.O., S.J. Gutreuter. 1983. Length, weight, and associated structural indices. Pages 284-300 in L. Nielsen and D. Johnson (eds.) *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Anjalee, D.C.A., K.B. Madhusoodana. 2015. Biofloc Technology: An Overview and its application in animal food industry. *International Journal of Fisheries and Aquaculture Sciences* 5(1): 1-20.
- API. 1981. The sources, chemistry, fate and effects of ammonia in aquatic environments, Washington DC, American Petroleum Institute, 145 pp.
- Arboleda O.D. 2005. Calidad del agua y mantenimiento de acuarios. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* VI (8): 1-11.
- Arredondo, F.J., S.G. Lozano. 1996. El cultivo de la tilapia en México, en Primer Curso Internacional de Producción de Tilapia. UNAM, SEMARNAP, UAMI y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México: 7-18 p.
- Astorga-Sánchez Anabel. Efecto de dos probióticos sobre la concentración de bacterias heterótrofas totales y del género *Vibrio* en sistemas de larvicultura de *Litopenaeus vannamei*. Tesis de Biología en Acuicultura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa, México. 2010.
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176: 227–235.
- Avnimelech, Y. 2011. Tilapia production using biofloc technology, saving water, waste recycling improves economics. *Global Aquaculture Advocate*, May/June 2011, pp. 66–68.
- Avnimelech, Y. 2012. *Biofloc Technology – A practical Guide Book*. 2d Edition. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.

Ayarza-Rengifo, J.A., A. Rodríguez-Veintemilla, Y. Ramírez-Cárdenas. 2014. Análisis comparativo de tres dietas comerciales del tipo extruido en el crecimiento de alevinos de gamitana (*Colossoma macropomum*) cultivados en estanques en el Centro de Investigaciones de Quistococha, Loreto, Perú. *Conocimiento amazónico* 5(1): 3-14.

Banco Mundial. 2018. Población, total. Datos de 2018 (Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>).

Becerril-Cortés, D., M.C. Monroy-Dosta, M.G. Coelho-Emerenciano, G. Castro-Mejía, K. Cienfuegos-Martínez, R. de Lara-Andrade. 2017. Nutritional importance for aquaculture and ecological function of microorganisms that make up Biofloc, a review. *International Journal of Aquatic Science* 8(2): 69-77.

Beladdjal, L., N. Peiren, T.T. Vandekerckhove, J. Mertens. 2003. Different life histories of the co-occurring fairy shrimps *Branchipus schaefferi* and *Streptocephalus torvicornis* (Anostraca). *Journal of Crustacean Biology* 23: 300-3007.

Bostock, J. 2011. The application of science and technology development in shaping current and future aquaculture production systems. *Journal of Agricultural Science* 149:133–141.

Brazil, B. 2006. Performance and operation of a rotating biological contactor in a tilapia recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 34: 261–274.

Bregnballe, J. 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO; Eurofish International Organization. 100 p.

Brendonck, L, G. Uyttersprot, G. Persoone. 1990. A culture system for fairy Shrimps (Crustacea, Anostraca). *Aquacultural Engineering* 9: 267-238.

Brendonck, L. 1996. Diapause, quiescence, hatching requirements: what we can learn from large freshwater branchiopods (Crustacea: Branchiopoda: Anostraca, Notostraca, Conchostraca). *Hydrobiologia* 320: 85-97.

Cantor, A.F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de la Puebla, México.

Castrejón, O.L., S.M. Soriano, A.E. Soto. 1993. Biología y aprovechamiento del camarón Duende *Streptocephalus* sp. Puerto Ángel, Oaxaca México: Ed. Unidad de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar.

Castrejón, O.L., D. Porras. 1994. Cultivo de alimento vivo para la acuicultura, Puerto Ángel, Oaxaca, México: Ed. Unidad de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar.

Cerna-Meza, L., F. Chu-Koo, F. Alcántara-Bocanegra, L. Mori-Pinedo. 2014. Efecto de tres dietas comerciales en el crecimiento y sobrevivencia de alevinos de pez ángel, *Pterophyllum scalare* (perciformes, cichlidae) variedad marmoleada. *Folia Amazónica* Vol. 23 (1): 79-86.

Chemonics International Inc. 2012. Manual de Procedimientos de Producción de Tilapia, Impresos Múltiples, 64 p.

Coutteau, P., L. Brendonck, P. Lavens, P. Sorgeloos. 1992. The use of manipulated baker's yeast as an algal substitute for the laboratory culture of Anostraca. *Hydrobiologia* 234: 25-32.

Crab, R., A. Lambert, T. Defoirdt, P. Bossier, W. Verstraete. 2010. The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Microbiology* 109, 1643–1649.

Daborn, G.R. 1975. The argillotrophic lake system. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 19: 580-588.

Daniel, N., P. Nageswari. 2017. Exogenous probiotics on Biofloc based aquaculture: A review. *Current Agriculture Research*. Vol. 5(1), 88-107.

Dararat, W., K. Lomthaisong, L. Sanoamuang. 2012. Biochemical composition of three species of fairy shrimp (Branchiopoda: Anostraca) from Thailand. *Journal of Crustacean Biology* 32:81-87.

Das, P., S.C. Mandal, S.K. Bhagabati, M.S. Akhtar, S.K. Singh. 2012. Important live food organisms and their role in aquaculture. *Frontiers in Aquaculture*. Pages 69–86.

Dauda, A.B., N. Romano, W.W. Chen, I. Natrah, M.S. Kamarudin. 2018. Differences in feeding habits influence the growth performance and feeding efficiencies of African catfish (*Clarias gariepinus*) and lemon fin barb hybrid (*Hypsibarbus wetmorei* x *Barboides gonionotus*) in a glycerol-based biofloc technology system versus a recirculating system. *Aquacultural Engineering* 82, 31-37.

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

Dibello, R.J., C. Doassans Gomez Haedo. 2013. Crecimiento y sobrevivencia de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carassius (*Carassius auratus*) (*Osteichthys*, *Cyprinidae*) en un sistema super intensivo con aplicación de Biofloc, comparando con sistema de filtro biológico y sistema tradicional con aireación. Tesis de grado, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República (Uruguay).

Ebeling, J.M., M.B. Timmons, J.J. Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257: 346–358.

Ekasari, J., R. Crab, W. Verstraete. 2010. Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *Hayati Journal of Biosciences*. Vol. 17 No. 3, p 125-130.

