

# Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia

## A sustainable approach to tilapia aquaculture

Ricardo Ornelas-Luna\*, Bernabé Aguilar-Palomino<sup>\*o</sup>, Amulfo Hernández-Díaz\*\*, José Ángel Hinojosa-Larios\*\*, Daniel Enrique Godínez-Siordia<sup>\*\*o</sup>

### RESUMEN

La acuicultura de tilapia (*Oreochromis* spp.) es a menudo desarrollada en sistemas extensivos o en sistemas controlados, los cuales presentan una diversidad de problemáticas; razón por lo que es necesario determinar las causas a estos problemas y ofrecer soluciones orientadas al desarrollo sostenible de la actividad. Los principales problemas en la mayoría de los cultivos son el reducido crecimiento y mortalidades elevadas, esto asociado al inadecuado manejo del cultivo. En este artículo se propone un modelo de cultivo de tilapia en recirculación, con bajo impacto ambiental y una alta productividad. Se propone el uso de plantas medicinales y probióticos, como una medida preventiva o correctiva contra patologías y sistemas de módulos de plantas flotantes y la biodigestión de lodos como una alternativa para evitar impactos al ambiente además de generar ganancias adicionales. En términos generales, el sistema de recirculación propuesto es un proyecto ambientalmente amigable con una alta productividad.

### ABSTRACT

Tilapia (*Oreochromis* spp.) aquaculture is often developed in controlled or extensive systems, which present a diversity of problems whose causes need to be determined to offer solutions oriented to the sustainable development of this activity. The main problems in the majority of farms are reduced growth and high mortality, associated to inadequate management. In this article a tilapia recirculation aquaculture system, with low environmental impact and high productivity, is proposed. The use of medicinal plants and probiotics are suggested as a preventive or corrective measure against pathologies, as well as floating treatment wetlands and sludge digesters, as an alternative to avoid environmental impact. Furthermore, this could generate additional profit in the system. In general, in terms of the proposed Remedial Action Scheme (RAS), this is an environmentally friendly project achieving high productivity.

### INTRODUCCIÓN

La tilapia se ha cultivado en todo el mundo; China, a partir del año 2009, figura como el principal productor y exportador con más de 1 000 000 t/año (Basualdo-Ramírez *et al.*, 2012). México ocupa el lugar número 28 a nivel mundial con una producción de 143 747 t de especies de agua dulce, dentro de las cuales destaca la tilapia que ha aportado el 91% de la producción nacional (Mayorga-Castañeda, 2012; Mayorga-Castañeda, Corral-Ávila, Gutiérrez-Ahumada, Arriaga-Haro & Pérez-Hernández *et al.* 2011; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO, por sus siglas en inglés], 2012).

En la actualidad, la producción acuícola se ha disparado de manera paralela con los problemas ambientales y su sustentabilidad a niveles preocupantes, no solo la producción piscícola necesita atender estándares sustentables, que abarcan aspectos ambientales (emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, gasto de energía), económicos (productivos y de movilización de cadenas comerciales), sociales (productos de buena calidad y asequibles) (Yacout-Dalia, Soliman

Recibido: 23 de febrero del 2016  
Aceptado: 8 de septiembre del 2017

#### Palabras clave:

Manejo; sustentable; cultivo; tilapia.

#### Keywords:

Management; sustainable; culture; tilapia.

#### Cómo citar:

Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á. & Godínez-Siordia, D. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19-25. doi: 10.15174/au.2017.1231

\* Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara; Gómez Farías N° 82, San Patricio-Melaque, C.P. 48980; Jalisco, México.

<sup>o</sup> Cuerpo Académico: Ecosistemas marinos y costeros, UDG-CA-743.

<sup>\*\*</sup> Cuerpo Académico de Aprovechamiento y manejo de ecosistemas costeros y marinos, UDG-CA-852.

<sup>o</sup> Autor de correspondencia.

& Yacout, 2016), del estado físico y relajado de los animales bajo cultivo respecto a su entorno (Qiang *et al.*, 2016; Sánchez-Muros *et al.*, 2016). Las implicaciones de las prácticas sustentables en la acuicultura abarcan desde considerables ahorros en el gasto de energía eléctrica, en la paulatina menor dependencia a insumos de alimento (alimento por reconversión de residuos o productos secundarios) (Stoknes, Scholwin, Krzesinski, Wojciechowska & Jasinska, 2016), hasta en ganancias adicionales por comercio y re-utilización de subproductos (Elissen *et al.*, 2010; Stoknes *et al.*, 2016).

