



Análisis de la aplicación de la tecnología biofloc en la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México

Analysis of the application of biofloc technology in the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in rural regions of Mexico

Erick Arturo Betanzo-Torres^{1*}, José Luis Marín-Muñiz¹, María de los Ángeles Piñar-Álvarez¹, David Celdrán-Sabater², Mata-Alejandro Humberto³

¹El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto 26, Zona Centro, Centro, 91000 Xalapa, Veracruz, México; ² Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Yucatán, Puerto de Abrigo s/n, C.P. 97356, Sisal, Yucatán, México; ³Universidad Veracruzana, Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias Campus Peñuela. Carretera Peñuelas Amatlán Kilómetro 177, C.P. 94500 Córdoba, Veracruz. *Autor de correspondencia: erickbetanzo@hotmail.com
Recibido 19 de septiembre 2019; recibido en forma revisada 5 de noviembre 2019; aceptado 1 de diciembre 2019

RESUMEN

En México la acuacultura es una actividad que demuestra crecimiento en la producción en un 36% durante el periodo 2012-2016. Asimismo, la acuacultura con tilapia juega un papel importante como actividad productiva, dado que el 50% de todas las granjas en México son de tilapia (4,623). El *objetivo* de la investigación fue identificar y analizar las unidades de producción acuícola mexicanas que actualmente están utilizando la Tecnología Biofloc (TBF) en México con énfasis en el cultivo de tilapia, para caracterizar dichas unidades de producción destacando sus principales resultados y experiencias. El *enfoque metodológico* de la investigación es descriptivo analítico. Se adoptan algunos elementos del diseño de estudio de caso. La técnica utilizada fue la encuesta y como instrumento de campo fue un cuestionario. Se realizó observación no participante, a través de recorridos de campo y una guía de observación. Los *resultados* muestran que la Tecnología Biofloc en México en las granjas identificadas ha funcionado de manera eficiente, logrando obtener menores factores de conversión de alimento (0.99 - 1.10:1), ahorro de agua (72% - 84%), productividad (3.4 - 15.5 kg/m³) e incremento en la producción (38 - 44%), destacando la supervivencia de los organismos (95 % - 99%). Se *concluye* con la idea de que los sistemas de con Tecnología Biofloc en México tienen menos de 10 años en funcionamiento, por lo que es una tecnología emergente en el país. Estas diferencias se deben al manejo diferenciado de la relación carbono-nitrógeno y las condiciones específicas de cada región, la densidad del cultivo, la genética de los peces, el alimento balanceado utilizado y su equipamiento.

Palabras Clave: Acuacultura sustentable, Acuacultura rural, Tecnología Biofloc, Desarrollo rural.

ABSTRAC

In Mexico, aquaculture is an activity that demonstrates growth in production by 36% during the 2012-2016 periods. Also, aquaculture with tilapia plays an important role as a productive activity since 50% of all farms in Mexico are tilapia (4,623). The objective of the research was to identify and analyze the Mexican aquaculture production units that are currently using Biofloc Technology in Mexico with an emphasis on tilapia culture, to characterize the reproduction units highlighting their main results and experiences. The methodological

approach to research is descriptive analytical. Some elements of the case study design are adopted. The technique used was the survey and as a field instrument it was a questionnaire. Non-participant observation was performed, through fieldtrips and an observation guide. The results show that Biofloc Technology in Mexico in the farms identified has worked efficiently, achieving lower feed conversion ratio (0.99 - 1.10: 1), water savings (72% - 84%), productivity (3.4 - 15.5 kg / m³) and increase in production (38 - 44%), highlighting the survival of organisms (95% - 99%). It concludes with the idea that Biofloc Technology systems in Mexico have less than 10 years in operation, making it an emerging technology in the country. These differences are due to the differentiated management of the carbon-nitrogen ratio and the specific conditions of each region, the density of the crop, the genetics of the fish, the balanced feed used and its equipment.

Keywords: Sustainable aquaculture, rural aquaculture, biofloc technology, rural development.

INTRODUCCIÓN

En México la acuicultura es una actividad que demuestra un crecimiento en la producción: en el periodo 2012 al 2016, pasó de 245 mil toneladas (2012) a 388 mil toneladas (2016), lo que representa un crecimiento en la producción del 36.74 % en un periodo de 5 años, tal y como señalan CONACYT (2017), SAGARPA (2017) y CONAPESCA (2017a; 2017b). Esto indica que es una rama de sector primario del país, donde existe mucho dinamismo e interés de los productores en practicarla como una alternativa adicional a sus actividades económicas en el sector rural. Con información proporcionada por la plataforma nacional de transparencia para el acceso a la información pública de México, los principales estados con el mayor número de unidades de producción acuícola (UPAs), que participan en la producción nacional en México, son Sinaloa, Puebla, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Tabasco. Asimismo las principales especies que se producen en dichas granjas, concretamente son: el camarón (*Litopenaeus vannamei*), la tilapia (*O. niloticus*), el ostión (*Crassostrea spp*), la carpa (*Cyprinus carpio*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) principalmente.

De acuerdo CONAPESCA, (2017 a), desde el punto de vista económico, en el año 2016 el valor de la producción acuícola nacional ascendió a 13,765, MDP, observado un notable ascenso en el valor de la producción de un 54.9% con respecto a 2013. Es destacable que el camarón y la tilapia son las principales especies provenientes de acuicultura y debido a su volumen de producción, valor en la

industria y el número de granjas son las más sobresalientes. La producción de tilapia es una actividad acuícola importante en México y juega un papel trascendental como actividad productiva en el país: el mayor número de granjas y los datos indican que es la especie con el mayor tonelaje para el consumo en México y que se importa al no satisfacer la demanda nacional.

La utilización de alta tecnología en el sector acuícola mexicano es muy limitada, ya que de las 4,623 granjas de tilapia que operan en el país son predominantemente extensivas y semi intensivas (SAGARPA, 2015) generalmente con rendimientos bajos (Magallón-Barajas *et al.*, 2007) y con un uso ineficiente de los recursos (FAO, 2016). La mayoría de los avances recientes se encuentran en congresos y publicaciones científicas y son llevados a cabo en condiciones controladas, donde la mano experta del científico y técnicos las desarrollan con éxito. Esta transmisión del conocimiento no ha llegado a impactar en el sector comercial, principalmente por la incertidumbre de los productores que prefieren corroborar en condiciones reales la operación de una tecnología novedosa.

En este sentido, numerosa información en laboratorios científicos se queda en el umbral de lo desconocido y empresas mexicanas que realizan innovaciones con nuevas y novedosas técnicas de producción (Zimmerman, 2013a; 2013b), caso de la Tecnología Biofloc, no reportan sus impactos y sus resultados. Por ello, la presente investigación busca aportar esa información perdida en el sector comercial de la acuicultura mexicana de tilapia con uso de Tecnología Biofloc, con el fin de que sea de utilidad para acuicultores iniciales y de recuperar su

experiencia para transmitir dicha información, como base sólida de conocimiento, para implementar esta tecnología amigable con el ambiente, demostrar que es posible la implementación de la misma en diferentes regiones y condiciones en el territorio mexicano. Los objetivos del estudio incluyen identificar y caracterizar las unidades de producción acuícola mexicanas que actualmente están utilizando la Tecnología Biofloc en México con énfasis en el cultivo de tilapia; por otra, analizar dichas unidades de producción destacando sus principales resultados y experiencias para ser contrastados con la realidad científica y que éstos sirvan de base de conocimientos para futuros acuicultores interesados en la TBF a nivel comercial.

La acuicultura de tilapia en México: impacto económico y ambiental.

La acuicultura en México se ha desarrollado en todas las regiones del país, usando prácticas diversas, tanto *extensivas* como *intensivas* y *semi-intensivas* (con sistemas abiertos y cerrados), en jaulas, encierros, líneas suspendidas, estanques artesanales, canales de corriente rápida, estanques de concreto, cubiertas plásticas y otras tecnologías disponibles para criar especies acuáticas para el autoconsumo o comercio de productos (CONAPESCA, 2013; SAGARPA, 2015). El Noroeste de México es considerado como la región de mayor producción y, sin embargo, el sureste del país desarrolló un crecimiento en la producción de Tilapia principalmente en los estados de Veracruz y Chiapas como principales productores. Existen en México cuatro mil 623 granjas de Tilapia, que representan el 50.1 % del total de las granjas acuícolas registradas (CONAPESCA, 2018).