Ekasari, J, D. Angela, S. Waluyo, T. Bachtiar, E. Surawidjaja, P. Bossier, P. De Schryver. 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture* 426:105–111.

El-Sayed, A. 2006. *Tilapia Culture*. 1st edn. Wallingford UK: CABI Publishing.

El-Sayed, A., M. Kawanna. 2008. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. *Aquaculture Research*. 39: 670–672.

Emerenciano, M., G. Gaxiola, G. Cuzon. Biofloc Technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. *Biomass Now: Cultivation and utilization*, InTech, Rijeka Croatia (2013), pp. 301-328.

Emerenciano, M., L.R. Martínez, M. Martínez, A. Miranda. *Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture*, Water Quality, Prof. Hlanganani Tutu (Ed.). 2017; InTech.

Emerson, K., R.C. Russo, R.E. Lund, R.V. Thurston. 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 32(12): 2379-2383.

Fajardo Castillo E., S. Sarmiento Forero. 2007. Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Facultad de Ciencias Básicas, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Pág. 120.

FAO. 2010. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*. Rome.

FAO. 2016. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Roma. 224 pp.

FAO. 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Fauji, H., T. Budiardi, J. Ekasari. 2018. Growth performance and robustness of African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) in biofloc-based nursery production with different stocking densities. *Aquaculture Research*. 49: 1339–1346.

Fimbres Acedo, Y. E. 2015. Caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tilapia (*Oreochromis* spp.). Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. 128 pp.

Foore, N. 2016. Tracing activation efficiency of the bio-filtration bacteria in a Recirculating Aquaculture System using Stable Isotope Analysis. M.S. Thesis. University of Jyväskylä, Faculty of Science. Jyväskylä, Finland.

Fornier, i Valls E., E. Brewster E. 2013. First observation of *Triops* (Crustacea: Branchiopoda: Notostraca) in the Natural Park of the Serra d'Irta (Peníscola, el Baix Maestrat). NEMUS. 3: 101–110.

Fryer, G. 1988. Studies on the functional morphology and biology of the Notostraca (Crustacea: Branchiopoda). Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 321: 27-124.

Fry-O'Brien, L.L., M.S. Mulla. 1996. Optimal conditions for rearing the tadpole shrimp, *Triops longicaudatus* (Notostraca: Triopsidae), a biological control agent against mosquitoes. Journal of the American Mosquito Control Association, 12(3):446-453.

Gao, M., J. Wang, G. Ma., G. Van Stappen, L. Sui. 2017. Carbon supplementation and microbial management to stimulate artemia biomass production in hypersaline culture conditions. Aquaculture Research 48(3):1240-1250.

García Barrera, N., M. Hernández Vergara, C. Pérez Rostro. 2007. Efectos de la densidad de cultivo sobre la edad de reproducción y producción de quistes del camarón Duende *Streptocephalus mackini*. Veterinaria México, 38 (4), 467-475.

García Ríos, L. Crecimiento, sobrevivencia y calidad de crías de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas en biofloc con diferentes fuentes de carbono. Tesis de Maestría en Ciencias en Sistemas de Producción Biosustentables. Universidad Estatal de Sonora. Navojoa, Sonora, México. 2015.

García-Berber, A., M.R. Rodríguez-Ramírez, J. Campos-Arciniega, C.I. Gómez-Escobar. 2015. Caracterización de insumos como alternativa para la alimentación de Tilapia. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Tecomán. Folleto Técnico No. 6 Tecomán, Colima. México SAGARPA INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México 30 p.

García-Ortega, A., E.A. Huisman, P. Sorgeloos, J. Verreth. 2001. Evaluation of protein quality in microbound started diets made with decapsulated cysts of *Artemia* and fishmeal for fish larvae. Journal of the World Aquaculture Society. Vol. 32, No. 3.

García-Velazco, H., H. Obregón-Barboza, C. Rodríguez-Jaramillo, A.M. Maeda-Martínez. 2009. Reproduction of the tadpole shrimp *Triops* (Notostraca) in Mexican waters. *Current Science*, Vol. 96, No. 1.

Giraldo, O.F. 2008. Seguridad alimentaria y producción pecuaria campesina: el caso de la localidad rural de Sumapaz. *Revista Luna Azul* 27: 49-5.

González Castillo A. Comunidades bacterianas en las biopelículas formadas en placas suspendidas en larvicultivos de camarón blanco manejados con probióticos. Tesis de Biología en Acuicultura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa, México. 2010.

Gutiérrez, Bacasegua L.A. 2009. Fósforo total e inorgánico, sólidos suspendidos totales y demanda biológica de oxígeno en cultivos larvarios comerciales de camarón (*Litopenaeus vannamei*) tratados y no tratados con probióticos. Tesis de Licenciatura en Biología Pesquera. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa, México.

Hargreaves, J.A. 2013. Bioflocs production system for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication No. 4503.

Hempel-Zawitkowska, J., R. Z. Klekowski. 1968. The influence of desiccation at different air humidities on hatchability of *Triops cancriformis* (Bosc) eggs. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 15:183-189.

Hoa N.V., T.V. Phuong, T.N. Hai, C.T. Tao, L.Q. Viet, N.T. Hong Van, H.T. Toi, T.H. Le, V.N. Son, P.Q. Anh Duy. 2017. Applied Biofloc Technology for Target Species in the Mekong Delta in Vietnam: A Review. *Journal of Environmental Science and Engineering B.* 6, 165-175.

Klinger, D., R. Naylor. 2012. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annual Review Environment and Resources.* 37, 247–276.

Klontz, W.G. Producción de trucha arcoíris en granjas familiares. Utah: Universidad de Idaho, 1991, 88 pp.

Kubitza, F. 2006. Sistemas de Recirculación Cerrada, Brasil, Disponible en: https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000004_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf

Lavens, P., P. Sorgeloos. The cryptobiotic state of *Artemia* cysts, its diapause deactivation and hatching: a review. *Artemia Research and its Applications.* 1987. Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in aquaculture. P. Sorgeloos, D. A. Bengtson, W. Decler, and E. Jaspers (Eds). Universa Press, Wetteren, Belgium. 556 p.

Le T.H., N.V. Hoa, P. Sorgeloos, G.V. Stappen. 2018. Artemia feeds: a review of brine shrimp production in the Mekong Delta, Vietnam. *Reviews in Aquaculture*, 1–7.

Lekang, O.I. *Aquaculture Engineering*. Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, UK. 2013.

