



Desempeño productivo de hembras de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en diferentes métodos de cultivo

José A. Estrada-Godínez*¹ ; Gustavo A. Rodríguez-Montes-de-Oca¹ ;
María del R. Pacheco-Marges¹ ; María I. Bañuelos-Vargas¹ .

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México.

*Correspondencia: joseestrada@uas.edu.mx

Recibido: Mayo 2023; Aceptado: Julio 2023; Publicado: Agosto 2023.

RESUMEN

Objetivos. el objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de diferentes métodos de cultivo sobre el factor de condición y la producción de huevos en hembras de tilapia. **Materiales y métodos.** Se utilizaron tres lotes distintos de reproductores distribuidos en tres tratamientos - TC: agua verde (control), T1: "aquamimicry" y T2: biofloc, tomándose cada lote como repetición en cada tratamiento. Se usó una proporción sexual 2:1 y se empleó una dieta comercial con 32% de proteína proporcionada a saciedad dos veces al día, durante 60 días. Al inicio y al final del experimento se estimó el factor de condición de las hembras. Semanalmente se colectaron los huevos producidos en cada tanque y al final del experimento se estimó el volumen de producción de huevos en todos los tratamientos. **Resultados.** No se observaron diferencias significativas en el factor de condición entre los organismos al inicio del trabajo, pero sí al final, entre los lotes de reproductores, pero no entre los tratamientos; así mismo, al comparar dicho índice entre cada lote y cada tratamiento experimental al inicio y al final del periodo de alimentación, tampoco se observaron diferencias significativas. Se observaron diferencias significativas en la producción de huevos entre los tratamientos experimentales, siendo significativamente mayor la producción registrada en los tres lotes de reproductores del tratamiento T1, con volúmenes promedio de producción de alrededor de 80 ml. **Conclusiones.** El mantenimiento de reproductores de tilapia en sistemas de cultivo de "aquamimicry" resulta en un incremento significativo en el volumen de producción de huevos.

Palabras clave: Sistemas autótrofos; sistemas heterótrofos; factor de condición; reproductores; producción de huevos (*Fuente: ICYT de Biología Animal*).

ABSTRACT

Objectives. To assess the effect of different farming methods on the condition factor and egg production of female tilapia brooders. **Materials and methods.** Three different brooder stocks were kept under three experimental treatments: TC - green water (control), T1 -aquamimicry, and T2 - biofloc. Each broodstock was repeated in each experimental treatment. A sex ratio of 2:1 was

Como citar (Vancouver).

Estrada-Godínez JA, Rodríguez-Montes-de-Oca GA, Pacheco-Marges MR, Bañuelos-Vargas MI. Desempeño productivo de hembras de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en diferentes métodos de cultivo. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(3):e3251. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3251>



©El (los) autor (es) 2023. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

used, and a commercial diet with a 32% protein content was provided twice daily for 60 days. The condition factor was estimated at the beginning and end of the experiment. Every week, the eggs produced in each tank were collected; at the end of the experiment, the total production volume was estimated in all experimental treatments. **Results.** For the condition factor, no significant differences were observed at the beginning of the experiment, but at the end, significant differences were recorded among the broodstocks but not among the treatments. No significant differences were observed when the condition factor was assessed among broodstocks or experimental treatments. Finally, significant differences in egg production were observed among the experimental treatments, with higher production in the three broodstocks of the T1 treatment, with a production volume of approximately 80 mL. **Conclusions.** Maintaining tilapia broodstock in aquamimicry culture systems significantly increases egg production volume.

Keywords: Autotrophic systems; heterotrophic systems; condition factor; brooders; egg production (Source: ICYT de Biología Animal).

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*, se ha convertido en la tercera especie más cultivada en todo el mundo, alcanzando volúmenes de producción de poco más de 4 millones toneladas en peso vivo para el año 2020 (1). No obstante, para satisfacer la creciente demanda en el mercado mundial de esta especie, ha sido necesario incrementar la densidad de organismos por unidad de superficie o volumen, con el consecuente incremento en el consumo de agua y alimentos con altos contenidos de proteína y otros nutrientes, que satisfagan los requerimientos nutricionales para lograr un buen desempeño reproductivo (2,3).