Plasencia y Almada (2012) documentaron los impactos de la acuicultura al medio ambiente en el Noroeste de México. Bushman (2001) destaca que estos impactos se llevan a cabo a través tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. El crecimiento de la actividad afecta considerablemente los ecosistemas aledaños a las granjas acuícolas (Costa-Pierce *et al.*, 2002) y los impactos ambientales de esta actividad deben ser minimizados para asegurar su sustentabilidad.

Normatividad del sector acuícola

En México la actividad de la pesca y acuicultura está regida principalmente por la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (LGPAS). En materia de impacto ambiental por la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y, en cuanto al uso del agua, por la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su reglamento. En lo que respecta al uso de energía eléctrica por la Ley de la Industria Eléctrica y el reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Tecnología Biofloc

La noción de la Tecnología Biofloc ha recibido aportes importantes de diversas disciplinas y marcos interpretativos, principalmente del tratamiento de aguas residuales. Esta tecnología es definida como el conjunto macro agregados de diatomeas, macroalgas, exoesqueleto, restos de organismos muertos, bacterias e invertebrados, se trata de un alimento natural y la proteína microbiana del Biofloc tiene una mayor digestibilidad que la proteína de alimento balanceado (Avnimelech, 2007). La Tecnología Biofloc se basa principalmente en el principio de reciclar los nutrientes de los residuos producidos, en particular el nitrógeno, y transformarlo en biomasa microbiana que puede ser utilizada *in situ* por los animales cultivados o también ser cosechados y procesados como ingrediente de los alimentos balanceados para acuicultura (Avnimelech, 2009).

Investigación documental de la Tecnología Biofloc a nivel comercial.

El cultivo del camarón (*L. vanamei*) y la tilapia (*O. niloticus*) se ha vuelto competitivo y, como tal, la tecnología utilizada debe ser eficiente en todos los aspectos: productividad, calidad, sostenibilidad, bioseguridad (Celdran, 2017) y, asimismo, estar en línea con la demanda del mercado. El sistema Biofloc es actualmente una tecnología altamente buscada para el cultivo del *L. vanamei* y *O. niloticus* debido a su alta eficiencia, productividad, sostenibilidad, bioseguridad y menor uso de alimento. El sistema básico de tecnología de biofloc fue proporcionado por Avnimelech (2000) y se aplicó con éxito a nivel comercial en *L. vanamei* por

McIntosh (2000; 2001), McNeil (2000), Taw (2005; 2006) y Taw y Sidabutar (2009).

El Biofloc, en combinación con cosecha parcial, se presentó en WAS 2009 en Veracruz, México, cuya implementación es representada por Asia Pacific Aquaculture Ltd en Malasia. Por otra parte, Taw (2010a; 2010b) publicó dos artículos en Global Aquaculture Advocate sobre la expansión de la tecnología de biofloc en las granjas de *L. vanamei* en Malasia. Con estos antecedentes se observa que la Tecnología Biofloc se usa el continente asiático con efectividad principalmente en el cultivo de *L. vanamei*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque metodológico de la investigación es descriptivo analítico, pues permite la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición de los fenómenos en su proceso (Blanc, 1988).

Esto coincide con lo que sugiere Ovando (1998), que afirma que un enfoque de análisis para la formulación de tipologías sobre los sistemas de producción debe de considerar las diferencias entre ellos, esto es, distinciones económicas, técnicas y productivas. Considerando la estratificación de las unidades de producción por el grado de modernización alcanzado (Toledo, 1995). Se adoptan algunos elementos del diseño de *estudio de caso* (Yin, 2008) dado que este tipo de diseño permite contribuir al objetivo de describir hechos sobre una situación en particular estudiada en su ambiente natural (Guba y Lincoln, 1994; Martínez-Carazo, 2011).

Población objetivo de la investigación

El número de unidades de producción acuícolas registradas en el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura de México es de 9,230 unidades (CONAPESCA, 2018). Sin embargo, el número y la localización de los productores que utilizan Tecnología Biofloc (TBF), es desconocida. El muestreo no probabilístico denominado método de la “bola de nieve” o rastreo por vínculos (Malhotra, 2004) fue usado para acercarse a las unidades de producción en México. Esta aproximación metodológica permite obtener información para rastrear poblaciones ocultas y de difícil acceso

usando las relaciones existentes entre algunos de los integrantes conocidos de dicha población. Para ello, en el 13vo Foro Internacional de Acuicultura en Guadalajara, Jalisco, México, del 26 al 29 de septiembre del 2018, tras las presentaciones de los ponentes, éstos fueron abordados y se les preguntó individualmente, si conocían a productores que hicieran uso de la Tecnología Biofloc en sus sistemas de producción. Algunos productores llevaron a otros y con ello se logró identificar a un reducido número de 6 acuicultores conocidos en el país. A todos, posteriormente, se les visitó para aplicar una guía de observación y una encuesta, siguiendo una serie de criterios.

Técnicas e instrumentos

Las técnicas usadas para abordar el objetivo planteado fue tanto el análisis de contenido de las fuentes de información como la entrevista semiestructurada y, finalmente, la observación no participante. Esta triangulación de técnicas tiene asociadas tres instrumentos: la guía de análisis de contenido en las fuentes, la guía de entrevista y la guía de observación no participante (Hernández-Fernández y Baptista, 2010).

(1) Las unidades de análisis de contenido, previo a la elaboración del cuestionario, fueron los artículos científicos, divulgativos, tesis de grado y memorias de congresos que reportaran resultados de aplicación de la TBF a nivel comercial en el cultivo de Tilapia (*O. niloticus*).

(2) Con base en las lecturas teórico-metodológicas, se elaboró el instrumento de campo o cuestionario aplicado en el año 2018, identificado como UPASBFMX, estructurado con 31 preguntas abiertas y cerradas que dieron cuerpo a siete categorías de análisis: (a) infraestructura disponible, (b) nivel de estudios de los productores, (c) indicadores de funcionamiento, (d) asesoría técnica, (e) capacitación, (f) costos de operación, (g) principales resultados y recomendaciones del acuicultor que hace uso de la Tecnología Biofloc).

(3) Finalmente, se elaboró una guía de observación no participante donde se observó y fotografió en las instalaciones la infraestructura, los servicios básicos y las características relevantes de cada empresa en el primer trimestre del año 2019.

Previa calendarización con los acuacultores, los sitios visitados fueron las instalaciones ubicadas en cuatro entidades federativas: Veracruz, Yucatán, Chiapas, Jalisco, y Sinaloa. En cada uno de los sitios se realizó observación no participante, a través de recorridos de campo. Todo ello fue georreferenciado. Estas son las 6 unidades de observación bajo estudio, que pueden contribuir al desarrollo de la teoría, previa comparación y contrastación. Las respuestas de estos productores a los que se les aplicó la guía de entrevistas estructurada permiten contrastar la realidad con la del campo teórico que se pretende abordar.

Procesamiento y análisis estadístico

En esta fase se construyeron matrices y cuadros que facilitaron el procesamiento de la información y su codificación para posterior análisis. En tablas se agruparon los datos por variables, dependientes de los indicadores o criterios a fin de simplificar el análisis. Las variables cualitativas y cuantitativas se integraron en tablas de contingencia donde se

contaron las observaciones por múltiples variables categóricas. Las filas y columnas de las tablas corresponden a estas variables categóricas para determinar las características de los sistemas de producción.

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos y gráficos de Pareto usando el programa Minitab 17 Statistical Software 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de los sitios de estudio

La Tecnología Biofloc se desarrolla lentamente en el territorio nacional, tanto en el norte, como en el centro y sur. Las granjas comerciales ubicadas, muestran características diferentes en cuanto a clima, temperatura, altura sobre el nivel del mar y oscilación térmica, esto indica que la Tecnología Biofloc en el país puede desarrollarse en diferentes latitudes (Tabla 1).