Leyton, S.A., E. Muñoz, M. Gordillo, G. C. Sánchez, L. A. Muñoz, A. Soto. 2015. Estimación del factor de condición de Fulton (K) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río Cauca. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 27: 24-31.

Liu, W, G. Luo, W. Chen, H. Tan, S. Wu, N. Zhang, Yu Y. 2018. Effect of no carbohydrate addition on water quality, growth performance and microbial community in water-reusing biofloc systems for tilapia production under high-density cultivation. *Aquaculture Research*. 49:7, 2446-2454.

Llanes, J., J. Toledo, I. Fernández, J.M. Lazo de la Vega. 2006. *Nutrición y alimentación de tilapias*. Asociación Cubana de Producción Animal. 4.

López-Elías J.A., A. Moreno-Arias, A. Miranda-Baeza, L.R. Martínez-Córdova, M.E. Rivas-Vega, E. Márquez-Ríos. 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*. 77:102–109.

López-Sánchez B., G. Pereira. 1999. Efecto de la temperatura y la dieta sobre el crecimiento y producción de huevos en individuos de la especie de camarón duende *Thamnocephalus venezuelensis* (Crustacea: Anostraca: Thamnocephalidae). Conference: Acuicultura 99 Acuicultura en armonía con el ambiente. At: Puerto La Cruz, Venezuela. Volume: Tomo II.

Loreto, C., G. Fuenmayor, B. Briceño, N. Rosales y E. Morales. Calidad microbiológica y bioquímica de derivados comerciales de la cianobacteria *Spirulina*. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. Volumen 41, No. 1, 2007, pp. 107– 113.

Luo, G., Q. Gao, C. Wang, W. Liu, D. Sun, L. Li, H. Tan. 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.

Luo, G. Z., M.L. Yao, H.X. Tan, W. Wu. H. 2017. The performance of microbial flocs produced with aquaculture waste as food for Artemia. *Aquaculture Nutrition*, 23, 1440-1448.

- Maeda-Martínez, A. M., H. Obregón-Barboza, H. J. Dumont. 1995. Laboratory culture of fairy shrimps using baker's yeast as basic food in a flow-through system. *Hydrobiologia*, 298: 141-157.
- Maeda-Martínez, A.M., H. Obregón-Barboza, H. García-Velazco, G. Murugan, 2002. Branchiopoda: Notostraca. Pp. 333-339. En Llorente, J. & J.J. Morrone (Eds), Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México. UNAM, ISBN 968-36-9488-8.
- Maeda-Martínez, A.M., H. Obregón-Barboza, G. Murugan, R. Campos-Ramos, H. J. Dumont. 2003. Reproductive cycle of the fairy shrimps *Branchinecta lindahli* Packard, and *Thamocephalus platyrus* Packard (Branchiopoda: Anostraca), under laboratory conditions. *Scientiae Naturae* 6: 91-104.
- Maeda-Martínez, A.M., H. Obregón-Barboza, M.A. Prieto-Salazar, H. García-Velazco. 2005. Two new fairy shrimp of the genus *Streptocephalus* (Branchiopoda: Anostraca) from North America. *Journal of Crustacean Biology*, 25(4): 537-546.
- Magnotti, C, R. Lopes, R. Derner, L. Vinatea. 2016. Using residual water from a marine shrimp farming BFT system. Part II: *Artemia franciscana* biomass production fed microalgae grown in reused BFT water. *Aquaculture Research*, 47, 2716–2722.
- Maigual, E.Y., O.I. Sánchez, T. Matsumoto. 2013. Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia. *Revista MVZ Córdoba*. 18(2), 9.
- Martin, J.W. 1992. Branchiopoda. In Harrison, F. W. & A. G. Humes (eds), *Microscopic Anatomy of Invertebrates*, Vol. 9. Crustacea, Wiley-Liss, New York: 25–224.
- Monroy-Dosta M.C., R. De Lara-Andrade, J. Castro-Mejía, G. Castro-Mejía, M.G. Coelho-Emerenciano. 2013. Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 48, N° 3: 511-520.
- Moore, W.G. 1957. Studies on the laboratory culture of Anostraca. *Transactions of the American Microscopical Society*. 76: 159-173.
- Moss, B. 1993. *Ecology of fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Second Edition, 417 + 17 pp.
- Obregón-Barboza, H., A.M. Maeda-Martínez, G. Murugan, 2001. Reproduction, molting, and growth of two Mexican uniparental forms of the tadpole shrimp *Triops* (Branchiopoda: Notostraca), under a recirculating culture system. *Hydrobiologia* 462: 173-184.

- Ornelas-Luna, R., B. Aguilar-Palomino, A. Hernández-Díaz, J.A. Hinojosa-Larios, D. Godínez-Siordia. 2017. Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19-25.
- Oviedo, P.M., C.S. Brú, G.V. Atencio, C.S. Pardo. 2013. Potencialidad de la región costera de Córdoba -Colombia- para el cultivo de tilapia nilótica. *Revista MVZ Córdoba* 18(3):3781-3789.
- Pandey, G. 2013. Feed formulation and feeding technology for fishes. *International Research Journal of Pharmacy*. 4 (3).
- Pineda García, T.J. 2009. Efectos de dos probióticos sobre el crecimiento y supervivencia de larvas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en el laboratorio de producción Aquapacific S.A. de C.V. Tesis de Biología en Acuicultura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Poot-Delgado, C., A. Salazar-Novelo, M.F. Hernández-Hernández. 2009. Evaluación de dietas comerciales sobre el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Linnaeus) etapa crianza. 2° Congreso Internacional de Investigación Cd. Delicias, Chihuahua, México.
- Phulia V., B. Mandal, A. Bera, S.K. Singh, R. Das, A. Jamwal. 2012. Factors controlling biofloc characteristics. *World aquaculture*. 59-61 p.
- Quispe, F.M. 2000. Estimación de costos de la producción de alevines de tilapia en tres localidades de Honduras. Tesis. Honduras.
- Rafiee, G, C.R. Saad. 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*. 244:109–118.
- Ramírez Luna, O.G. 2010. Niveles de nitrógeno inorgánico disuelto y total en larvicultura comercial de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*, Boone) manejada con dosificación de probióticos. Tesis de Biología en Acuicultura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar. Mazatlán, Sinaloa, México.
- Ray, A.J. 2012. Management of Biological and Chemical Constituents for the Advancement of Intensive, Minimal-Exchange, Biofloc-based Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Aquaculture. Dissertations. 472.
- Rogers, D.C. 2009. Branchiopoda (Anostraca, Notostraca, Laevicaudata, Spinicaudata, Cyclestherida). In: Likens GF. (Ed.) *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier, Boston, 242-249.