Existen avances importantes en las técnicas de producción de tilapia, pero son pocas las granjas que aplican tendencias amigables con el ecosistema, como ejemplo se tiene el uso de los sistemas de recirculación (RAS por sus siglas en inglés), que son una tecnología de cultivo intensivo utilizado para disminuir el gasto del recurso hídrico, ya que se reutiliza el 95% de agua a través de varios componentes (Badiola, Mendiola & Bostock, 2012; Soto-Zarazúa *et al.*, 2013), al igual que la acuaponía (cultivos integrados entre peces y plantas) (Saufie *et al.*, 2015) y los bioflocs (creación de un microcosmos entre peces y bacterias heterotróficas, agregados de microalgas, protozoos y materia orgánica en suspensión), las cuales son técnicas de cultivo en RAS (Crab, Defoirdt, Bossier & Verstraete, 2012; Endut, Jusoh, Ali, Wan & Hassan, 2009). Sin embargo, estas condiciones de confinamiento a elevadas densidades puede causar desequilibrio fisiológico de los peces (estrés) (Aly, Mohamed & John, 2008; Conte, 2005), detonando inmunosupresión y facilitando la incidencia de diversos agentes patógenos (Silveira-Telli *et al.*, 2014) para esto; una alternativa ecológica son los nutraceuticos los cuales aún se encuentran sin ser utilizados a escalas comerciales en el ramo acuícola (Reverter, Bontemps, Lecchini, Banaigs & Sasal, 2014; Ying-Rui *et al.*, 2013).

El objetivo de este manuscrito es proponer un modelo de cultivo de tilapia que atienda a las carencias de capitales naturales y económicas con técnicas de producción modernas, sostenibles y eficientes (Bosma & Verdegem, 2011; Shi-Yang *et al.*, 2011).

## Principales problemáticas

Las causas de mortalidad y los problemas asociados al cultivo de tilapia se deben corroborar con necropsias a los cadáveres y disecciones a organismos vivos (Syuhaidah *et al.*, 2013), registrar la signología y la mortalidad acumulada al igual que realizar la toma de muestras de diversos órganos para su análisis patológico; además, determinar la calidad química biológica

de agua para descartar la presencia de metales pesados y bacterias patógenas antes de iniciar el proyecto y evitar riesgos para los peces y/o consumidores finales (Tucker & Hargreaves, 2012). Por otra parte, se deben revisar las rutinas de trabajo diario, semanal y mensual en aspectos de bioseguridad y limpieza de estructuras de entrada y salida de agua de los estanques (Mayorga-Castañeda *et al.*, 2011), criterios para la realización de recambios de agua, toma de parámetros fisicoquímicos del agua además de manera minuciosa analizar los criterios de alimentación, desde el tipo de alimento suministrado hasta la técnica de alimentación y la periodicidad de la misma (Martins, Conceição & Schrama, 2011); la aparición de vegetación acuática (macrófitas) debe ser removida por acción manual o mecánica ya que este tipo de macroalgas además de entorpecer los muestreos y cosecha, compiten con el fitoplancton por nutrientes (Guang, Min, Hao-Bo & Wei-Hao, 2010), lo que repercute en una mortalidad masiva de los productores primarios del sistema (Asaduzzaman *et al.*, 2009).

El manejo del cultivo se determina en función del tipo de sistema que se emplea (extensivo, semi intensivo, intensivo, hiper intensivo) en órdenes de magnitud desde 200 kg/ha en estanques rústicos hasta 100 000 kg/ha en cultivo hiper intensivo en términos de rendimiento en la cosecha (Tucker & Hargreaves, 2012).

### Disminución de tasa de crecimiento

Los siguientes factores influyen en el desempeño del crecimiento: calidad de agua, régimen de alimentación, estrés, calidad del alimento, biomasa y densidades de siembra.

### Calidad de agua

La mayoría de las veces la mala calidad del agua de manera directa se asocia a la presencia de agentes patógenos (Silveira-Telli *et al.*, 2014). En los organismos la reducida tasa de crecimiento y la mortalidad en mayor medida se genera por los elevados niveles en la concentración de los desechos nitrogenados como amonio no ionizado (NH<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>) (Tucker & Hargreaves, 2012); la transparencia del agua superior a la recomendada puede causarle al organismo estrés por la luminosidad y la mayor exposición a los depredadores (Jianyu, Ying, Shaoron & Xiangwen, 2006), además esta agua tan clara se traduce en una carencia de productores primarios, lo que repercute en la falta de generación de oxígeno disuelto en el agua (OD), creándose cuadros anóxicos durante la noche y madrugada (Asaduzzaman *et al.*, 2009).