En los últimos años se han desarrollado alternativas de cultivo que se basan en los servicios ecosistémicos obtenidos a partir de comunidades microbianas fotoautótrofas, quimioautótrofas y heterótrofas que han permitido intensificar los sistemas de producción acuícola mediante el aprovechamiento y reciclaje de nutriente y demás desechos orgánicos que se generan a partir del alimento no consumido, las heces fecales y demás desechos metabólicos de los animales cultivados y de los otros organismos que forman parte del ecosistema acuícola (4,5,6).

Tales alternativas o métodos de cultivo y sus características son las siguientes: Los sistemas autótrofos en los cuales la proporción C:N del medio es baja y por lo tanto predominan las comunidades fotoautótrofas y en los cuales se produce biomasa microalgal, como base de la cadena alimenticia, a partir del nitrógeno proveniente tanto del amonio, producto del metabolismo de las proteínas por parte de los

peces, así como de los nitratos, producto de la nitrificación u oxidación del amonio (4,7,8).

No obstante, uno de los principales efectos adversos de este método son las amplias fluctuaciones en el pH del agua debido precisamente a la actividad fotosintética de las microalgas cuando hay una producción descontrolada de las mismas, con el consecuente gasto energético por parte de los peces para compensar dichas variaciones (9). Este método de producción es el que se ha considerado como "tradicional" y que también es conocido como "agua verde".

Por otra parte, los sistemas heterótrofos, en los que la proporción C:N del medio es alta y donde predominan las comunidades quimioautótrofas y heterótrofas como bacterias, hongos y levaduras, que son la base para el funcionamiento de la tecnología de biofloc (BFT por sus siglas en inglés) y el método conocido como "aquamimicry" (6,10,11,12). A grandes rasgos, las principales características de ambos métodos de producción son:

En la BFT se requiere la adición constante de una fuente de carbono orgánico, generalmente melaza, para ajustar la proporción C:N en el sistema con el propósito de mantener una comunidad microbiana deseable, pero con la consecuente acumulación excesiva de sedimentos en el fondo de los tanques, así como incrementos significativos en las concentraciones de amonio en el agua durante las primeras semanas de cultivo (13,14,15).

En el método denominado "aquamimicry" no se requiere el ajuste constante de la proporción C:N, ya que ésta depende de la fermentación

de sustratos vegetales, principalmente cascarilla de arroz, cascarilla de trigo y harina de soya como fuentes de carbono. Dicha fermentación es llevada a cabo por microorganismos heterótrofos como levaduras (*Saccharomyces sp.*) y bacterias (*Bacillus sp.* y *Lactobacillus sp.*) que producen enzimas hidrolíticas capaces de romper las fibras vegetales e incrementar la solubilidad de las proteínas de dichas fuentes de carbono, controlando además el crecimiento de las poblaciones de microalgas, llevando a la estabilización de los niveles de pH del agua y manteniendo bajos los niveles de sedimentos en el fondo de los tanques de producción (12,16,17).

Actualmente, es abundante la literatura científica en la que se destacan los efectos benéficos obtenidos a partir de la implementación de los sistemas heterótrofos en la acuicultura, ya que se ha visto que tales métodos favorecen la síntesis de ciertas sustancias orgánicas con propiedades prebióticas y posbióticas, que a su vez favorecen la proliferación de microorganismos probióticos y que en su conjunto han llevado al mejoramiento del estatus nutricional y de salud de los organismos en cultivo, impactando de manera positiva sobre la calidad del agua de las unidades de producción así como sobre el crecimiento y la resistencia a enfermedades de los organismos (18,19,20).

No obstante, son escasas las referencias donde se consideren los potenciales beneficios de los sistemas heterótrofos sobre desempeño reproductivo de las especies cultivadas, a pesar de que se ha demostrado que tales sistemas son una rica fuente de proteínas y lípidos que pueden ser utilizados en los primeros estadios de la formación de gónadas y en particular en el desarrollo ovárico en los reproductores tanto en camarones como en peces (21,22,23,24).