- Rogers, D.C., S. Padhye. 2014. A new species of *Streptocephalus* (Crustacea: Anostraca: Streptocephalidae) from the Western Ghats, India, with a key to the Asian species. *Zootaxa* 3802 (1): 075–084.
- Ronald, L., G. Van Stappen, N. Van Hoa, P. Sorgeloos. 2014. Effect of carbon/nitrogen ratio manipulation in feed supplements on *Artemia* production and water quality in solar salt ponds in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, 45, 1906–1912.
- Sakkaravarthi K., G. Sankar. 2015. Identification of Effective Organic Carbon for Biofloc Shrimp Culture System. *Journal of Biological Sciences*. 15 (3): 144-149.
- Sandoval C., E. Paredes, M. Ulloa, X. Gutiérrez, G. Muñoz, C. Arcos. 2015. Toxicología Acuática en Peces. *Toxicología VD Segundo Semestre*.
- Schönbrunner I.M., E. Eder. 2006. pH-related hatching success of *Triops cancriformis* (Crustacea: Branchiopoda: Notostraca). *Hydrobiologia* 563: 515–520.
- Scholnick D.A. 1995. Sensitivity of Metabolic Rate, Growth, and Fecundity of Tadpole Shrimp *Triops longicaudatus* to Environmental Variation. *Biological Bulletin*. 189: 22-28.
- Scott, S. R. and A. A. Grigarick. 1979. Laboratory studies of factors affecting egg hatch of *Triops longicaudatus* (LeConte) (Notostraca: Triopsidae). *Hydrobiologia* 63:145-152.
- Segura Zarzosa I.E. 2015. Diversidad haplotípica del género *Triops* (Crustacea: Notostraca) de un humedal urbano del Desierto Chihuahuense. Tesis de Maestría, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México, 109 pp.
- Shnel, N., Y. Barak, T. Ezer, Z. Dafni, J. van Rijn. 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering*. 26: 191–203.
- Silva-Acuña A., M. Guevara. 2002. Evaluación de dos dietas comerciales sobre el crecimiento del híbrido de *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*. *Zootecnia Tropical*, 20(4):449-459.
- Silva U.L., D.R. Falcon, M.N.C. Pessôa, E.S. Correia. 2017. Carbon sources and C:N ratios on water quality for Nile tilapia farming in biofloc system. *Revista Caatinga*, 30(4), 1017-1027.
- Simoes, L.N., D.C. Lombardi, A. Gomide, L.C. Gomes. 2011. Efficacy of clove oil as anesthetic in handling and transportation of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Actinopterygii: Cichlidae) juveniles. *Zoologia (Curitiba)*. 8 (3), 285-290.
- SINCOAGRO S.C. (Servicios Integrales para la Competitividad Agropecuaria), FUNPROVER (Fundación Produce Veracruz), COVECA (Comisión Veracruzana de

Comercialización Agropecuaria). Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad. (En línea). México 2007. (Citado 21 abril de 2013).

Soto-Zarazúa, G., R. Peniche-Vera, E. Rico-García, M. Toledano-Ayala, R. Ocampo-Velázquez, G. Herrera-Ruiz. 2011. An automated recirculation aquaculture system based on fuzzy logic control for aquaculture production of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*. 19: 797-808.

Su T., M.S. Mulla. 2001. Effects of nutritional factors and soil addition on growth, longevity and fecundity of the tadpole shrimp *Triops newberryi** (Notostraca: Triopsidae), a potential biological control agent of immature mosquitoes. *Journal of Vector Ecology* 26(1): 43-50.

Su, T., M.S. Mulla. 2002. Factors Affecting Egg Hatch of the Tadpole Shrimp *Triops newberryi*, a Potential Biological Control Agent of Immature Mosquitoes. *Biological Control*, 23: 18–26.

Supono, H.J., S.B. Prayitno, Y.S. Darmanto. 2014. White shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture using heterotrophic aquaculture system on nursery phase. *International Journal of Waste Resources*. 4:2.

Taw, N. 2010. Biofloc technology expanding at white shrimp farms biofloc systems deliver high yield with sustainability. *Global Aquaculture Advocate* 2:20-22.

Timmons M.B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton, S.T. Summerfelt, B.J. Vinci. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems* (2nd Edition), Cayuga Aqua Ventures, New York (2002). 769 pgs.

Tizol-Correa R., L. Carreón-Palau, B.O. Arredondo-Vega, G. Murugan, L. Torrentera, T.D. Maldonado-Montiel, A.M. Maeda-Martínez. 2006. Fatty acid composition of *Artemia* (Branchiopoda: Anostraca) cysts from tropical salterns of southern México and Cuba. *Journal of Crustacean Biology*. 26:503-509.

Toi H.T., P. Boeckx, P. Sorgeloos, P. Bossier, G. Van Stappen. 2013. Bacteria contribute to *Artemia* nutrition in algae-limited conditions: A laboratory study. *Aquaculture* 388–391, 1–7.

Toledo-Pérez, S.J., M.C. García-Capote. 2000. Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe. pp 83-137 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.

UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2007. Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea. Interacciones entre la Acuicultura y el Medio Ambiente. UICN, Gland, Suiza y Málaga, España. VI + 114 páginas.

Verster, N., G. Van Stappen. 2017. Comparison of growth rates of tilapia species (*Oreochromis mossambicus* and *Oreochromis niloticus*) raised in a biofloc and a standard recirculating aquaculture (RAS) system.

Vinatea, L., J. Malpartida, R. Carbó, K.B. Andreeb, E. Gisbert, A. Estévez. 2018. A comparison of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of *Tinca tinca* (Cyprinidae) and fry of grey Mugil cephalus (Mugilidae). *Aquaculture* 482, 155–161.

Weeks, S. C. 1990. Life - history variation under varying degrees of intraspecific competition in the tadpole shrimp *Triops longicaudatus* (LeConte). *J. Crustacean Biol.* 10: 498-503.

World Bank, 2013. Fish to 2030. Prospects for fisheries and aquaculture. Report No. 83177-GLB. The World Bank, Washington DC.

Xu W.J., L.Q. Pan, D.H. Zhao, J. Huang. 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.