Tabla 1. Granjas Biofloc. Características generales de sitios de estudio (2019)

CÓDIGO DE LA GRANJA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	CLIMA	MSNM	FOTO-PERÍODO (HORAS)	TEMP. MEDIA (°C)	OSCILACIÓN TÉRMICA (°C)	ESTADO
BFMX1	19° 01' 24.28"N 96° 14' 49.88" O	Cálido subhúmedo A(w0)(w)	24	12	24.8	10.3	Veracruz
BFMX2	18° 39' 25.84"N 96° 17' 57.36" O	Cálido subhúmedo A(w0)(w)	63	12	23.6	10.1	Veracruz
BFMX3	20° 58' 16.70"N 89° 55' 31.06" O	Cálido subhúmedo A(w0)(w)	5	12	26.3	11	Yucatán
BFMX4	14° 52' 36.30"N 92° 17' 35.20" O	Cálido húmedo A(m)	107	12	26.3	14.3	Chiapas
BFMX5	20° 17' 6.46"N 102° 39' 30.82" O	Semi-cálido Subhúmedo A (Ca)(w0)	1,531	12	18.9	16.4	Jalisco
BFMX6	22° 58' 46.79"N 106° 09' 34.23" O	Cálido subhúmedo A(w0)(w)	6	12	25.6	14.2	Sinaloa

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2017), Anuario estadístico y geográfico de Nayarit; INIFAP (2012), Estadísticas Climáticas Normales del Estado de Jalisco; INIFAP (2007), Estadísticas climatológicas Básicas de la Península de Yucatán; INIFAP (2006), Estadísticas Básicas del estado de Chiapas; INIFAP (2006) Estadísticas climatológicas Básicas del estado de Veracruz.

Ubicación, clima, altura y temperatura

Por la *ubicación espacial* de nuestro país, desde norte a sur, permite tener un fotoperiodo de 12 horas, aspecto importante para el desarrollo del fitoplancton en los estques, así como su

productividad primaria. En cuanto a la *oscilación térmica*, se observan diferencias relevantes: destacan las 16.4 horas en el estado de Jalisco y 14.2 horas en Sinaloa, razón por la cual fue

necesario en estos casos la construcción de invernaderos.

En cuanto a la *temperatura media anual* de todas las ubicaciones exceptuando Jalisco, arrojan una temperatura adecuada para el cultivo de tilapia (Timmons *et al.* 2002; SAGARPA-SENASICA, 2008); sin embargo, controlan la temperatura interna con el invernadero. Otro aspecto a destacar, en el caso de Jalisco, es la altura sobre el nivel del mar, situación que limita la disponibilidad de oxígeno atmosférico por lo que fue necesaria mayor capacidad de aireación en la granja y sistemas mixtos de sistemas de aireación.

Características de infraestructura

En lo que respecta a las *características de infraestructura* (Tabla 2) es posible afirmar que la granja de Jalisco (BFMX5) es la más equipada,

debido principalmente a su ubicación geográfica. Fue necesario diseñarla adaptándola a sus características específicas de la región. Los acuacultores analizados siembran y producen tilapia con Tecnología Biofloc en proceso de engorda o alevinaje predominantemente. En cuanto a la *cantidad de estanques* utilizados para esta tecnología en las granjas es variado, sin embargo más del 80% de los estanques están trabajando con Tecnología Biofloc en sus granjas. Los tipos de estanques son diversos es sus características, lo que nos indica que esta tecnología es compatible y no está limitada a un tipo de estanque específico. Destaca la construcción de estanques en V de la granja BFMX5, que permite una mejor sedimentación y menos concentración de sólidos en el estanque, así como un mejor manejo de los desagües para la cosecha.

Tabla 2. Características de infraestructura de granjas

CÓDIGO DE LA GRANJA	CANTIDAD DE ESTANQUES	TIPO DE ESTANQUES	TIPO DE AIREACIÓN	BIOFLOC	CULTIVO	ETAPA
BFMX1	8	Circulares concreto	Aireador de Inyección de aire y recirculador	Cielo abierto	<i>O. niloticus</i>	Engorda
BFMX2	3	Circulares de membrana	Blower regenerativo	Cielo abierto	<i>O. niloticus</i>	Engorda
BFMX3	7	Circulares concreto y membranas	Blower regenerativo/ aireadores de paleta/ splash	Cielo abierto	<i>O. niloticus</i>	Engorda
BFMX4	3	Concreto rectangulares	Blower	Techado	<i>O. niloticus</i>	Reproducción
BFMX5	9	Rectangulares de tierra con fondo en V forrados de membrana	Compresores, aireador de superficie, Oxígeno líquido	Invernadero	<i>O. niloticus</i>	Alevinaje y engorda
BFMX6	4	Rectangulares	Blower regenerativo	Invernadero	<i>O. niloticus</i>	Alevinaje y engorda

El *tipo de aireación* se caracteriza por ser variado, lo que también indica que todos los equipos comerciales con los que se cuentan trabajan adecuadamente para suministrar oxígeno al sistema. Cabe resaltar algunos aspectos de las granjas analizadas:

- Destaca el sistema de re-suspensión aplicados por la granja BFMX1, diseñado para mantener los flóculos disponibles por mayor tiempo en la columna de agua;
- Resalta el sistema de aireación mixto aplicado por la granja BFMX5 que les permite obtener mayor confiabilidad y rangos

apropiados de los niveles de oxígeno en el sistema, esto debido seguramente a la altura sobre el nivel del mar donde se encuentra.

- Puntualizar que es posible aplicar la tecnología ya sea a cielo abierto o invernadero; esto último tiene implicaciones en la comunidad bacteriana predominante en el estanque. Y desde luego depende también de la ubicación de la granja y los costos de inversión inicial que se dispongan para una construcción. Mientras las granjas del sur están a cielo abierto, donde la temperatura es más compatible con la especie, las granjas del

norte hacen uso de invernadero, donde es necesario realizar una fuerte inversión para mantener bajo control la temperatura y la asolación térmica.

Beneficios de la aplicación de la tecnología en las granjas. Método de transferencia.

Años de experiencia de los acuacultores

Como podemos observar, el 83% de las granjas estudiadas (Figura 1) no tienen más de seis años de experiencia, lo que indica que esta tecnología es joven en su desarrollo en México. Sólo el 17% afirmó que tenían más de 6 años, sin embargo, no precisaron el tiempo exacto que tienen utilizándola. Es importante subrayar que todos son acuacultores experimentados con más de 12 años en el sector acuícola, mismos que buscaron una alternativa tecnológica para elevar su productividad. Ello demuestra que acuacultores con experiencia tienden a adoptar tecnologías con mayor facilidad.

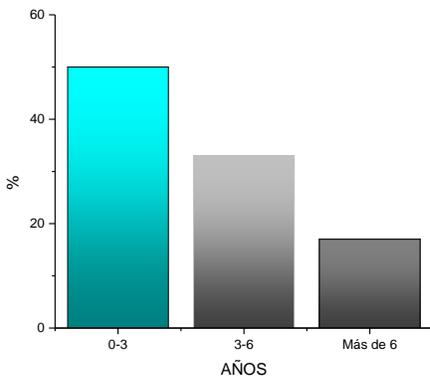


Figura 1. Granjas Biofloc. Años de experiencia con TBF

Uso de la TBF en las fases de cultivo

Por otra parte, en la figura 2, observamos que los acuacultores mexicanos aplican la Tecnología Biofloc en las cuatro fases del cultivo (alevinaje, preengorda, engorda y reproducción), sin embargo, destaca su aplicación en el alevinaje (50%) y la preengorda (33%), así como en la engorda y reproducción (17%). Esta prioridad en alevinaje y pre-engorda se da por ser la fase en la que más alimento comercial de alto costo se requiere y el impacto económico es más significativo. Las otras fases tienen importancia también, debido a la alta sobrevivencia de los huevos y alevines en Biofloc,

sobre todo para aquellas que venden alevines masculinizados a otros productores.