Particularmente, en el caso de los reproductores de tilapia, los resultados obtenidos han sido contrastantes con respecto a los potenciales beneficios de los sistemas heterótrofos sobre la fecundidad. Por una parte, Ekasari et al. (25) observaron un incremento significativo en la fecundidad de las hembras cuando estas eran mantenidas en un sistema de biofloc, con respecto a las que eran mantenidas en un sistema tradicional. No obstante, Ramos de Alvarenga et al. (24) no observaron diferencias significativas entre reproductores mantenidos en ambos sistemas con respecto a la fecundidad relativa,

el porcentaje de fecundación y el número de larvas producidas. Cabe señalar, por otra parte, que hasta el momento no se ha evaluado el potencial beneficio que tendría el mantenimiento de reproductores de tilapia en "aquamimicry" sobre sus parámetros reproductivos.

Por lo tanto, y con base en lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar y comparar el factor de condición y el desempeño reproductivo, específicamente en lo que respecta al volumen de producción de huevos, en hembras de tilapia del Nilo, *O. niloticus*, mantenidas en diferentes métodos de cultivo (autótrofos y heterótrofos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo de los organismos y diseño experimental. Para la realización de este trabajo, se utilizaron reproductores de tilapia, *O. niloticus*, variedad Gift procedentes de tres diferentes centros de producción del estado de Sinaloa, México: *L1* (815.8 ± 202.4 g), *L2* (714.9 ± 229.2 g) y *L3* (523.4 ± 120.0 g). Los organismos de cada centro de producción o lote fueron distribuidos al azar en tres tanques de geomembrana de 9000 l de capacidad, con agua dulce, aireación constante y sometidos a fotoperiodo y temperatura naturales ($23^{\circ}12'31.7''$ N y $-106^{\circ}25'28.18''$ O).

En cada tanque se pusieron 21 reproductores a una proporción sexual de 2:1 (14 hembras: 7 machos). La verificación de los sexos se realizó mediante la inspección visual de la papila urogenital de los organismos. En total, se tuvieron nueve tanques, tres con reproductores del lote *L1*, tres del lote *L2* y tres del lote *L3*. Así mismo, los tanques se distribuyeron al azar de tal manera que un tanque de cada lote estuviera sometido a uno de los siguientes tratamientos experimentales: *TC* - Reproductores mantenidos en agua verde como control; *T1* - Reproductores mantenidos en "aquamimicry"; *T2* Reproductores mantenidos en biofloc.

Los reproductores de los tres tratamientos experimentales fueron alimentados con una dieta comercial (Aquanu3®, 3.5 mm), con 32% de proteína (ver tabla 1 para información de la composición proximal), el cual se proporcionó a saciedad a los organismos dos veces al día, a las 9:00 y a las 17:00 horas, durante 60 días.

Tabla 1. Composición proximal de la dieta comercial (Aquanu3®, 3.5 mm) empleada para la alimentación de reproductores de tilapia del Nilo, *O. niloticus* (datos proporcionados por el fabricante).

Proximal	Materia seca (%)
Proteína	32
Lípidos	5
Fibra	8
Cenizas	10
Extracto libre de nitrógeno	35
Humedad	10

La preparación de los tratamientos *T1* y *T2*, se inició un mes antes del inicio de las actividades del experimento. Para fomentar la formación del “aquamimicry”, se utilizó un recipiente de agua de 200 l, el cual se llenó con agua dulce a temperatura ambiente y se le agregaron 1000 g de cascarilla de arroz, 2 l de melaza, 200 g de un producto comercial llamado EcoAquablend® el cual es un biodigestor de materia orgánica a base de esporas de bacterias de los géneros *Bacillus sp.* y *Lactobacillus sp.*, así como de levadura, *Saccharomices cerevisiae* adicionado con proteasas, amilasas y celulasas. La mezcla de todos los ingredientes se realizó cuidadosamente y se dejó fermentando por 48 horas con aireación constante. Diariamente, durante 30 días, se pusieron 40 l del fermento en un tanque de concreto de 15000 l de capacidad con agua dulce y aireación constante.

Para la preparación del biofloc, se utilizó otro recipiente de 200 l de agua donde se mezclaron 2 l de melaza con 1000 g de cascarilla de maíz y 200 g de EcoNutrimax®, el cual es un producto comercial que provee de los nutrientes necesarios para el desarrollo microbiano generador de biofloc. Dicha mezcla se dejó fermentando por 24 horas con aireación constante. Diariamente, durante 30 días, se pusieron 40 l del fermento en un tanque de concreto de 15000 l de capacidad con agua dulce y aireación constante.