Yao M., G. Luo, H. Tan, L. Fan, H. Meng. 2018. Performance of feeding *Artemia* with bioflocs derived from two types of fish solid waste. *Aquaculture and Fisheries*. Article in Press: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.07.002>.

11. ANEXOS

Anexo A. Sistema sin recirculación.

Este sistema consta de un tanque (Rotoplas®) de 750 L con agua potable del suministro municipal y aireación a base de piedras difusoras. Además de una tina de reserva de agua y decolorización con aireación a base de piedras difusoras con el objetivo de airear el agua durante mínimo 24 h previo a su uso y evitar residuos de cloro en la misma que pudieran ser tóxicos para los peces, cubierto con una malla sombra. El manejo básico de este sistema consiste en realizar sifoneos y recambios de agua constantes con el objetivo de mantener la calidad del agua óptima para la especie en cultivo (Fig. 1 del Anexo A).



Figura 1 del Anexo A. Sistema sin recirculación.

Anexo B. Calidad del agua potable del suministro municipal.

Uno de los requisitos más importantes para un sitio exitoso de instalaciones acuícolas es una fuente de agua de alta calidad, con capacidad suficiente para satisfacer las necesidades iniciales y las expansiones futuras contempladas. Una fuente potencial de agua es la proveniente de un suministro de agua municipal. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estas fuentes están diseñadas y tratadas para salvaguardar la salud de los seres humanos, es decir, se agregan productos químicos como el cloro (1.0 mg/L) y flúor. Para ser utilizable en RAS; estos químicos deben ser neutralizados químicamente (tiosulfato de sodio para eliminar el cloro y las cloraminas) o por filtración (carbón activado). El cloro es muy

perjudicial para los peces y los niveles tan bajos como 0.02 mg/L son estresantes (Timmons *et al.*, 2002). Se determinó la calidad del agua potable del suministro municipal y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1 del anexo B.

Tabla 1 del Anexo B. Calidad del agua potable del suministro municipal.

Variable	Valor
Temperatura (°C)	23.8
pH	7.8
Amonio (ppm)	0
Nitritos (ppm)	0
Nitratos (ppm)	40
Conductividad eléctrica (mS/cm)	1.063
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.707
Salinidad (g/L)	0.5
Oxígeno disuelto (mg/L)	13.47

Anexo C. Información nutrimental de los alimentos comerciales.

La nutrición es el componente más caro en la industria de la acuicultura intensiva, donde representa más del 50% de los costos de operación. Por lo tanto, el manejo adecuado de la alimentación es una herramienta necesaria para lograr el éxito en los cultivos acuícolas. En los últimos años se ha prestado mucha atención a la nutrición acuícola y el desafío que enfrentan los acuicultores en general y los nutricionistas en los países en desarrollo en particular, es el desarrollo de alimentos comerciales rentables utilizando recursos disponibles localmente, baratos y no convencionales (El-Sayed, 2006). A continuación se presentan en la tabla 1 y tabla 2 del anexo C la composición nutricional y los ingredientes de los alimentos comerciales utilizados en el presente trabajo de investigación.

Tabla 1 del Anexo C. Composición nutricional de los alimentos Purina® 2.4 mm, Purina® 5.5 mm, Wardley® y Tutto® utilizados en la presente investigación de Tesis.

Análisis garantizado	Alimento Purina® 2.4 mm	Alimento Purina® 5.5 mm	Alimento Wardley®	Alimento Totto®
Humedad	12%	12%	9%	8%
Proteína	40%	25%	38%	40%
Grasa	9%	4%	5%	8%
Fibra cruda	3%	7.5%	3%	-
Cenizas	8%	15%	-	3%
Elementos libres de nitrógeno	-	36.5%	-	-
Ácido ascórbico (vitamina C)	-	-	200 mg/kg	-
Mezcla de vitaminas y minerales				550 mg/kg

Tabla 2 del Anexo C. Ingredientes de los alimentos Purina® 2.4 mm, Purina® 5.5 mm, Wardley® y Tutto® utilizados en la presente investigación de Tesis.

	Alimento Purina® 2.4 mm	Alimento Purina® 5.5 mm	Alimento Wardley®	Alimento Totto®
Ingredientes energéticos				
Aceite de hígado de bacalao				✓
Aceite de pescado	✓	✓	✓	
Cereales molidos	✓	✓		
Fosfolípidos	✓	✓		
Harina de trigo			✓	
Lecitina			✓	
Plúmula				✓
Polvo de hígado de callo de hacha				✓
Ingredientes protéicos				
Alga verde azul				✓
Combinación de pastas de oleaginosas	✓	✓		
Concentrado de proteínas del pescado			✓	
D-L metionina	✓	✓		
Espinaca deshidratada molida			✓	
Espirulina deshidratada molida			✓	
Harina de camarón			✓	✓
Harina de germen de trigo			✓	
Harina de gluten de maíz			✓	
Harina de pescado			✓	

	Alimento Purina® 2.4 mm	Alimento Purina® 5.5 mm	Alimento Wardley®	Alimento Totto®
Harina de soya				✓
Harina de soya sin cáscara			✓	
Krill				✓
Lisina	✓	✓		
Pescado fresco				✓
Proteínas animales de origen marino	✓	✓		
Proteína de maíz				✓
Subproductos alimenticios agrícolas e industriales	✓	✓		
Subproductos de cereales	✓	✓		
Subproductos vegetales	✓	✓		
Ingredientes minerales				
Carbonato de calcio	✓	✓		
Cloruro de potasio	✓	✓		
Cloruro de sodio	✓	✓		
Mezcla de minerales				✓
Proteinato de cobalto			✓	
Selenato de sodio			✓	
Sílice hidrofóbica			✓	
Sulfato de cobalto	✓	✓		
Sulfato de cobre	✓	✓	✓	
Sulfato de magnesio y/u óxido de magnesio	✓	✓		
Sulfato de manganeso	✓	✓	✓	
Sulfato de zinc	✓	✓	✓	
Sulfato ferroso	✓	✓	✓	
Yodato de potasio			✓	
Ingredientes vitamínicos				
Ácido ascórbico estabilizado/L-ascorbil-2-polifosfato (vitamina C)	✓	✓	✓	
Ácido fólico (vitamina B9)	✓	✓	✓	
Ácido pantoténico/Pantotenato de calcio (vitamina B5)	✓	✓	✓	
Biotina (vitamina B8)	✓	✓	✓	
Caroteno				✓
Cloruro de colina	✓	✓		
Complejo de bisulfito sódico de menadiona (vitamina K)	✓	✓	✓	