### Régimen de alimentación

En sistemas extensivos muchas veces el alimento se ofrece en una sola ración y causa que el alimento permanezca más tiempo en el tracto digestivo y la digestibilidad disminuya (García-Ortega, Kissinger & Trushenski, 2016; Mojica-Sastoque, Vivanco-Aranda, Martínez-Cordero & Trujillo-Cabezas, 2010); además que el alimento remanente se hidrata y permanece en la columna de agua consumiendo OD y al precipitarse se favorece la acumulación de nutrientes en el fondo, deteriorando la calidad del agua (Asaduzzaman *et al.*, 2009). En tilapias de 40 g se recomienda alimentar al 3% de su biomasa al menos de 3 a 4 raciones diarias y observar su desempeño alimenticio (Mayorga-Castañeda *et al.*, 2011).

### Estrés

El estrés influye sobre los cambios fisiológicos e inmunológicos de los organismos, se crean catecolaminas en plasma, corticosteroides y se eleva la concentración de glucosa, además de cambios etológicos mostrando agresividad y nado errático; si estos cuadros de estrés son muy prolongados o muy frecuentes amenazan la supervivencia de los organismos en cultivo (Jianyu *et al.*, 2006; Qiang *et al.*, 2016).

### Calidad del alimento

El alimento no consumido con altos niveles de proteína (mayor o igual a 35%) se acumula en el agua y suelo del estanque y favorece el incremento en la concentración de los desechos nitrogenados por lo cual se sugiere el uso de alimentos de alta digestibilidad para disminuir este impacto en el ambiente (Rincón *et al.*, 2012; Rivas-Vega, López-Pereira, Miranda-Baeza & Sandoval-Muy, 2012).

### Biomasa y densidades de siembra

La biomasa de siembra es uno de los parámetros más importantes a tomar en consideración en el cultivo, ya que al iniciarse el ciclo la biomasa es una pequeña cantidad de kilos, misma que va aumentando acorde al crecimiento del organismo (Gullian-Klanian & Arámburu-Adame, 2013); densidades de siembra entre los 18 org/m<sup>2</sup> a 30 org/m<sup>2</sup> se cataloga como adecuada para sistemas extensivos-semi intensivos y del doble para sistemas intensivos (Ruiz, Tapia, García & González, 2006; Silveira-Telli *et al.*, 2014), cabe mencionar que *Oreochromis niloticus* es una especie que mantiene su ritmo de crecimiento aún la biomasa sobrepase lo ya señalado (Dampin, Tarnchalanukit, Chunkao & Maleewong, 2012), siempre y cuando existan condiciones favorables; esto dependerá en gran medida de factores como tipo de sistema de cultivo

(estanquería rústica o geomembrana, tanques circulares, rectangulares, canales artificiales), sistemas de apoyo (aireación, tasa de recambio de agua) frecuencia de alimentación (Bosma & Verdegem, 2011), y aditivos en el alimento como probióticos (Van Hai, 2015) o en su caso medicina natural (favorecen la disminución del estrés a través de la disminución de niveles de glucosa) (Arenal *et al.*, 2012); mediante un mecanismo aún desconocido, pero se ha visto que puede ser similar al de la Metformina (droga sintética para controlar la diabetes) que induce un efecto anti-hiperglicémico principalmente inhibiendo el incremento en la tasa de la gluconeogénesis hepática y mejorando la sensibilidad a la insulina a través de la estimulación de la toma de glucosa en el músculo esquelético y en los tejidos adiposos (Mousavi, Mohd, Murugaiyah & Zaini, 2016).

Mientras el sistema empleado cuente con una mayor gama de servicios, es posible aumentar la densidad del cultivo, pero se sugiere mantener densidades que favorezcan el equilibrio entre el retorno de la inversión económica y el bienestar de los animales.

### Patologías infecciosas de origen bacteriano

La signología mostrada en gran parte de los cultivos pueden atribuirse a infecciones por estreptococos ya que estos patógenos principalmente *Streptococcus agalactiae* y *S. iniae*, son reconocidos por causar la infección en una gran variedad de especies de tilapia (Acar, Sabri, Yilmaz, Gültepe & Toker, 2015; Baums *et al.*, 2013; Syuhaidah *et al.*, 2013). Se les ha descrito por causar signos clínicos específicos relacionados al sistema nervioso central (SNC) como hemorragias periorbitales, en las aletas y cuerpo, pérdida de la orientación, nado errático, exoftalmia con o sin opacidad de la córnea, y ascitis (Ponsak & Parichat, 2010a; Syuhaidah *et al.*, 2013). El brote sucede cuando el sistema inmune de los peces está comprometido a consecuencia de altas densidades de siembra o por procesos que comprometen la integridad de su estado de salud (mal manejo en el transporte y biometrias, reducción o aumento brusco de temperatura o niveles de OD), ya que estos patógenos son oportunistas y se benefician de la inmunosupresión de los organismos (Qiang *et al.*, 2016).