Luego de un mes de madurar tales tratamientos en sus respectivos tanques de concreto, se procedió al llenado de los correspondientes tanques de reproductores de los tratamientos *T1* y *T2*, agregando diariamente 10 l de las respectivas mezclas. Por otra parte, diariamente por la mañana, en cada tanque se midió la temperatura del agua (°C) y el oxígeno disuelto (mg l⁻¹) con un dispositivo multiparámetros (YSI-PRO20®). Semanalmente se midieron el

pH, el amonio (mg/l), la dureza (mg l⁻¹) y los carbonatos (mg l⁻¹) con un kit comercial de tiras indicadoras, específico para agua dulce (APIfishcare®).

Al inicio y al final del experimento, se midió la longitud total (cm) y el peso (g) de las hembras de cada tanque y con dichos datos se estimó el factor de condición (*FC*) como se indica en la siguiente fórmula:

$$FC = P / (LT^3) \times 100$$

P = Peso corporal (g)

LT = Longitud total (cm)

Semanalmente se colectaron manualmente los huevos producidos en cada tanque, para ello, cada hembra fue capturada cuidadosamente y se revisó si se encontraba incubando huevos en su boca, si era así, éstos eran extraídos haciendo pasar un chorro de agua a través de las branquias de la hembra para que los expulsara y luego los huevos eran colectados en un recipiente de plástico lleno de agua. Se midió el volumen total de huevos colectados en cada tanque con la ayuda de una probeta graduada de 100 ml. Todas las semanas se registró el volumen de huevos producidos en cada lote de reproductores de cada tratamiento experimental. Se realizaron un total de seis colectas de huevos por cada tanque.

Análisis estadístico. Se realizaron análisis de varianza de una vía con pruebas de Tuckey para verificar diferencias significativas en los resultados de cada uno de los parámetros de calidad de agua medidos en los tratamientos experimentales.

Para el análisis del factor de condición al inicio y al final del experimento, y del volumen total de huevos producidos, se realizaron análisis de varianza de dos vías, tomando como variables independientes los diferentes tratamientos experimentales y los lotes de reproductores. Se realizaron pruebas de Holm-Sidak para verificar diferencias significativas entre cada una de las variables, así como sus interacciones. Para comparar las posibles diferencias en el factor de condición en cada tratamiento y cada lote de reproductores al inicio y al final, se realizaron pruebas de *t*-Student.

Previo al análisis estadístico, los resultados de factor de condición fueron transformados estadísticamente mediante la técnica de la raíz cuadrada del arco-seno. Así mismo, se verificó

la normalidad y homocedasticidad de los datos obtenidos mediante pruebas de Shapiro-Wilk para $n \leq 5000$. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con un nivel de significancia de $p < 0.05$, de acuerdo con métodos establecidos por Zar (26) y se realizaron con la ayuda del software Sigma Plot ver. 11.0 para Windows.

Aspectos éticos. Los procedimientos realizados a los organismos en este estudio se llevaron a cabo de acuerdo con la legislación mexicana vigente en la Ley General de Bienestar Animal, Título 5, Capítulo III, publicada el 11 de febrero de 2016.

RESULTADOS

Parámetros físico-químicos del agua.

No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto a la temperatura, el pH y la dureza registrados en todos los tanques de cultivo durante la realización del experimento. No obstante, el oxígeno disuelto, el amonio y los carbonatos si presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos experimentales (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de la calidad del agua (promedio $\pm$ desviación estándar) medidos en tanques de reproductores de tilapia del Nilo, *O. niloticus*. TC – agua verde (control), T1 – “aquamimicry”, T2 – biofloc.