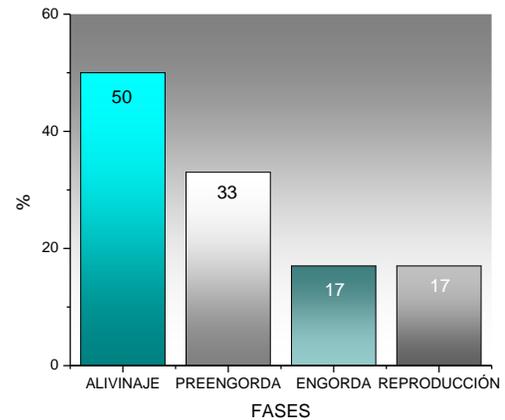


Figura 2. Fases de aplicación de la tecnología en Acuicultura mexicana

Después de llevar a cabo la implementación de la tecnología resulta importante observar que el 67% de los encuestados manifestaron resultados excelentes y el 33% buenos (Figura 3).

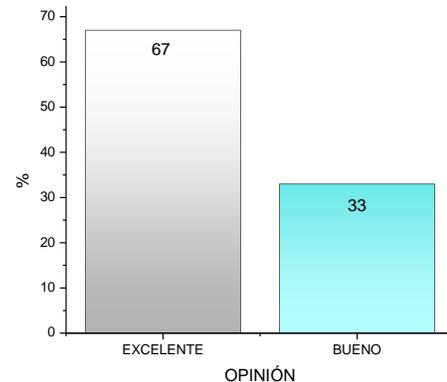


Figura 3. Opinión de los resultados al aplicar la Tecnología Biofloc.

Esta situación sorprende, ya que se esperaba unanimidad de resultados positivos. Lo anterior se podría explicar debido a factores de índole técnico que poco a poco han tenido que resolver, como el control más estricto de la calidad de agua para controlar la alcalinidad, la dependencia tan crítica de la energía eléctrica y los sistemas de aireación, lo que hace un sistema de producción con demasiada supervisión y *stress* para los gerentes.

El conocimiento en México de la Tecnología Biofloc está disponible y al alcance, sin embargo, no ha sido aprovechada y difundida con efectividad, ya que el 100% de los encuestados reportó que aprendió su operación en nuestro país. Sin embargo, el método de transferencia, en el 50% de los casos, fue ser autodidacta y recibir cursos de capacitación (Figura 4).

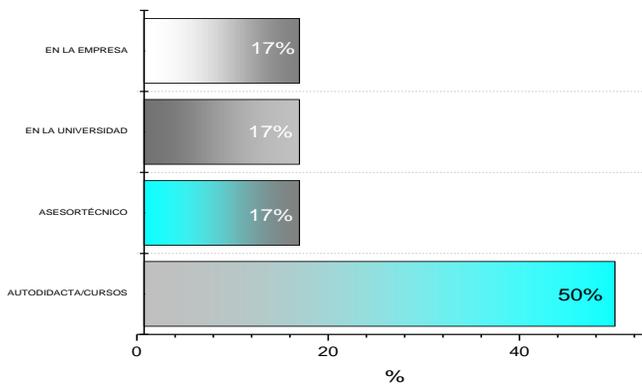
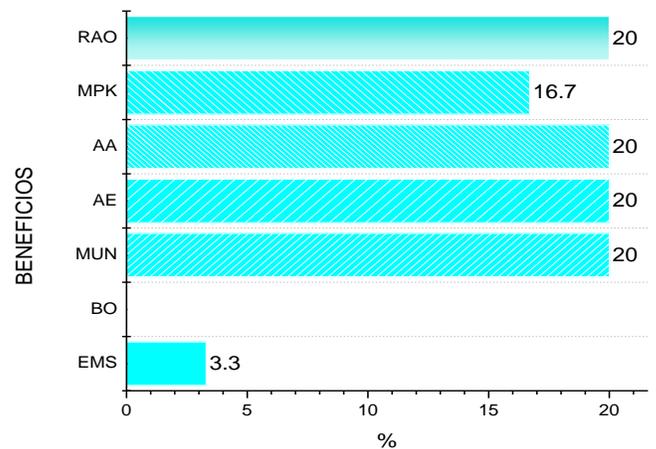


Figura 4. Método de Transferencia del conocimiento Biofloc.

Así, el conocimiento está disponible también a través de otros medios (asesor técnico, universidad, la experiencia en la empresa), pero destaca que ninguno de ellos recibió apoyo de centros de investigación: siendo esta una tecnología amigable con el ambiente e importante difundirla, hay limitada participación de los centros de investigación mexicanos.

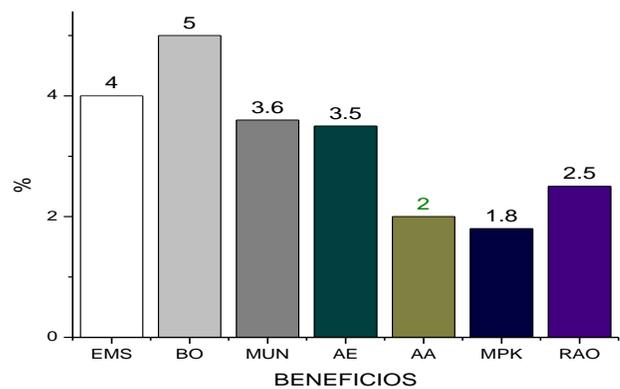
Otro aspecto importante a investigar son los beneficios que se obtienen con la aplicación de la tecnología a nivel comercial, y en este sentido los beneficios predominantes fueron: (1) mayor utilidad neta, ahorro de agua y reducción de la alimentación de los organismos y, en menor frecuencia, la mayor producción en kilogramos. Estos aspectos ya fueron reportados por otros autores a nivel laboratorio y, sin embargo, en cuanto al ahorro de electricidad, manifestaron que debido a que mantuvieron la misma capacidad de aireación, sus producciones fueron mayores. Este costo se mantuvo al mismo nivel y por ello obtuvieron un beneficio (Figura 5).



RAO: Reducción de alimentación de organismos; MPK: Mayor producción en kilogramos; AA: Ahorro de agua; AE: Ahorro de electricidad; MUN: Mayor utilidad neta; BO: Bioseguridad de los organismos; EMS: Estanques de Menor superficie.

Figura 5. Beneficios reportados del uso de la tecnología

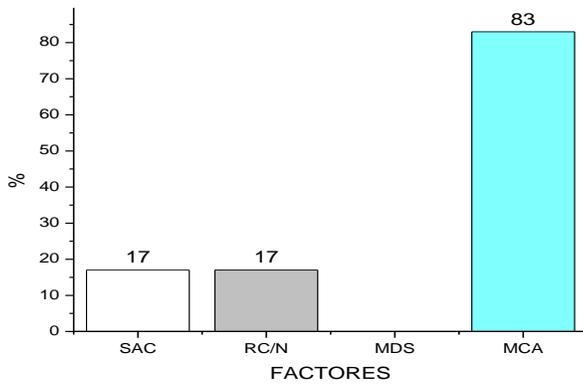
Por otra parte, en el mismo contexto, en orden de importancia los beneficios obtenidos con la tecnología destaco la mayor producción, el ahorro de agua, seguido de la reducción de la alimentación de los peces. Lo que demuestra que a nivel comercial los efectos de aplicar tecnología tienen beneficios económicos y ambientales (Figura 6).



RAO: Reducción de alimentación de organismos; MPK: Mayor producción en kilogramos; AA: Ahorro de agua; AE: Ahorro de electricidad; MUN: Mayor utilidad neta; BO: Bioseguridad de los organismos; EMS: Estanques de Menor superficie

Figura 6. Beneficios reportados del uso de la tecnología, por orden de importancia.

Es una realidad que el uso de la tecnología requiere de cierta capacitación técnica y específica. Por tal motivo se cuestionó a los productores sobre cuáles eran los factores que complicaban su aplicación. La respuesta abrumadora fue el manejo de la calidad de agua, que es un aspecto vital en la acuicultura, pero con la aplicación de esta tecnología su relevancia se incrementa sustancialmente. Y por ello el 100% de los encuestados en una escala de 1 a 10 manifestó que la tecnología es de complejidad 10. Por lo que podemos inferir que uno de los factores que afecta la implementación de la TBF en la acuicultura nacional es la complejidad de operación (Figura 7).



SAC: Sistema de aireación constante; RCA: Relación Carbono Nitrógeno;
 MDS: Manejo de densidades de siembra;
 MCA: Manejo de la calidad de agua.