También se han presentado casos donde se observa escasa coloración en branquias lo que generalmente se relaciona con crisis de OD durante las noches y madrugadas debido a la respiración del fitoplancton y las macrófitas (que empieza desde el ocaso, iniciándose la fase oscura de la fotosíntesis) al alimento suministrado y a los procesos de óxido-reducción en el fondo (Wezel, Robin, Guerin, Arthaud & Vallod, 2013) cuando se presentan estos cuadros de estrés,

la aireación suplementaria es requerida, ya que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es muy alta (Tucker & Hargreaves, 2012). Al reducirse la disponibilidad OD se necesita incrementar estos niveles en el agua mediante ingreso de agua y/o la implementación de aireación mecánica, difusión pasiva, incluso uso de oxígeno líquido si el sistema de producción es hiper intensivo (Mojica-Sastoque *et al.*, 2010).

### Estrategias de solución

Al surgir cualquier problemática se tienen que llevar a cabo acciones para contrarrestarlas, en la figura 1 se esquematiza un proceso de acción en caso de contratiempos en el cultivo de tilapia, ofreciendo tres escenarios distintos que pueden emplearse de acuerdo al balance económico de cada productor: a) modificación del manejo existente, b) empezar un policultivo, o c) utilizar los sistemas de recirculación. En la figura 2, se detalla el escenario de recirculación que pretende ejemplificar la conversión de sistemas extensivos en medios más controlados que favorecen la sustentabilidad de los ecosistemas a través del reciclaje de materia. El modelo es uno basado en tierra, que se diseñó a partir de la premisa de que ya existía (módulo de producción de tilapia), de manera extensiva, en el que se presentaron problemas de mortalidad y se rediseño con pautas de carácter sostenible.

En la figura 3 se explican los tres escenarios con sus ventajas particulares y las necesidades irrevocables al presentarse problemáticas. El sistema consta de un módulo de producción de tilapia (1 Ha), una cuenca sedimentaria (500 m<sup>3</sup>), dos canales artificiales de agua (250 m<sup>3</sup>) que contendrán módulos de plantas flotantes (MPF), un canal de perifiton (850 m<sup>3</sup>), un biodigestor (100 m<sup>3</sup>), un sistema de aireación que consta de ocho aireadores (1 Hp) (cuatro de inducción y cuatro de superficie) además un reservorio de agua (5000 m<sup>3</sup>).

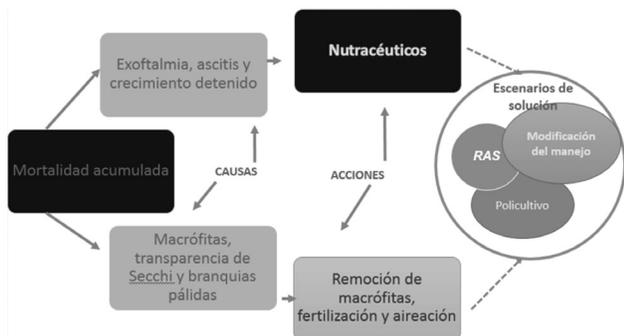


Figura 1. Diagrama de flujo, que indica las causas primarias (infección) y secundarias de la mortalidad acumulada; en el círculo se engloban las diferentes posibilidades de manejo.

Fuente: Elaboración propia.

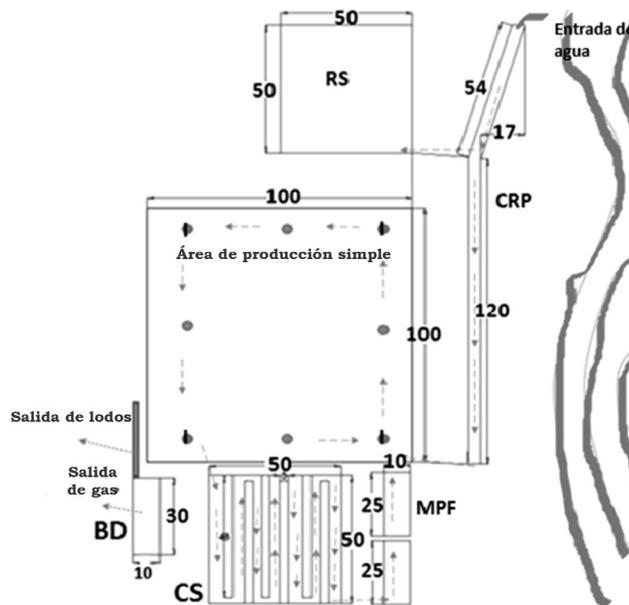


Figura 2. RAS sugerido con sus componentes (área de producción, cuenca sedimentaria (CS), dos módulos de plantas flotantes, biodigestor (BD), aireadores (I), reservorio (RS) y sus respectivas dimensiones (vista de planta, sin escala). Las flechas representan la dirección del flujo de agua. Las unidades están dadas en metros.