Parámetros	Tratamientos experimentales		
	TC	T1	T2
Oxígeno (mg l^{-1})	8.17 $\pm$ 0.56 ^a	7.30 $\pm$ 0.62 ^b	6.57 $\pm$ 1.21 ^b
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	27.20 $\pm$ 0.53	27.17 $\pm$ 0.41	27.20 $\pm$ 0.59
pH	7.20 $\pm$ 0.25	7.13 $\pm$ 0.18	7.37 $\pm$ 0.92
Amonio (mg l^{-1})	0.25 $\pm$ 0.04 ^a	0.12 $\pm$ 0.03 ^b	0.25 $\pm$ 0.16 ^a
Dureza (mg l^{-1})	81.53 $\pm$ 2.10	82.13 $\pm$ 2.10	82.53 $\pm$ 2.07
Carbonatos (mg l^{-1})	82.33 $\pm$ 2.58 ^b	92.67 $\pm$ 2.58 ^a	92.00 $\pm$ 9.22 ^a

Letras distintas sobre las líneas representan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Factor de condición. Al evaluar el factor de condición de las hembras al inicio del experimento, una vez que los reproductores fueron distribuidos en los diferentes tratamientos experimentales, no se observaron diferencias significativas ($p = 0.335$), ni con respecto a los lotes de los cuales procedían ($p = 0.872$) (Tabla 3).

Al final del periodo de alimentación, tampoco se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos experimentales ($p = 0.054$), pero

si entre los lotes de reproductores ($p = 0.010$), observándose los valores más altos en el lote de reproductores L3 perteneciente al tratamiento TC (2.54 $\pm$ 0.46). Por su parte, el valor más bajo se registró en el lote L3 del tratamiento T1 (1.85 $\pm$ 0.23) (Tabla 3).

Al comparar el factor de condición al inicio y al final del periodo de alimentación entre los individuos de cada lote y cada tratamiento experimental, no se registraron diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Factor de condición (promedio $\pm$ desviación estándar) en hembras reproductoras de tilapia, *O. niloticus*, al inicio y al final del experimento. TC – agua verde (control), T1 – “aquamimicry”, T2 – biofloc.

Tratamientos	Lotes	FCI	FDF
TC	L1	2.03 $\pm$ 0.24	1.66 $\pm$ 0.53
	L2	1.90 $\pm$ 0.30	2.12 $\pm$ 0.47
	L3	2.43 $\pm$ 0.66	2.54 $\pm$ 0.46 *
T1	L1	2.04 $\pm$ 0.26	2.04 $\pm$ 0.26
	L2	2.10 $\pm$ 0.46	1.96 $\pm$ 0.29
	L3	1.72 $\pm$ 0.31	1.85 $\pm$ 0.23 *
T2	L1	2.04 $\pm$ 0.92	2.01 $\pm$ 0.32
	L2	1.95 $\pm$ 0.25	2.15 $\pm$ 0.34
	L3	1.98 $\pm$ 0.18	2.51 $\pm$ 0.89

ANOVA dos vías (valor de p)

Tratamientos	0.335	0.054
Lotes	0.872	0.010*
Interacción	0.330	0.308

FCI: Factor de condición inicial; FCF: Factor de condición final. *representa diferencias significativas en las columnas ($p < 0.05$).

Producción de huevos. Respecto al volumen de huevos colectados, se observaron diferencias altamente significativas ($p = 0.001$) entre los tratamientos experimentales, pero no entre los lotes de reproductores ($p = 0.991$), presentándose los volúmenes de producción más altos en los reproductores de los tres lotes mantenidos en el sistema con “aquamimicry” y dieta comercial (T1), con un volumen de alrededor de 80 ml de huevos, lo cual representa en promedio el doble de los volúmenes obtenidos en los lotes de reproductores de los tratamientos TC y T2 (Figura 1).

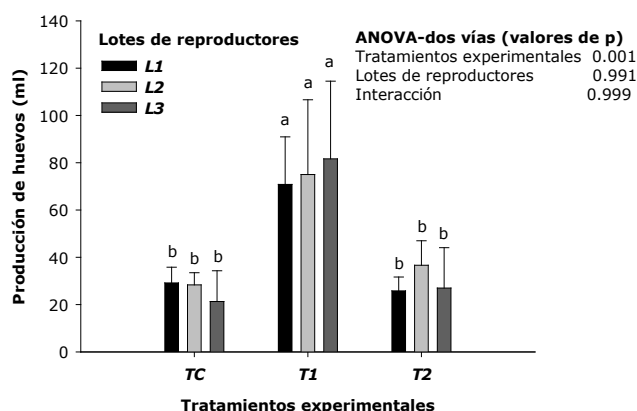


Figura 1. Producción total de huevos (promedio $\pm$ desviación estándar) de reproductores de tilapia del Nilo, *O. niloticus*, de diferentes lotes de reproductores mantenidos en distintos tratamientos de alimentación. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($p < 0.05$). TC – agua verde (control), T1 – “aquamimicry”, T2 – biofloc.