Figura 7. Factores que dificultan su aplicación

Aspectos productivos

Los resultados de las variables de interés, en lo que respecta a los resultados productivos de la aplicación de la TBF se reflejan en el Tabla 3.

Factor de conversión alimenticia (FCR)

Esta es una variable muy ocupada por los acuicultores, ya que indica la cantidad de alimento utilizado para producir un kilogramo de tilapia. En este caso, se observó que los FCR son bajos y con un *desempeño sobresaliente*, destacando el .90 reportado por la BFMX3 y BFMX4. Estos resultados indican que la tecnología en esta variable de estudio cumple con el propósito por el cual los acuicultores migraron a ella, ya que en promedio el FCR fue de

1.04 kilogramos de alimento suministrado para producir un kilogramo de producto.

Uso del agua

Un aspecto contundente es el *mínimo uso del agua* para la producción de un kilogramo de tilapia, ya que se reportan 2.07 m³ de agua en un ciclo de producción.

Con este dato queda demostrado que el uso de esta tecnología en el ahorro de agua es una de sus principales fortalezas. A ello se suma que el 86 % reportó que el agua después de la cosecha se reusa nuevamente para un ciclo de producción nuevo. Desde un punto de vista ambiental se evita la descarga de nutrientes a los afluentes alrededor.

Productividad

En cuanto a la productividad de los sistemas acuícolas por unidad de superficie es una variable importante para su clasificación y evaluación, en este caso los kg/m³ reportados se pueden considerar bajos y no son consistentes con el propósito de la TBF, que argumenta una alta productividad, a excepción de la granja BFMX3, donde el resultado reportado se puede clasificar en la categoría de intensiva. En contraste con el resto que reportan productividades inferiores que entran en acuicultura semi intensiva. Por tal motivo es posible aseverar que los acuicultores no quieren tomar riesgos en el manejo de la tecnología, por ello el manejo de densidades medias y bajas de cultivo. Otra hipótesis que se puede plantear es que las granjas que afirman usar TBF no la están desarrollando adecuadamente.

Esta hipótesis se fortalece al observar predominancia de fitoplancton en los estanques, dada la coloración verde en la mayoría de los casos. Ello hace suponer que la presencia predominante de bacterias autotróficas y fitoplancton denota una comunidad dominada por las algas, lo cual es contrario a la Tecnología Biofloc en donde las bacterias heterotróficas deben de dominar el sistema.

Peso de cosecha

En lo que respecta al *peso de cosecha* se encontró que todos cosechan en tallas comerciales de tilapia mediana (en un rango de 400 a 500 gramos), lo que indica que en su mayoría es para el mercado nacional y comercializado a través de mayoristas. Lo que es

atractivo para los gerentes ya que su ciclo de cultivo es de 5.4 meses donde rápidamente retornan sus inversiones iniciales.

Ganancia de peso

La ganancia de peso por día arroja que, en promedio, las granjas operadas con Biofloc en México obtienen en promedio 3.9 gramos por día. Considerando que esta variable depende también de aspectos genéticos de la línea de tilapia utilizada, que estos casos todas provienen de tilapia (*O. Niloticus*), sin embargo, provenientes de diferentes laboratorios. Por lo que esta variable no se le puede atribuir todo el peso del resultado. Sin embargo, estos datos son sobresalientes para la acuicultura de tilapia, por lo que resulta posible cultivar con esta Tecnología Biofloc y obtener ganancias de peso diario de hasta 4 gramos al día.

Costo por kilogramo

El costo por kilogramo producido es un aspecto muy importante para el mercado de medio mayoreo y mayoreo mexicano. En este sentido los resultados confirman que el costo de producción de la Tilapia con biofloc es competitivo en el rango entre los 28 ± 2 a los 35 ± 4 \$Mex, lo cual favorece la comercialización en el mercado nacional donde compite principalmente con los sistemas acuaculturales nacionales y la tilapia importada.

Sobrevivencia

Otro aspecto destacable es la sobrevivencia de los organismos en el Biofloc, ya que en la acuicultura este aspecto afecta al final del ciclo de cosecha. Los datos arrojan luz sobre la efectividad: se confirma a nivel comercial que implementar esta tecnología en los sistemas de cultivo incrementa la sobrevivencia de los organismos, ya que los acuicultores entrevistados confirmaron tasas de sobrevivencia mayores al 95% y en algunos casos del 100%.

Fuente de carbono

En cuanto a la fuente de carbono predomina la melaza en la totalidad de las granjas. Ello es debido a la alta disponibilidad en el mercado mexicano, con su industria azucarera. Sólo uno de los casos manifestó usar azúcar morena y jarabe de maíz. Los acuicultores están informados sobre el uso de otras

fuentes de carbono, pero optan por la melaza, que es la más común y la de más fácil acceso en México.

Aspectos productivos en México versus bibliografía

Los resultados de este análisis se observan en la tabla 4, donde es posible analizar que los resultados a nivel comercial y laboratorio al aplicar la tecnología presentan similitudes y diferencias. Es importante especificar que las referencias a nivel comercial fueron difíciles de localizar. Lo que confirma que es importante generar investigación aplicada que sirva para fortalecimiento en el sector. Por ello se consideró consultar información a nivel laboratorio para una discusión rigurosa.

Factor de conversión de alimenticio (FCR)

Avnimelech, (2011) estimó que las raciones de alimento para tilapia con biofloc pueden ser hasta un 20% menores que en los sistemas abiertos. En este sentido se comprueba que en México este parámetro es consistente con un propósito de la tecnología que es minimizar el consumo de alimento y de esta manera abonar a la sustentabilidad de la producción, ya que para producir un kilogramo de tilapia es posible obtener FCR cercanos a la unidad. En contraste otros autores obtienen FCR más altos, esto debido principalmente al peso final de la cosecha y el periodo del cultivo.

Ciclo de cultivo (días)

Este aspecto depende mucho del objetivo del productor de tilapia y la talla comercial requerida para su venta, también de la genética de los organismos, la alimentación y la calidad del agua. En general, los resultados muestran ciclos de cultivo cortos de 5.4 meses en México, por lo que es posible considerar que se pueden llegar a tener hasta 2 cosechas al año y mejorar el desempeño, ya que la granja BFMX5 reportó 150 días. Otros autores como Rakocy *et al.* (2008) y Castro *et al.* (2014), obtuvieron ciclos de cultivo más largos, pero obtuvieron tallas superiores y por ello los FCR más altos.

Cuando se trata de experimentos de laboratorio, sería apropiado trabajar ciclos completos para contribuir al sector productivo la información para una mayor transferencia de tecnología.

Ganancia por día (gramos/día)

Este factor es importante para analizar la eficacia del crecimiento y poder estimar los periodos de cosecha. En general, el periodo promedio en México con TBF fue de 2.9 gramos por día. Sin embargo, el rango fluctúa en México entre los 2.3 hasta los 3.9 gramos, dado el manejo diferenciado entre las granjas. Por otra parte, la bibliografía reporta 4.15 como el valor más eficiente. Con ello podemos concluir que con la TBF es posible llegar a obtener valores de hasta 4.15 gramos por día, tal y como afirman Castro *et al.* (2014).

Costo por kg (MXN).

Milthon y Chimbor (2016) encontraron en su reporte de vigilancia tecnológica que, cuando se habla de la TBF, no es común localizar información aspectos desde el punto de vista económico. Por ello es necesario realizar investigaciones que calculen aspectos económicos y financieros que sustenten la factibilidad de la implementación de la tecnología. Asimismo, es importante agregar indicadores ambientales y sociales a la hora de evaluar la sustentabilidad de la aplicación de la TBF.

Molina (2013) reporta en Brasil un total de MXN 22.15 y, por otra parte, se observa que los costos de producción en México son mayores, con un total de MXN 31 con esta tecnología: los costos siguen siendo competitivos con respecto a los precios de venta de la tilapia en México, en mayoreo y menudeo.