	Alimento Purina® 2.4 mm	Alimento Purina® 5.5 mm	Alimento Wardley®	Alimento Totto®
Piridoxina/Hidrocloruro de piridoxina (vitamina B6)	✓	✓	✓	
Inositol	✓	✓	✓	
Mezcla de vitaminas				✓
Mononitrato de tiamina (vitamina B1)	✓	✓	✓	
Niacina (vitamina B3)	✓	✓	✓	
Riboflavina (vitamina B2)	✓	✓	✓	
Suplemento de vitamina A	✓	✓	✓	
Suplemento de vitamina B12	✓	✓	✓	
Suplemento de vitamina D3	✓	✓	✓	
Suplemento de vitamina E	✓	✓	✓	
Aditivos				
Antioxidante/Astaxantina	✓	✓	✓	✓
Atrayentes naturales	✓	✓		
Óxido de hierro (colorante)			✓	
Etoxiquina (conservante)			✓	
Fosfato monosódico/monocálcico (estabilizante)	✓	✓		
Fungicida	✓	✓		
Secuestrante de micotoxinas (aluminosilicatos)		✓		

Anexo D. Ajuste de alimentación de peces en los sistemas RAS y BFT.

De acuerdo a Chemonics International Inc. (2012) la cantidad diaria de alimento se determina de la siguiente manera: [(Peso promedio de peces X Número de peces vivos) / 1000] X % Biomasa diaria = Kg/día de alimento. El % de Biomasa diaria es de acuerdo a la tabla de alimentación recomendada por el fabricante del alimento comercial.

Anexo E. Método de anestesia de peces.

Para facilitar la manipulación de la Tilapia durante las biometrías (peso y talla), los peces se anestesiaron con Eugenol (aceite de clavo) con una dosis de 0.05 mL/L de agua potable del suministro municipal. Por lo tanto de manera rutinaria se diluyeron 2.5 mL en 50 L de agua y se introdujeron los peces hasta que presentan aletargamiento, flotabilidad de lado,

disminución de funciones como reacción y escape (Fimbres, 2015; Simoes *et al.*, 2011). El tiempo de anestesia fue aproximadamente de 3 minutos. Para la recuperación de los organismos, éstos se introdujeron en un contenedor con agua potable y aireación a base de piedras difusoras. El tiempo de recuperación fue generalmente de 6 minutos.

Anexo F. Variables para evaluar el desempeño productivo de la Tilapia.

Las variables que se determinaron para evaluar el desempeño productivo de la Tilapia se presentan en la tabla 1 del anexo F.

Tabla 1 del Anexo F. Variables para evaluar el desempeño productivo de la Tilapia.

Variable	Unidad	Instrumento / Fórmula	Referencia
Peso	g	Peso = Peso corporal húmedo (Balanza Ohaus® Adventurer Pro AV182)	Fimbres, 2015
Talla	cm	Talla = Longitud total del margen anterior de la cabeza al margen posterior de la aleta caudal (ictiómetro)	Anderson and Gutreuter, 1983
K	-	$K = (\text{Peso} / \text{Longitud}^3) \times 100$	Leyton <i>et al.</i> , 2015
FCR	-	FCR = Cantidad total de alimento dado / ganancia total de biomasa de peces	Fauji <i>et al.</i> , 2018
Supervivencia	%	$S = (\text{Número final de organismos} / \text{número inicial de organismos}) \times 100$	Fimbres, 2015
Incidencia de costos	-	IC = FCR x Costo por kg de alimento	Poot-Delgado <i>et al.</i> 2009

El factor de condición (K) determina el grado de bienestar o robustez de las especies, debido a que permite comparar peces de la misma longitud. Se calcula con el peso (g) del pez contra su longitud (cm) elevada al cubo. Valores entre 1.6 a 1.8 son índices corporales bajos, entre 1.9 a 2.2 son valores aceptables y entre 2.3 y superiores son índices corporales buenos (Chemonics International Inc., 2012; Leyton *et al.*, 2015). Valor de CF para describir la condición corporal esperada o normal en Tilapia: 2.08 – 2.5 (Timmons *et al.*, 2002).

Anexo G. Sistema de recirculación (RAS).

Este sistema consta de un tanque de cultivo de 600 L con fondo cónico, agua potable del suministro municipal, sistema de aireación a base de manguera porosa y un tubo central de 4" cubierto con una malla de 7 x 6 mm de luz por el cual se permite el flujo del agua con los desechos sólidos; además de un tanque sedimentador de 100 L con fondo cónico y un serpentín en su interior que permite la sedimentación de los desechos sólidos por gravedad, cubierto con una malla sombra. El flujo constante del agua del tanque de cultivo al tanque sedimentador se promueve con un sistema de aireación tipo "air lift" y el flujo del tanque sedimentador al tanque de cultivo por gravedad. Cabe señalar que quien controla el flujo del agua en este sistema RAS es el sistema de aireación tipo "air lift", debido a que cuando se introduce más la manguera del sistema de aireación tipo "air lift" en la manguera que conecta al tanque de cultivo con el sedimentador se aumenta el flujo del agua y viceversa, cuando se retira se disminuye el flujo del agua, controlando así el flujo del agua que se desea tener en el sistema (Fig. 1 del Anexo G).



Figura 1 del Anexo G. Sistema de Recirculación (RAS).

Anexo H. Evaluación de la calidad del agua.

La calidad del agua es de vital importancia en el cultivo de las especies acuáticas, debido a que afecta el comportamiento, reproducción, crecimiento, salud, rendimiento por unidad de área, productividad primaria, manejo de las diferentes especies y determina el fracaso o el éxito del cultivo (Klontz, 1991; El-Sayed, 2006). Es muy probable que ésta esté sujeta a continuos cambios, especialmente en sistemas de cultivo intensivo o superintensivo, por lo tanto su manejo se convierte en un factor clave para tener éxito en acuicultura. Es necesario comprender los principales parámetros de la calidad del agua tales como la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, amonio, amonio no ionizado, nitritos, nitratos, pH, alcalinidad, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales (El-Sayed, 2006; Oviedo *et al.*, 2013; Timmons *et al.*, 2002). Las variables cuantificadas en este estudio se presentan en la Tabla 1 del Anexo H.

Tabla 1 del Anexo H. Variables de la calidad del agua.