DISCUSIÓN

La producción constante de huevos y crías de buena calidad en la acuicultura depende en gran medida del manejo que se les dé a los reproductores, las condiciones ambientales en los que son mantenidos, el régimen de alimentación al que son sometidos y en particular a la calidad nutricional del alimento que reciben, así como la proporción sexual y las condiciones de salud en las que se encuentran (27,28). Los niveles de proteína, lípidos, vitaminas y carotenoides contenidos en las dietas de los reproductores pueden influir en varios parámetros reproductivos como la fecundidad, porcentaje de fertilización, eclosión y supervivencia larval, así como en el crecimiento y factor de condición de los organismos (29,30).

En los últimos años se ha tratado de hacer un uso más racional de los recursos disponibles y del reciclamiento de materiales para incrementar la productividad. Particularmente en los sistemas acuícolas se han aprovechado los servicios ecosistémicos que proveen las comunidades de microalgas y microorganismos existentes en las unidades de producción y sus efectos benéficos sobre la calidad del agua, así como el estatus nutricional y de salud de los animales en cultivo, con lo cual se han podido intensificar dichos sistemas de producción trayendo como resultado un incremento en las ganancias económicas y un

uso más sustentable de los recursos naturales como el agua y los nutrientes, es decir, que son tecnologías “amigables con el ambiente” (5,31,32).

Se ha observado que mediante la técnica de “aquamimicry” las condiciones de cultivo son más estables, debido a que no hay necesidad de agregar de manera constante la fuente de carbono para el mantenimiento de las comunidades heterótrofas, sino que el carbono requerido para tal fin es liberado lenta y constantemente debido a la fermentación de fibras vegetales como la cascarilla de arroz utilizada en este trabajo (11,17,33). Esta forma de agregar la fuente de carbono al medio hace que no se incremente drásticamente la demanda de oxígeno disuelto y que los niveles de amonio y de sólidos sedimentables sean más estables (6).

Particularmente en este trabajo, en los tratamientos “heterótrofos” (T1 y T2) se registraron niveles de oxígeno disuelto por arriba de los 6 mg l⁻¹, lo cual, de acuerdo con El-Sayed (2), son niveles adecuados para el mantenimiento de reproductores de esta especie. Además, se observó que los niveles de amonio registrados en el tratamiento con “aquamimicry” T1 fueron significativamente más bajos que en los tratamientos TC y T2 (Tabla 2).

Por otra parte, uno de los indicadores que se han empleado con mayor frecuencia en la piscicultura para estimar el nivel de bienestar de los organismos en cultivo ha sido el factor de condición, el cual permite comparar el desempeño productivo de poblaciones monoespecíficas mantenidas bajo distintas condiciones ambientales o diferentes regímenes de alimentación y, específicamente en lo que se refiere al manejo de reproductores, como un estimador de las reservas de energía de los organismos, asumiendo que aquellos individuos con un mayor factor de condición, tendrán mayores reservas energéticas y por lo tanto presentarán un mejor desempeño reproductivo (34,35).

En el presente trabajo no se registraron diferencias significativas en el factor de condición de las hembras al comparar dicho índice al inicio y al final del experimento en todos los tratamientos y en todos los lotes de reproductores. Por lo tanto, debido a que en todos los tratamientos experimentales se registró la producción de

huevos, se puede asumir que en todos ellos se proporcionaron las condiciones adecuadas para que los reproductores adquirieran las reservas energéticas necesarias para la formación de los gametos y la maduración final de los mismos (28,35).