Fuente: Elaboración propia.

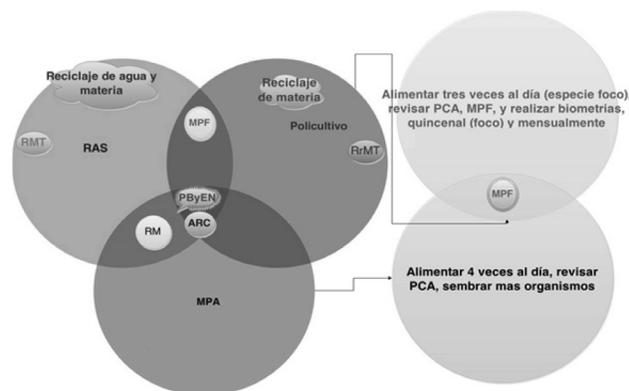


Figura 3. Diferentes escenarios de solución, en los tres círculos a la izquierda, se hace referencia a las similitudes entre las propuestas y sus particularidades; se desprenden algunas de las actividades que habrían de realizarse (el traslape representa opcional). MPA = Manejo de plan de alimentación; RM = remoción de macrófitas; PByEN = probióticos y extractos naturales; ARC = sistema de aireación; MPF = Módulos de plantas flotantes; RMT = Remoción de material tóxico; RrMT = reciclaje del material orgánico; PCA = Parámetros de calidad de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Para favorecer la inmunomodulación se sugiere utilizar aditivos procedentes de fuentes no contaminantes como el aceite de canela en la dieta por los primeros 6 días de cultivo, a una ración del 3% de la biomasa a una concentración del 0.4% por kg de alimento, rociado con atomizador al alimento comercial, ya que se ha probado como potente antibacterial contra infecciones causadas por *S. iniae* (Ponsak & Parichat, 2010b).

También se recomienda utilizar probióticos (PB) *Lactobacillus acidophylus* y *Bacillus subtilis* (107 cel/ mL  $\pm$ ) a razón de 5 g/kg de alimento. El probiótico se diluye en 1% de aceite de soya, hasta que quede completamente homogéneo para añadirse al alimento mediante un atomizador (Aly *et al.*, 2008; Iwashita, Nakandakare, Terhune, Wood & Ranzani-Paiva, 2015).

En el sistema propuesto se administrarían 552 kg de alimento enriquecido con PB, en cuatro raciones al día (138 kg/ración). Esta cantidad de alimento equivale al 3% de la biomasa, administrado en cuatro raciones, ya que al aumentar la frecuencia de alimentación, el alimento se transfiere de manera más rápida por el tracto digestivo (Mayorga-Castañeda *et al.*, 2011). Al alimentar se debe registrar el alimento consumido, se registra el remanente capturándolo con una red para obtener su peso seco y se sustrae al dato del alimento suministrado y el comportamiento alimenticio de los peces calificando la velocidad de nado, la voracidad alimenticia (tiempo de consumo de la ración).

El procedimiento depende de las condiciones de cada sistema de cultivo, si hay posibles infecciones se recomienda iniciar la primera semana con el alimento enriquecido con aceite de canela, y después los PB; adjunto a esto se ha demostrado que la inclusión de PB en el alimento dispara respuestas inmunes así como la mejora de los parámetros de crecimiento y digestibilidad del alimento (Newaj-Fyzul, Al-Harbi & Zaini Asmawi, 2014). Por otra parte, se fomenta la aplicación de los RAS debido a que permite mantener en equilibrio la calidad de agua en los sistemas de estanquería, los cuales a menudo cumplen con las condiciones adecuadas para aumentar el rendimiento de 2 t/Ha a 7 t/Ha por ciclo (peso promedio de cosecha de 500 g).