Variable	Unidades	Instrumento
Temperatura	°C	Conductivímetro EcoSense® EC300
Conductividad eléctrica	mS/cm	Conductivímetro EcoSense® EC300
Salinidad	g/L	Conductivímetro EcoSense® EC300
Sólidos disueltos totales	g/L	Conductivímetro EcoSense® EC300
pH	-	Pontenciómetro EcoSense® pH100
Amonio	Ppm	Marine Care Test Kit de Red Sea®
Nitritos	ppm	Marine Care Test Kit de Red Sea®
Nitratos	ppm	Marine Care Test Kit de Red Sea®
Alcalinidad	Meq/L	Marine Care Test Kit de Red Sea®
Oxígeno disuelto	mg/L	Oxímetro EcoSense® DO200
Amonio no ionizado	mg/L	Ver descripción
Sólidos sedimentables	mL/L	Ver descripción
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Ver descripción

Amonio no ionizado

Fue necesario determinar la concentración de amonio no ionizado, respecto a las concentraciones de amonio registradas, de acuerdo a Emerson *et al.* (1975) quienes establecieron la siguiente ecuación para el cálculo de la fracción no ionizada del amonio total (f) en función de la temperatura y del pH del agua, siendo pKa calculable, para

temperaturas comprendidas en el intervalo de 273 °K a 323 °K, mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1: $pK_a = 0.09018 + 2729.92 / T$ (Emerson *et al.*, 1975)

Donde: T = Temperatura en K; Zero absoluto = -273.15 °C

T (en K) = T (en °C) + 273.15

Ecuación 2: $f = 1 / [10 (pK_a - pH + 0.221) + 1]$ (API, 1981)

Donde: f = Fracción del amonio total no ionizado

pK_a = constante de disociación de la ecuación 1

Sólidos sedimentables (SS) o volumen de Biofloc (FV)

Se evalúan tomando una muestra de agua en un cono Imhoff, dejando reposar durante 15-20 minutos y observando la cantidad de partículas sedimentadas. En algunos casos los flóculos son pequeños y apenas se ven cuando se toma una muestra del agua, pero se desarrollan en grandes flóculos en pocos minutos. Al dejar el cono por periodos de tiempo superiores a 20 minutos, se produce la formación de gas en el sedimento y la resuspensión de las partículas. En este caso, se determinaron llenando un cono Imhoff con 1 L de agua (muestreado frente a un aireador en la corriente de agua en movimiento para garantizar una muestra representativa del agua mezclada) y se dejaron reposar durante 20 min cuando se utilizó melaza como fuente de carbono, y después de 24 horas con sacarosa usando un soporte adecuado para sostener el cono (Avnimelech, 2012).

Sólidos Suspendedos Totales (TSS)

Se determinaron filtrando una muestra de agua de 1 L del tanque a través de un papel de filtro pesado previamente (Whatman GFC o similar) y evaporando el agua en un horno a 37 °C durante 24 horas y volviendo a pesar a las 48 y 72 horas hasta obtener peso constante (Avnimelech, 2012).

Anexo I. Registro de la mortalidad, mortalidad acumulada y supervivencia de juveniles de Tilapia en un sistema sin recirculación.

La mortalidad, mortalidad acumulada y supervivencia de juveniles de Tilapia registradas en el sistema sin recirculación se presentan en la tabla 1 del anexo I.

Tabla 1 del Anexo I. Registro de la mortalidad, mortalidad acumulada y supervivencia de juveniles de Tilapia en el sistema sin recirculación.

Días de cultivo	Mortalidad	Mortalidad acumulada	Supervivencia
0	0	0	64
6	3	3	61
7	1	4	60
9	2	6	58
12	2	8	56
14	1	9	55
15	1	10	54
16	2	12	52
19	1	13	51
20	2	15	49
22	2	17	47
24	2	19	45
25	2	21	43
26	3	24	40
29	1	25	39
30	1	26	38
38	1	27	37
44	1	28	36

Anexo J. Cálculo de la relación Carbono – Nitrógeno.

El ajuste de la relación Carbono – Nitrógeno se realizó según la metodología propuesta por Emerenciano *et al.* (2017) con y sin peces como se describe a continuación y para lo cual se elaboró una base de datos en Excel:

Relación C - N con peces:

Cantidad de alimento = _____ g

Contenido de proteína cruda = _____ %

Relación C - N = ____:1

Fuente de carbono = _____

Contenido de carbono = _____ %

Tiempo de cultivo = _____ días

Cantidad de la fuente de carbono = _____ g

Cantidad total de alimento = _____ kg

Cantidad total de la fuente de carbono = _____ kg

Cálculo 1 (contenido de C-N en el alimento):

C: _____ g de alimento x 0.9 (90% de materia seca) x 0.7 (70% de desechos que permanecen en el agua) / 2 (contenido de carbono del alimento es de ~50% basado en la materia seca) = _____ g de C

N: _____ g de alimento x 0.9 (90% de materia seca) x 0.7 (70% de desechos que permanecen en el agua) x _____ (contenido de proteína cruda del alimento en %) / 6.25 (constante) = _____ g de N

Los resultados señalan una relación C:N del alimento de ~_____:1

Cálculo 2 (ajuste de la relación C-N):

_____ g de N (en el alimento) x _____ (relación C:N) = _____ g de C

_____ g de C - _____ g de C (en el alimento) = _____ g de C

Si la _____ tiene _____ % de contenido de carbono, 1 kg de _____ representa _____ g de carbono

Así que, _____ g de carbono requerido representarán _____ g de _____ (aplicar diariamente hasta la maduración del Biofloc)

Relación C-N sin peces:

Cantidad de alimento = _____ g

Contenido de proteína cruda = _____ %

Relación C-N = ____:1

Fuente de carbono = _____

Contenido de carbono = _____ %

Tiempo de cultivo = _____ días

Cantidad de la fuente de carbono = _____ g

Cantidad total de alimento = _____ kg

Cantidad total de la fuente de carbono = _____ kg

Cálculo 1 (contenido de C-N en el alimento):

C: _____ g de alimento x 0.9 (90% de materia seca) / 2 (contenido de carbono del alimento es de ~50% basado en la materia seca) = _____ g de C

N: _____ g de alimento x 0.9 (90% de materia seca) x _____ (contenido de proteína cruda del alimento en %) / 6.25 (constante) = _____ g de N

Los resultados señalan una relación C:N del alimento de ~ _____:1

Cálculo 2 (ajuste de la relación C-N):

_____ g de N (en el alimento) x _____ (relación C:N) = _____ g de C

_____ g de C - _____ g de C (en el alimento) = _____ g de C

Si la _____ tiene _____ % de contenido de carbono, 1 kg de _____ representa _____ g de carbono

Así que, _____ g de carbono requerido representarán _____ g de _____ (aplicar diariamente hasta la maduración del Biofloc)

Anexo K. Sistema Biofloc (BFT).