En ese mismo sentido y debido a la mayor estabilidad en los parámetros ambientales que proporciona el "aquamimicry" como se mencionó en párrafos anteriores, también se puede asumir que las reservas energéticas de las hembras del tratamiento *T1* fueron suficientes como para que en dicho tratamiento se presentaran los mayores volúmenes de producción de huevos (± 80 ml).

Con respecto a la reproducción en diferentes ambientes de cultivo, Ramos de Alvarenga et al. (24) compararon el desempeño reproductivo en tilapias mantenidos en sistemas de agua clara, que sería el equivalente al tratamiento *TC* en este trabajo y en sistemas de biofloc y no observaron diferencias significativas entre ambos sistemas con respecto a la fecundidad relativa, el porcentaje de fecundación, el número de larvas producidas, etc., por lo cual estos autores concluyeron que pueden mantenerse reproductores de esta especie bajo ambos sistemas sin tener afectaciones a la reproducción.

En el presente estudio se observó que en cuanto a la producción de huevos en los tres lotes de reproductores mantenidos en los tratamientos *TC*, con agua verde y *T2* con biofloc, no se presentaron diferencias significativas, similar a lo reportado por Ramos de Alvarenga et al. (24). No obstante, la producción promedio de huevos obtenidos a partir de los reproductores mantenidos en el tratamiento *T1*, con microorganismos simbióticos o "aquamimicry" se mantuvo alrededor de 80 ml, en comparación con los 21 y 36 ml de huevos obtenidos en los tratamientos *TC* y *T2*, respectivamente, representa casi el doble.

Se ha visto que en los medios con abundancia de sustancias prebióticas y posbióticas, así como de microorganismos probióticos, como el que ofrece el "aquamimicry", se mejora el balance microbial en el tracto digestivo y que esto

puede ayudar a superar potenciales deficiencias reproductivas tanto en diversas especies de peces dulceacuícolas (23,36,37,38) como en camarón blanco, *Litopenaeus vannamei* (12,39).

Específicamente en tilapia del Nilo, *O. niloticus* Mehrim et al. (40) observaron que los reproductores alimentados con una dieta comercial adicionada con 15 g Kg⁻¹ de un suplemento a base de bacterias probióticas, principalmente *Bacillus sp.* y *Lactobacillus sp.*, incrementaba el número de hembras sexualmente maduras, observándose un mayor número de gónadas en estado de vitelogénesis y maduración final, cuando se analizaron histológicamente.

En resumen y de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que el mantenimiento de reproductores de tilapia del Nilo, *O. niloticus*, en sistemas de "agua verde", "aquamimicry" o biofloc, no tiene un efecto directo sobre el factor de condición o estado fisiológico de los mismos. No obstante, el mantenimiento de reproductores de esta especie en "aquamimicry" promueve una mayor producción de huevos, lo cual podría tener efectos positivos sobre la sustentabilidad ambiental y económica de los centros de producción de crías de esta especie.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al proyecto PROFAPI-UAS PRO-A7-038 por el financiamiento para la realización del trabajo aquí presentado.

Financiamiento

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento del proyecto PROFAPI-UAS PRO-A7-038.