Es importante señalar que dicho sistema de producción crea un reducido impacto ambiental en gran medida asociado a los fenómenos de eutrofización en ambientes acuáticos aledaños (González-Acosta, 2012). El sistema propuesto además del cuidado al medio ambiente puede brindar valor agregado al precio de la tilapia aunado a la integración y el reciclaje de los

lodos de la cuenca sedimentaria mediante el biodigestor, ya que entre el 30% y 60% del alimento suministrado se convierte en sólidos (Yogev, Sowers, Mozes & Gross, 2017), obteniéndose por tonelada de biomasa de tilapia, al menos 300 kg son transformados en lodos, a lo cual cabe señalar que el proceso de digestión anaerobia genera entre 400 l a 700 l de biogás por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según la relación de Carbono/Nitrógeno que presenten los lodos (Varnero, 2011); dicho biogás se puede aprovechar como fuente de energía en la misma unidad de producción (Ciotola, Lansing & Martin, 2011; Olugasa, Odesola & Oyewola, 2014).

Al implementarse proyectos piscícolas con capacidades competitivas en el ámbito sustentable, la sociedad obtendría diversos beneficios como la adquisición de productos de alta calidad de manera más asequible, existe generación de empleos a nivel local, bajo riesgo de contaminación en cuerpos de agua que a menudo benefician el turismo y las necesidades de regiones locales, promoviendo un desenlace económico favorable para las comunidades que dependen de la acuicultura (Bosma & Verdegem, 2011); se consideran diversos criterios para empatar con un concepto sustentable social como la disminución de la pobreza, la seguridad alimentaria, mejoramiento del medio rural y una mayor salida de beneficios de la granja y estabilidad económica (Harohau *et al.*, 2016). En el ámbito económico, un proyecto sustentable genera gran parte de sus necesidades energéticas y reutiliza o comercian los subproductos, lo que disminuye los costos de producción (Olugasa *et al.*, 2014); a menudo que la acuicultura avanza, el consumidor empieza a buscar productos que sean compatibles con un balance ambiental y ético favorable para la biocenosis de la acuicultura (Feucht & Zander, 2015); por lo tanto, es importante incorporar tendencias ecológicas en el ramo acuícola para que la actividad perdure.

## CONCLUSIONES

El crecimiento de la actividad acuícola a nivel global seguirá en aumento al paso del tiempo, sin embargo, las condiciones medio ambientales se deterioran cada vez más y más rápido; es por esto que la implementación de “tecnologías verdes” en la producción acuícola son primordiales al desarrollar técnicas de cultivo más eficientes y amables con la naturaleza, a lo que este sistema de recirculación propuesto es un proyecto ambientalmente compatible que tiene potencial para ser altamente rentable, con una alta capacidad adaptativa a las necesidades particulares de cada región.