Metros cúbicos de agua por kilogramo de tilapia producido (m^3/kg)

El uso del agua para la producción acuícola es un aspecto ambiental importante por las descargas de las aguas residuales. En este sentido los resultados son congruentes con el propósito de la tecnología y en todos los casos el uso del agua es limitada. Este aspecto es consistente con el otro propósito de la Tecnología Biofloc que es al ahorro del agua y su reuso, ya que tanto a nivel laboratorio como a nivel comercial se obtuvieron datos entre 1.67 y 10.7 m^3 de agua por kilo producido en un ciclo de cultivo. Este aspecto mejoraría si la misma agua se usara para más ciclos productivos, almacenándola después de la cosecha para su incorporación posterior a otro estanque de cultivo.

Sobrevivencia (%)

Es contundente el efecto positivo de la Tecnología Biofloc en la sobrevivencia de la tilapia, tanto a nivel comercial como en laboratorio, a nivel comercial en México en promedio se reportó 96 % pero es posible lograr 100% de sobrevivencia en el cultivo. Tanto Azim y Little (2008) como Lou *et al.* (2014), señalan que se debe tener especial cuidado en las etapas iniciales del cultivo para evitar muertes durante la etapa alevinaje y pre engorda, que es donde este indicador puede disminuir. Por otra parte, con ciclos de cultivo largos la probabilidad de incrementar la mortalidad es mayor.

Fuente de carbono y relación C/N

Actualmente el desarrollo del uso de fuentes de carbono es diverso, en nivel laboratorio y comercial. Recientemente Wei *et al.* (2016) utilizaron glucosa, almidón y glicerol, como fuente de carbono con una relación C/N de 15:1, concluyendo que la utilización de diferentes fuentes de carbono afectan la composición nutricional del biofloc, también la morfoestructura del Biofloc y la comunidad microbiana.

Por otra parte, fue usado el salvado de trigo y el salvado de arroz como fuente de carbono y se obtuvo elevada eficiencia (Mansour y Esteban, 2017).

Sin embargo, el uso de la melaza es predominante debido a su solubilidad y la adición simple a los estanques de cultivo (Avnimelech, 2011). Aspecto que potencializa su uso en México es la importante industria azucarera en el país y su bajo costo USD \$.25 kg^{-1} . En contraste con el costo reportado por Zhang *et al.* (2016) del ácido poli- β -hidroxibutírico de US \$ 0.21 kg^{-1} , y la glucosa de US \$ 1.69 kg^{-1} y 0.4 € kg^{-1} reportado por De Schryve *et al.* (2008) que propone acetato como fuente de carbono en Bélgica. Por otro lado, en México es unánime la utilización de la melaza a una relación de que va desde la 6:1 al final y de 20: 1 al inicio.

Se observa en la bibliografía revisada que las fuentes de carbono utilizadas son diversas y depende de la regionalización y su disponibilidad para el acuacultor. Lo relevante es que a pesar de estar probada la eficacia de otras fuentes de carbono la melaza es con mucho la más utilizada, aspecto que debe seguir investigando

para determinar cuál puede adaptarse mejor a las condiciones de cada granja en específico.

Productividad (kg/m³)

En México la productividad del cultivo de Tilapia con Biofloc en promedio se mantiene dentro del rango de sistema semi intensivo (15.31kg/m³) pero está muy por debajo de las producciones de los sistemas de recirculación para acuicultura (RAS) en los que la biomasa supera los 100 kg/m³ con oxigenación y de 70 a 80 kg/m³ kg con aireación (Timmons *et al.*, 2002), por lo que a la TBF en México no se le puede considerar intensiva. En contraste Avnimelech (2011) afirma que la biomasa de tilapia puede alcanzar 200 a 300 mt / ha, es decir, de 13 a 20 kg/m³.

Por su parte, Hargreaves (2013) reporta productividades de 15 a 30 kg/m³ como máximo a nivel comercial, por lo que las productividades en promedio se encuentran dentro del rango a nivel mundial. Sin embargo, las granjas estudiadas en México reportan productividades algunas menores y otras dentro de ese rango, con el propósito de no correr riesgos durante el ciclo de cultivo y por tratarse de sistemas nuevos que inician en el conocimiento de su funcionamiento.

Peso de cosecha (gramos)

Este aspecto tiene mucho que ver con el objetivo de la granja y lo que requiera su cliente, se observa que es posible obtener alevines, juveniles y tilapia adulta para cosecha con TBF. Sin embargo, a mayor tamaño de los organismos, los FCR aumentan, lo que impacta en el costo de producción. Así, la mayoría de la granjas mexicanas apostaron por tilapias medianas, en contraste con Rakocy *et al.* (2008) y Castro *et al.* (2014) que optaron con obtener tilapias de mayor peso.

Proteína en alimento balanceado (%)

El contenido de proteínas en la dieta es un factor importante para la nutrición de la mayoría de los organismos acuáticos. La mayoría de las especies de acuicultura requieren proteínas en un rango de 20% a 50% en su dieta (Tacon, 1987). El Biofloc tienen buenos valores nutricionales cuando se comparan con un alimento comercial y está compuesto aproximadamente de un 40 % de proteína (Hossain y Paul, 2007; Ju *et al.*, 2008), lo cual influye positivamente en la alimentación de la tilapia. Ello permite utilizar alimentos balanceados con bajos

porcentajes proteicos, impactando favorablemente en los costos de producción.

Es importante destacar que Azim y Little (2008) afirmaron que la TBF no parece apropiada para especies, que no capturan directamente en Biofloc. Por lo tanto, un mayor desarrollo sería utilizar sistemas mixtos en los cuales las unidades de cultivo existan algas, flóculos microbianos (Avnimelech, 2006; 2007) y sustratos verticales suspendidos (Suryacumar y Avnimelech, 2017).

Por otra parte, Mayorga *et al.* (2015) encontraron que el biofloc fue la principal fuente alimenticia consumida de manera preferente por la tilapia versus alimento balanceado. Por lo anterior, es importante destacar que en México, dada la disponibilidad de alimento (Engorda Extruído, al 20 y 25% de proteína cruda el Pedregal y los Belenes), pueden ser utilizados en cultivo de biofloc para minimizar el impacto del costo de la alimentación y aprovechar la preferencia de las tilapias por los bioflóculos, y de esta manera disminuir los costos de producción siguen siendo preponderantes.

Existe una realidad científica que indica el alto contenido nutricional de los bioflóculos (Azim y Little 2008; De Schryver *et al.*, 2008; Ekasari y Maryam, 2012), aspecto que parece no aplicarse en México ya que en su mayoría utilizan alimento balanceado con alto niveles de proteína 45/32/25 respectivamente. Cuando se podría eliminar al alimento al 32% y utilizar al 25% para favorecer al consumo de los flóculos microbianos que son preferidos por las tilapias.

Por último, Martínez-Córdoba *et al.* (2017) argumentan que la evidencia global apoya la hipótesis de que uso de microorganismos como fuente directa de alimento en acuicultura, revolucionará la industria, cerrando la brecha hacia la sustentabilidad. Con ello, muchos problemas podrán ser resueltos, pero será en la medida en que los gobiernos y el sector privado apoyen estas iniciativas.

En este sentido, la biotecnología en el sector es urgente; también es importante que se difundan sus alcances, para que se conozcan sus beneficios en una industria como la acuícola, tan necesitada de crecer

para satisfacer la demanda de productos, pero cuidando los recursos, especialmente agua. La TBF ofrece una alternativa, si bien la regulación sobre el uso del agua debe ser firme, con lo cual se

incentivará su adopción y transferencia hacia el sector privado.