Este sistema se llevó a cabo en un tanque circular de fibra de vidrio de 3 m³ con agua del sistema BFT-1, aireación con manguera porosa (Aerotube®) y cubierto con malla sombra (Figura 1 del Anexo K).



Figura 1 del Anexo K. Tanque circular de 3 m³ del sistema Biofloc (BFT).

Anexo L. Compuestos nitrogenados medidos con Kit vs. análisis de Laboratorio.

Para corroborar los resultados de los compuestos nitrogenados obtenidos con el kit, se realizó un análisis de estos compuestos en el Laboratorio de Análisis Químico de Agua del CIBNOR. Los resultados se presentan en la tabla 1 del anexo L.

Tabla 1 del Anexo L. Compuestos nitrogenados obtenidos con el Kit vs. Laboratorio.

Sistema	Kit	Laboratorio	Kit	Laboratorio	Kit	Laboratorio
	Amonio (ppm)	Amonio (mg)	Nitritos (ppm)	Nitritos (mg)	Nitratos (ppm)	Nitratos (mg)
Biofloc	0	0.09	0	0.10	80	46.00
R1	0.25	0.36	0.25	0.64	160	137.40
R2	0.25	0.50	1	0.98	160	104.84

Anexo M. Sistema de cultivo externo.

Este cultivo se llevó al cabo en un tanque ovalado de fibra de vidrio con capacidad de 2,000 L en el cual se colocaron 400 L de agua potable Ciel® con una concentración de sólidos disueltos totales de 0.0153 g/L y 40 kg de sustrato deshidratado con quistes de Branquiópodos del humedal del km 64 Cabo San Lucas-La Paz, BCS. El tanque se protegió con una reja para evitar el ingreso de animales silvestres y se cubrió con un triplay el 50% de la abertura del tanque para evitar un incremento excesivo de la temperatura. Al segundo día de cultivo se descendieron los quistes adheridos a las paredes del tanque con 10 L de agua de la llave (Fig. 1 del Anexo M).



Figura 1 del Anexo M. Sistema de cultivo externo.

Las variables de calidad de agua del cultivo externo se presentan en la tabla 1 del anexo M.

Tabla 1 del Anexo M. Calidad del agua del sistema de cultivo externo.

Variable	Valor
Temperatura (°C)	30.4
pH	8.2
Amonio (ppm)	0
Nitritos (ppm)	1
Nitratos (ppm)	0
Alcalinidad (Meq/L)	1.1
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.5
Sólidos disueltos totales (g/L)	0.3
Salinidad (g/L)	0.2
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.5

Anexo N. Variables para evaluar el desempeño productivo de los crustáceos branquiópodos.

Las variables que se determinaron para evaluar el desempeño productivo de los crustáceos branquiópodos se presentan en la tabla 1 del anexo N.

Tabla 1 del Anexo N. Variables para evaluar el desempeño productivo de los crustáceos branquiópodos.

Variable	Unidad	Instrumento / Fórmula	Referencia
Peso	g	Peso = Peso corporal húmedo (Balanza Ohaus® Adventurer Pro AV182) en <i>Triops</i>	Fimbres, 2015
Talla	mm	Talla = Longitud promedio del margen anterior de la cabeza al margen posterior del telson, sin cercópodos en <i>Triops</i> (regla) y con cercópodos en <i>Thamnocephalus</i> y <i>Streprocephalus</i> (Calibrador digital Mitutoyo® absolute 700-113-10).	Rogers y Padhye, 2014
K	-	$K = (\text{Peso} / \text{Longitud}^3) \times 100$ en <i>Triops</i>	Leyton <i>et al.</i> , 2015
Supervivencia	%	$S = (\text{Número final de organismos} / \text{número inicial de organismos}) * 100$	Fimbres, 2015

Anexo Ñ. Sistema de canaletas.

Este sistema consta de un tanque raceway cubierto con malla sombra y dividido en seis canaletas, cada una de las cuales tiene un volumen de 0.25 m^3 , en un extremo del tanque se encuentra una llave por canaleta que la abastece de agua y en el otro extremo unos orificios que permiten la salida del agua (Fig. 1 del Anexo Ñ).



Figura 1 del Anexo Ñ. Sistema de canaletas.

Anexo O. Sistema de incubación de quistes de *Triops*.

Este sistema consiste en colocar los quistes en un matraz de poliestireno transparente de 60 mL con tapón y fondo fijo cubiertos con una malla de $100 \mu\text{m}$. Cada matraz de incubación se coloca en un recipiente de 600 mL y se sumerge en agua potable y se incuba a cierta temperatura. Se suministra aireación constante a través de pipetas Pasteur e iluminación continua con dos lámparas fluorescentes de 40 W instaladas 30 cm por encima de los matraces de incubación (Fig. 1 del Anexo O) (Obregón-Barboza *et al.*, 2001).



Figura 1 del Anexo O. Sistema de incubación de quistes de *Triops*.

Las condiciones de incubación de quistes de *Triops* se muestran en la Tabla 10 del Anexo O. Tomado de Obregón-Barboza *et al.* (2001).

Tabla 10 del Anexo O. Condiciones para la incubación de quistes de *Triops*.

Variable	Unidad	Instrumento	Valor
TDS	g/L	Multiparamétrico EcoSense® EC300	≤0.3
Temperatura	°C	Multiparamétrico EcoSense® EC300	25-30
pH	-	pHmetro EcoSense® pH100	≈7.0
DO	mg/L	Oxímetro EcoSense® DO200	≥5.0
Intensidad Luminosa	luxes	Broad Range Lux/FC Meter de Sper Scientific® 840022	≥1,000

Anexo P. Método de anestesia de *Thamnocephalus* y *Streptocephalus*.

Para facilitar la manipulación de *Thamnocephalus* y *Streptocephalus* durante la determinación de su talla, los organismos se anestesiaron utilizando agua gasificada comercial a una dosis de 10 mL por cada 35 mL de agua potable. Para la anestesia se introdujeron los organismos hasta que presentaron aletargamiento y disminución de funciones como reacción y escape. El tiempo de anestesia fue de 30 segundos y el tiempo de recuperación fue de 10 minutos.