## REFERENCIAS

- Acar, U., Sabri Kesbi, O., Yilmaz, S., Gültepe, N., & Toker, A. (2015). Evaluation of the effects of essential oil extracted from sweet orange peel (*Citrus sinensis*) on growth rate of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and possible disease resistance against *Streptococcus iniae*. *Aquaculture*, 437, 282-286.
- Aly, S. M., Mohamed, M. F., & John G. (2008). Effect of probiotics on the survival, growth and challenge infection in Tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture research*, 39(6), 647-656.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J., Benerjee, S., Akter, T., Hasan, M. M., & Azim, M. E. (2009). Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. *Aquaculture*, 287(3-4), 371-380.
- Arenal, A., Martín, L., Castillo, N. M., Torre D., Torres, U., & R., González. (2012). Aqueous extract of *Ocimum tenuiflorum* decreases levels of blood glucose in induced hyperglycemic tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(8), 634-637.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Basualdo-Ramírez, L. J., Jiménez-Guzmán, F., Jiménez-Saavedra, A. C., Macal-Niño, F. J., Quintero-Marmol, E. A. M., Montaña-Aguilar, D. M. A., & Gutiérrez U. E. (2012). Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México. *México. Saltar impresiones*. Recuperado el 15 de noviembre del 2015 de <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/dgof/publicaciones/CriteriosTecnicosEconomicosTilapiaEnMexico.pdf>
- Baums, C. G., Hermeyer, K., Leimbach, S., Adamek, M., Czerny, C. P., Horstgen-Schwark, G., Valentin-Weigand, P., Baumgartner, W., & Steinhagen, D. (2013). Establishment of a Model of *Streptococcus iniae* Meningoencephalitis in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Comparative Pathology*, 149(1), 94-102.
- Bosma, R. H., & Verdegem, M. C. J. (2011). MCJ Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livestock Science*, 139(1-2), 58-68.
- Ciotola, R. J., Lansing, S., & Martin, J. F. (2011). Emery analysis of biogas production and electricity generation from small-scale agricultural digesters. *Ecological Engineering*, 37(11), 1681-1691.
- Conte, F. S. (2005). Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 86(3-4), 205-223.
- Crab, R., Defoirdt T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356-357, 351-356.
- Dampin, N., Tarnchalanukit, W., Chunkao, K., & Maleewong, M. (2012). Fish growth model for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in wastewater oxidation pond, Thailand. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 513-524.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan, N., & Hassan, W. B. (2009). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511-1517.
- Elissen, H. J. H., Mulder, W. J., Hendrickx, T. L. G., Elbersen, H. W., Beelen, B., Temmink, H., & Buisman, C. J. C. (2010). Aquatic worms grown on biosolids: Biomass composition and potential applications. *Bioresource Technology*, 101(2), 804-81.
- Feucht, Y., & Zander, K. (2015). Of earth ponds, flow-through and recirculation systems – German consumers understanding of sustainable aquaculture and its communication. *Aquaculture*, 438, 151-158.
- García-Ortega, A., Kissinger, K. R., & Trushenski, J. T. (2016). Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum* in diets for giant grouper *Epinephelus lanceolatus*. *Aquaculture*, 452, 1-8.
- González-Acosta, J. A. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema. *Revista Ciencia Animal*, Bogotá-Colombia, 5, 121-143.
- Guang, J. H., Min, Z., Hao-Bo, H., Xi, Z., & Wei-Hao, Z. (2010). An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic water. *Ecological Engineering*, 36(10), 1448-1458.
- Gullian-Klanian, M., & Arámburu-Adame, C. (2013). Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low water Exchange. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1), 150-162.
- Harohau, D., Sulu, R. J., Phillips, M. J., Sukulu, M., Pickering, T., & Schwarz, A. M. (2016). Improving household tilapia (*Oreochromis mossambicus*) aquaculture through participatory action research. *Aquaculture*, 465, 272-286.
- Iwashita, M. K. P., Nakandakare, I. V., Terhune, J. S., Wood, T., & Ranzani-Paiva, M. J. T. (2015). Dietary supplementation with *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* enhance immunity and disease resistance against *Aeromonas hydrophila* and *Streptococcus iniae* infection in juvenile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 43, 60-66.
- Jianyu, X., Ying, L., Shaoron, C., & Xiangwen, M. (2006). Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision. *Aquacultural Engineering*, 35(3), 207-217.
- Martins, C. I. M., Conceição, L. E. C., & Schrama, J. W. (2011). Feeding behavior and stress response explain individual differences in feed efficiency in juveniles of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 312(1-4), 192-197.
- Mayorga-Castañeda, F. J. (2012). *Carta nacional pesquera. Diario Oficial*. Segunda edición. Recuperado el 6 de junio de 2012 de <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/documentos/industria/SAGARPA%20Actualizacion%20Carta%20Nacional%20Acuicola%202012.pdf>
- Mayorga-Castañeda, F., Corral-Ávila, R., Gutiérrez-Ahumada, H., Arriaga-Haro, V., & Pérez-Hernández, J. A. (2011). Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (mojarra). México D. F. URL: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/dgof/publicaciones/Guia-EmpresarialTilapia.pdf>
- Mojica-Sastoque, F. J., Vivanco-Aranda, M., Martínez-Cordero, F. J., & Trujillo-Cabezas, R. (2010). Tilapia 2020: Prospectivo del sistema-producto nacional de tilapia en México Mazatlán, Sinaloa; Recuperado el 12 de octubre del 2015 de <http://www.tilapiademexico.org/system/publicaciones/Tilapia%202020.pdf>
- Mousavi, L., Mohd-Salleh, R., Murugaiyah, V., & Zaini, M. (2016). Hypoglycemic and anti-hyperglycemic study of *Ocimum tenuiflorum* L. leaves extract in normal and streptozocin-induced diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(12), 1029-1036.
- Newaj-Fyzul, A., Al-Harbi, A. H., & Austin, B. (2014). Review: Developments in the use of Probiotics for disease control in aquaculture. *Aquaculture*, 431, 1-11.