Tabla 3. Principales resultados en la aplicación de la Tecnología Biofloc

PARÁMETRO	BFMX1	BFMX2	BFMX3	BFMX4	BFMX5	BFMX6
CÓDIGO DE GRANJA						
FCR (kg.)	1.23	1.10	.90	Nd	1.10	.90
Ciclo de cultivo (días)	180	165	156	60	150	170
Ganancia por día (g)	2.2	3.9	3	0.03	2.6	3
Costo por kg (MXN)	35±4	32±4	30±2	.35±2	28±2	30±2
m ³ de agua por kg/ciclo	3.1	2.14	2.5	1	1.15	1.5
Sobrevivencia (%)	98	98	> 90	100%	99	> 95
Relación C/N	12:1	10:1	8:1; 12:1	6:1	10:1	20:1;12:1
Productividad (kgm ⁻³)	12.3	9.25	35	Nd	4.61	15.4
Coloración del Agua	Verde	Verde	Verde castaño	verde	Verde	verde
Peso de cosecha (g)	400	500	400	1.8	400	500
Fuente de carbono	Melaza	Melaza	Melaza	Melaza	Melaza	Melaza

Tabla 4. Aspectos productivos en México versus bibliografía

PARÁMETRO	BFMX	OTROS REPORTES	REFERENCIA	NIVEL DE PRODUCCIÓN
FCR (Factor de Conversion de Alimento (kg ⁻¹))	1.04±.14	1.8 a 2.3 1.01 ± 0.01 3.44 ± 0.45 1.85 1.20 ± 3 1.80 ± .05 1.15 0.92 ±0.23 y 0.78 ±0.17	(Rakocy <i>et al.</i> 2008) (Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016) (Azim y Little, 2008) (Castro <i>et al.</i> 2014) (Luo <i>et al.</i> 2014) (Masour y Esteban, 2017) (De Oliveira Alves <i>et al.</i> (2017) (Zhang <i>et al.</i> 2016)	Comercial Laboratorio Laboratorio Comercial Laboratorio Laboratorio Laboratorio Laboratorio
Ciclo de cultivo (días)	164.20±11.7	175-183 180 182 87 76 120	(Rakocy <i>et al.</i> 2008) (Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016) (Castro <i>et al.</i> 2014) (Luo <i>et al.</i> 2014) (De Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017) (Zhang <i>et al.</i> 2016)	Comercial Laboratorio Comercial Laboratorio Laboratorio Laboratorio
Ganancia por día (g)	2.94±.63	3.2 a 4 1.09 ± 0.16 4.15. 1.65	(Rakocy <i>et al.</i> 2008) (Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016) (Castro <i>et al.</i> 2014) (Luo <i>et al.</i> 2014)	Comercial Laboratorio Comercia Laboratorio
Costo por kilogramo (MXN).	31±2.65	22.15 25.77	(Molina,2013) (De Schryver <i>et al.</i> 2008)	Comercial Caso de estudio
Metros cúbicos de agua por kilogramo (m ³ /kg ⁻¹)	2.07±.77	5.6 a 10.7 2 a 10 4.5 1.67	(Rakocy <i>et al.</i> 2008) (Avnimelech,2008) (Castro <i>et al.</i> 2014) (Luo <i>et al.</i> 2014)	Comercial Biofloc - A Practical Guide book Comercial Laboratorio
Sobrevivencia (%)	96.67±3.67	78.9 a 99.7 94,60 ± 2,03 100% 86.5 100 98,41 ± 1 y 100% 75%	(Rakocy <i>et al.</i> 2008) (Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016) (Azim y Little 2008) (Castro <i>et al.</i> 2014) (Luo <i>et al.</i> 2014) (Masour y Esteban, 2017) (Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Comercial Laboratorio Laboratorio Comercial Laboratorio Laboratorio Laboratorio

		82.78±10.88a	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
Relación C/N	6:1 a 20:1	(10, 12.5, 15, 17.5 y 20: 1)	(Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		20:1	(Azim y Little 2008)	Laboratorio
		15:1	(Castro <i>et al.</i> 2014)	Comercial
		6:1	(Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Laboratorio
		15:1	(Wei <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		15, 25;1	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
Productividad (kgm ⁻³)	15.31±11.70	14.4 a 18.6	(Rakocy <i>et al.</i> 2008)	Comercial
		18.03 ± 0.25 kg	(Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		4.90 ± 0.59	(Azim y Little 2008)	Laboratorio
		11.2	(Castro <i>et al.</i> 2014)	Comercial
		11.49	(Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Laboratorio
		44.14 ±10.51	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
Peso de cosecha (g)	440±54.8	707 a 912	(Rakocy <i>et al.</i> 2008)	Comercial
		138.58 ± 24.99	(Azim y Little 2008)	Laboratorio
		826	(Castro <i>et al.</i> 2014)	Comercial
		168 ± 40.9	(Luo <i>et al.</i> 2014)	Laboratorio
		42.86	(Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Laboratorio
		228.13±46.61	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
Fuente de carbono	Melaza	Melaza	(Rakocy <i>et al.</i> 2008)	Comercial,
		Melaza	(Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		Harina de trigo	(Azim y Little 2008)	Laboratorio
		Melaza	(Castro <i>et al.</i> 2014)	Comercial
		Tapioca, Arroz; Trigo	(Masour y Esteban, 2017)	Laboratorio
		Melaza	(Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Laboratorio
		glucosa, almidón y glicerol	(Wei <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		Acido poli-β-hidroxibutírico	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
Proteína alimento (%)	45/32/25	32	(Rakocy <i>et al.</i> 2008)	Comercial
		45/32/30	(Pérez Fuentes <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio
		35/24	(Azim y Little 2008)	Laboratorio
		24	(Castro <i>et al.</i> 2014)	Comercial
		44	(Luo <i>et al.</i> 2014)	Laboratorio
		20/30	(Masour y Esteban, 2017)	Laboratorio
		45	(Oliveira Alves <i>et al.</i> 2017)	Laboratorio
		30	(Zhang <i>et al.</i> 2016)	Laboratorio

CONCLUSIONES

Resulta complejo encontrar resultados a nivel comercial del uso de la TBF en el cultivo de tilapia, en contraste la información científica a nivel experimental, que es abundante. Ello motiva a realizar una investigación aplicada en el sector acuícola, especialmente en granjas comerciales.

Se confirma que la experiencia en México con la producción de tilapia haciendo uso de la TBF, aunque de forma limitada y asilada, es una tecnología aun en desarrollo en el país, si bien el consumo de tilapia es importante en México y se cuenta con el mayor número de granjas acuícolas registradas y numerosos acuicultores en el sector rural. Los esfuerzos de estas innovadoras UPA's que utilizan Tecnología Biofloc tienen que replicarse.

En el continente americano los EE. UU., Islas Vírgenes, Belice, Brasil y ahora en México se encontró evidencia de la aplicación de esta tecnología que busca la competitividad y sustentabilidad en la producción. En México queda demostrado que esta tecnología emergente aún no es comprendida totalmente y no se explota su potencial, debido principalmente a que se reportan productividades bajas, pero se acepta su efectividad, en cuanto a costos de producción y el uso limitado del recambio de agua. Esto resulta congruente debido a que después de varios ciclos de producción aún permanecen en el mercado. Se constata y ratifica que las empresas acuícolas que implementan innovaciones como la TBF son las que superan las barreras económicas, de infraestructura y de capital humano. Ya que, en todos los casos de estudiados,

estas variables inciden fuertemente y favorecen su adopción.

Un aspecto a contudente de cara a las recomendaciones de los entrevistados fue la capacitación para el control de la calidad del agua, la permanencia de los bioflóculos de calidad y el sistema de respaldo de energía eléctrica, aspecto que resulta de cierta complejidad para muchos, por lo que aquellos acuacultores, que opten por