- Olugasa, T. T., Odesola, I. F., & Oyewola, M. O. (2014). Energy production from biogas: A conceptual review for use in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 770-776.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome. 2012. Recuperado el 5 de noviembre del 2015 de <http://www.fao.org/fishery/sofia/en>
- Ponsak, R., & Parichat, P. (2010a). Effect of *Cratogeomys formosus* on innate immune response and disease resistance against *Streptococcus agalactiae* in tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fisheries Science*, 76(4), 653-659.
- Ponsak, R., & Parichat, P. (2010b). Potential of cinnamon (*Cinnamomum umverum*) oil to control *Streptococcus iniae* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fisheries Science*, 76(2), 287-293.
- Qiang, J., He, H., Yang, H., Xu, P., Habte-Tsion, M. H., Ma, X. Y., & Zhu, Z. X. (2016). The changes in cortisol and expression of immune genes of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) at different rearing densities under *Streptococcus iniae* infection. *Aquaculture International*, 24(5), 1365-1378. doi: 10.1007/s10499-016-9995-y
- Reverter, N., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture*, 433, 50-61.
- Rincón, D. D., Velásquez, H. A., Dávila, M. J., Semprun, A. M., Morales, E. D., & Hernández, J. L. (2012). Substitution levels of fishmeal by *Arthrospira (Spirulina) maxima* meal in experimental diets for red tilapia fingerlings (*Oreochromis sp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(3), 430-437.
- Rivas-Vega, M. E., López-Pereira, J. L., Miranda-Baeza, A., & Sandoval-Muy, I. M. (2012). Sustitución parcial de harina de sardina con *Moringa oleifera* en alimentos balanceados para juveniles de tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) cultivada en agua de mar. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. BIOTecnia*, XIV(2), 3-10.
- Ruiz, A. J. M. J., Tapia, R., García, J. R., & González, H. (2006). Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(11), 1-12.
- Sanchez-Muros, M. J., Sanchez, B., Barroso, F. G., García-Mesa, S., Rufino-Palomares, E.E., Lupiáñez, J. A., & Sanz, A. (2016). Effects of culture densities on feed demand, behavioral tests and on the hepatic and cerebral oxidative status in tilapia (*Oreochromis sp.*). *Applied Animal Behaviour Science*, 185, 137-145.
- Saufie, S., Estim, A., Tamin, M., Harun, A., Obong, S., & Mustafa, S. (2015). Growth Performance of Tomato Plant and Genetically Improved Farmed Tilapia in Combined Aquaponic Systems. *Asian Journal of Agriculture Research*, 9(3), 95-103.
- Shi-Yang, Z., Gu, L., Hui-Bi, W., Xing-Guo, L., Yan-Hong, Y., Ling, T., & Liu, H. (2011). An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 93-102.
- Silveira-Telli, G., Ranzani-Paiva, M. J., Carla-Dias, T. D., Rosa-Sussel, F., Massatoshi, I., & Tachibana, L. (2014). Dietary administration of *Bacillus subtilis* on hematology and non-specific immunity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised at different stocking densities. *Fish & Shellfish Immunology*, 39(2), 305-311.
- Soto-Zarazúa, M. G., Herrera-Ruiz, G., Rico-García, E., Toledano-Ayala, M., Peniche-Vera, R., Ocampo-Velázquez, R., & Guevara-González, R. G. (2013). Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low cost materials. *African Journal of Biotechnology*, 9(32), 5203-5211.
- Stoknes, K., Scholwin, F., Krzesinski, W., Wojciechowska, E., & Jasinska, A. (2016). Efficiency of a novel "Food to waste to food" system including anaerobic digestion of food waste and cultivation of vegetables on digestate in a bubble-insulated greenhouse. *Waste Management*, 56, 466-476.
- Syuhaidah, A., Noraini, O., Sabri, M. Y., Obukwho, E. B., Nwunuji, T. P., Hanan, L., & Samad, J. (2013). Clinicopathological features and immunohistochemical detection of antigens in acute experimental *Streptococcus agalactiae* infection in red tilapia (*Oreochromis spp.*). *Springer Plus*, 2(286).
- Tucker, C., & Hargreaves, J. (2012). "Ponds". En: Tidwell James, H. *Aquaculture production Systems*. Estados Unidos: Wiley Blackwell.
- Van Hai, N. (2015). Research findings from the use of probiotics in tilapia aquaculture: A review. *Fish & Shellfish immunology*, 45(1), 592-597.
- Vamero, M. (2011). Manual de biogás. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Proyecto CHI/00/G32. Santiago de Chile. Recuperado el 21 de septiembre del 2015 de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Wezel, A., Robin, J., Guerin, M., Arthaud, F., & Vallod, D. (2013). Management effects on water quality, sediments and fish production in extensive fish ponds in the Dombes region, France. *Limnologia*, 43(3), 210-218.
- Yacout-Dalia, M. M., Soliman, N. F., & Yacout, M. M. (2016). Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(1), 806-819. Doi: 10.1007/s11367-016-1061-5
- Ying-Rui, W., Qing-fang, G., Hong, F., Wan-Wen, L., Ming, C., & Rui-Jie, H. H. (2013). Effect of *Sophora flavescens* on non-specific immune response of tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*) and disease resistance against *Streptococcus agalactiae*. *Fish & Shellfish Immunology*, 34(1), 220-227.
- Yogev, U., Sowers, K. R., Mozes, N., & Gross, A. (2017). Nitrogen and carbon balance in a novel-zero water exchange saline recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, 467(1), 118-126.