implementar esta tecnología, deberán dominar estos aspectos. Por último, los resultados indican que en la medida que se produzcan tilapias con Tecnología Biofloc de mayor talla, 700 gramos en adelante, la sustentabilidad del cultivo disminuye, es mucho mejor en términos ambientales producir organismos de 500 gramos: se tienen mejores FCR, un menor uso de agua y de la energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Avnimelech Y. (2000). Nitrogen control and Protein recycle active suspension ponds. *Global aquaculture advocate*. Abril, 23-24.
- Avnimelech Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*; 264:140–147.
- Avnimelech, Y. (2006). Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquacultural engineering*, 34(3): 172-178.
- Avnimelech, Y. (2009). Biofloc technology: a practical guide book. World Aquaculture Society. 182 p.
- Avnimelech, Y. (2011). Tilapia production using biofloc technology (BFT). *Global Aquaculture Advocate*, 6 (June), 362.
- Azim, M. E., y Little, D. C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4): 29-35.
- BLANC. ¿Cómo investigar? San José. EUNED, 1988,
- Busmann H. A., (2001). Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo. Fundación Terram. 67p.
- Castro, M. D. C., Bulnes, A. L., y Suárez, M. H. (2014). Crianza de *Oreochromis niloticus* *chitralada* en sistema bio-floc en la empresa PRODUMAR SA, Guayaquil (Ecuador). *Revista REBIOLEST*, 1(2): 79-91.
- Celdran S., D. (2017). ¿Qué es la Tecnología Biofloc? *Divulgación Acuicola*. 2017:1-24.
- CONACYT (2017). Agencia Informativa Cultivo integral de tilapia y camarón blanco en Yucatán. Secc. Ciencia: 4 (col.1). México.
- CONAPESCA. (2013). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca Edición 2013. CONAPESCA. 299 p.
- CONAPESCA. (2017a). Producir tilapia por acuicultura es triple negocio; su carne, su piel y su esqueleto para hacer harina comunicado de prensa: 1 (col 1). México.
- CONAPESCA. (2017 b). Situación actual de la acuicultura en México. In: Memoria de la XII Foro internacional de acuicultura. 2017. Guadalajara Jalisco, México. s/p.
- CONAPESCA. (2018). Solicitud de acceso a la información. Portal de Transparencia del Gobierno de la república. Recibido el 16 de Mayo del 2018.
- Costa-Pierce, B.A. (2002) Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution. John Wiley y Sons. 373 p.
- De Oliveira Alves, G. F., Fernández, A. F. A., de Alvarenga, É. R., Turra, E. M., de Sousa, A. B. y de Alencar Teixeira, E. (2017). Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479: 564-570.
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., y Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4): 125-137.
- Ekasari, J., y Maryam, S. (2012). Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis* sp. cultured at different stocking densities. *Hayati Journal of Biosciences*, 19(2): 73-80.
- 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.
- Guba, E. y Y. Lincoln. (1994). Competing paradigms in qualitative research en: N. K. Denzin y Y. S. Lincoln (eds.) Hand book of qualitative research. Londres, Sage, pp. 105-117
- Hargresaves J. A., (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center Publication No 4503, Abril 2013.
- Hernández Sampieri, R.; Fernández-Collado, C. y Baptista L., P. (2010). Metodología de la Investigación. Ciudad de México, McGraw-Hill.
- Hossain, M.A., Paul, L., (2007). Low-cost diet for mono culture of giant fresh water prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) in Bangladesh. *Aquaculture Research*, 38 (3): 232–238.
- Ju, Z.Y., Forster I., Conquest L., Dominy W, Kuo W.C., Horgen F.D., (2008) Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquaculture Research*, 39: 118-133.
- Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., y Tan, H. (2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422: 1-7.
- Magallon-Barajas, F.J., Villarreal-Colmenares, H., Arcos- Ortega, F., Civera-Ceracedo, R., Cruz-Hernández, P. (2007). Desarrollo Sustentable de la Acuicultura en México. Publicaciones especiales del Centro de investigaciones Biológicas de Noroeste S.C, Cámara de diputados, LX Legislatura. México 264 p.
- Malhotra, N. K. (2004). Investigación de mercados, un enfoque aplicado. Editorial Prentice Hall. Cuarta edición. México. p. 324.
- Mansour, A. T. y Esteban, M. Á. (2017). Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shell fish Immunology*, 64: 202–209.
- Martínez-Carazo, P. C. (2011). El método de estudio de caso como estrategia metodológica de la investigación científica. *Revista científica Pensamiento y Gestión* (20).
- Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., Emerenciano, M. G. C., Miranda-Baeza, A., y Gollas-Galván, T. (2017). From microbes to fish the next revolution in food production. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(3): 287-295.
- Mayorga, E. I., Hurtado, S. C., y Morales, J. P. (2015). Determinación del Índice de Importancia Relativa en *Oreochromis* sp cultivadas con biofloc y alimento balanceado. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, (14): 62-71.
- McIntosh, R. P. (2000). Changing paradigms in shrimp farming: IV. Low protein feeds and feeding strategies. *Global Aquaculture Advocate*, 3(2): 44-50.
- McIntosh, R. P. (2001). Changing paradigms in shrimp farming: V. Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Advocate*, 4(1): 53-58.
- McNeil, R. (2000). Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. *Global Aquaculture Advocate*, 3(3): 72-76.
- Milthon L. y Chimbor C. (2016). Bioflocs: Tendencia en la producción acuícola sustentable. Aquahoy. Peru. Recuperado de: <https://www.aquahoy.com/informe/26128-bioflocs-tendencia-en-la-produccion-acuicola-sustentable>.
- Molina S. A., (2013). Costo de producción de bioreactores. 8vo. Foro Internacional de Acuicultura. 7-8 Noviembre. Puebla., México.
- Ovando R., E. (1998). Tipificación de la agricultura en México: como parte de la referencia territorial de una política sectorial diferenciada. Tesis de Maestría en Desarrollo Regional. El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, B.
- Plascencia, A. E., y Almada, M. D. C. (2012). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. Estudios Sociales. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, (2): 221-232.
- Rakocy, J. E., Danaher, J. J., Bailey, D. S., y Shultz, R. C. (2008). Development of a Biofloc System

- for the Production of Tilapia. *Aquaculture*, 277: 138-145.
- Reta, J. (2000). Estrategia Participativa de Transferencia de Tecnología para la Optimización de la Producción de Tilapia en el estado de Veracruz. Proyecto financiado por el Sistema de Investigación del Golfo de México y la Fundación PRODUCE del Estado de Veracruz. 15 p.
- SAGARPA, (2015) Situación actual de la acuicultura en Tabasco, problemática y perspectivas de desarrollo a través de la innovación tecnológica. 128 p
- SAGARPA. (2017). Avanza México como una potencia de producción acuícola. Comunicado de prensa: 2 (col 1). México.
- SAGARPA-SENASICA, (2008). Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. 111 p.
- Suryakumar, B., y Avnimelech, Y. (2017). Adapting Biofloc Technology for Use in Small-scale Ponds with Vertical Substrate. *World Aquaculture*, 1-5.
- Tacon A.G.I., (1987). The nutrition and feeding of farm fish and shrimp a training manual. 1. The essential nutrients. FAO Brasilia Brazil, GCP/RLA/075/ITA Field Document 2/E5 pp. 117.
- Taw N. (2010b). Recent progress of biofloc technology for sustainable shrimp (Pacific white shrimp) farming: efficiency and profitability. International conference on shrimp aquaculture, Blue archipelago and Word Acuaculture Society: 1-36.
- Taw, N. (2005). Shrimp farming in Indonesia evolving industry responds to varied issues. *Global Aquaculture Advocate Magazine*, 2005: 65-67.
- Taw, N. (2006). Shrimp production in ASP system, CP Indonesia: Development of the technology from R y D to commercial production. *Aquaculture America Congress*. Febrero 13-15. Seattle. USA.
- Taw, N. (2010a). Biofloc Technology Expanding At White Shrimp. *Global Aquaculture Advocate Magazine*, Junio: 20-22.
- Taw, N., Fuat, H., Tarigan, N., y Sidabutar, K. (2009). Partial harvest with bft, a promising system for pacific white shrimp. *World Aquaculture* Sept-2529. Veracruz, México.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., y Vinci, B. J. (2002). Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile, 19-46.
- Toledo, M. V. (1995). Campesinidad, agro industrialidad, sostenibilidad: los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural. *Revista de Geografía Agrícola*, 28: 7-19.
- Wei, Y., Liao, S. A., y Wang, A. L. (2016). The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, 465: 88-93.
- Yin, R. K. (2008). Case study crisis: Some answers. *Administrative Science Quarterly*. Vol. 26, 1: 58-65.
- Zhang, N., Luo, G., Tan, H., Liu, W., y Hou, Z. (2016). Growth, digestive enzyme activity and welfare of tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a biofloc-based system with poly- β -hydroxybutyric as a carbon source. *Aquaculture*, 464: 710-717.
- Zimmermann S. (2013a). México: ¿La tierra de los foto biorreactores? México. *Panorama Acuícola*. (18): 68.
- Zimmermann S. (2013b). México: tecnologías eficientes, sostenibles y competitivas: Sistemas de producción en Biofloc como modelos eficientes Y rentables México. In: II foro económico mundial de Tilapia. 2013. Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México. s/p.