REFERENCIAS

1. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura - Hacia la transformación azul. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2022. <https://www.fao.org/publications/sofia/2022/es/>
2. El-Sayed A-FM. Reproduction and seed production. In: El-Sayed A-FM, editor. Tilapia culture. 2nd Ed. Oxford UK: CABI Publishing; 2019. <https://www.elsevier.com/books/tilapia-culture/el-sayed/978-0-12-816541-6>
3. Campanati C, Willer D, Schubert J, Aldridge DC. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. Rev Fish Sci Aquac. 2022; 30(2):143-169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>
4. Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. Aquaculture. 2006; 257(1-4):346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
5. Islam MM, Barman A, Khan MI, Mukul SA, Stringer LC. Biofloc Aquaculture as an Environmentally Friendly Climate Adaptation Option. Anthropol Sci. 2022; 1:231-232. <https://doi.org/10.1007/s44177-021-00006-w>
6. Khanjani MH, Brito da Silva LO, Fôes KG, do Nascimento Vieira F, Poli MA, Santos M, et al. Synbiotics and aquamimicry as alternative microbial-based approaches in intensive shrimp farming and biofloc: Novel disruptive techniques or complementary management tools? A scientific-based overview. Aquaculture. 2023; 567:739273. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739273>
7. Henares MNP, Madeiros MV, Camargo AFM. Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools. Rev Aquacult. 2020; 12(1):453-470. <https://doi.org/10.1111/raq.12327>
8. Martínez-Porchas M, Ezquerro-Brauer M, Mendoza-Cano F, Chan-Higuera JE, Vargas-Albores F, Martínez-Córdova LR. Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquac Rep. 2020; 16:100257. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100257>
9. Custódio M, Villasante S, Calado R, Lillebo AI. Valuation of Ecosystem Services to promote sustainable aquaculture practices. Rev Aquacult. 2020; 12(1):392-405. <https://doi.org/10.1111/raq.12324>
10. Yu YB, Choi JH, Lee JH, Jo AH, Lee KM, Kim JH. Biofloc Technology in Fish Aquaculture: A Review. Antioxidants. 2023; 12(2):398. <https://doi.org/10.3390/antiox12020398>
11. Deepak AP, Vasava RJ, Elchelwar VR, Tandel DH, Vadher, KH, Shrivastava V, et al. Aquamimicry: New and innovative approach for sustainable development of aquaculture. J Entomol Zool Stu. 2020; 8(2):1019-1031. <https://doi.org/10.22271/j.ento>
12. Khanjani MH, Mozanzadeh MT, Fôes GK. Aquamimicry system: a suitable strategy for shrimp aquaculture – a review. Ann Anim Sci. 2022; 22(4):1201-1210. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0044>
13. Chacrapani S, Panigrahi A, Sundaresan J, Sivacumar MR, Palanisamy R, Kumar V. Three different C:N ratios for Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* under practical conditions: Evaluation of growth performance, immune and metabolic pathways. Aquac Res. 2021; 52(3):1255-1266. <https://doi.org/10.1111/are.14984>
14. Mansour AT, Ashry OA, El-Neweshy MS, Asaqui AS, Dighiesh HS, Ashour M, et al. Effect of Agricultural By-Products as a Carbon Source in a Biofloc-Based System on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities, Hepatopancreas Histology, and Gut Bacterial Load of *Litopenaeus vannamei* Post Larvae. J Mar Sci Eng. 2022; 10(10):1333. <https://doi.org/10.3390/jmse10101333>

15. Khanjani MH, Sharifina M, Hajirazae S. Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. *Aquaculture*. 2022; 552:738021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738021>
16. Chakravarty S, Kumar S, Prakash S. Back to the Basics: Biomimicry in Shrimp Farming. *Int J Curr Microbiol App Sci*. 2018; 7(5):2172-2184. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.253>
17. Flefil NS, Ezzat A, Aboseif AM, El-Dein AN. Lactobacillus-fermented wheat bran, as an economic fish feed ingredient, enhanced dephytinization, micronutrients bioavailability, and tilapia performance in a biofloc system. *Biocatal Agric Biol*. 2022; 45:102521. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102521>
18. Pérez-Chabela ML, Álvarez-Cisneros YM, Soriano-Santos J, Pérez-Hernández MA. Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. *Hidrobiológica*. 2020; 30(1):93-105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30n1/Perez>
19. Kord MI, Srour TM, Omar EA, Farag AA, Nour AZM, Khalil HS. The Immunostimulatory Effects of Commercial Feed Additives on Growth Performance, Non-specific Immune Response, Antioxidants Assay, and Intestinal Morphometry of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Front Physiol*. 2021; 12:627499. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.627499>
20. Hancz C. Application of Probiotics for Environmentally Friendly and Sustainable Aquaculture: A Review. *Sustainability*. 2022; 14:15479. <https://doi.org/10.3390/su142215479>
21. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review. *Sustainability*. 2021; 13:7255. <https://doi.org/10.3390/su13137255>
22. Khanjani MH, Sharifina M. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Rev Aquacult*. 2020; 12(3):1836-1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
23. Gioacchini G, Georgini E, Vaccari L, Carnevali O. Can Probiotics affect reproductive process of aquatic animals? In: Merrifield D, Ringo E., editors. *Aquaculture Nutrition: Gut health, probiotics and prebiotics*. Oxford UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118897263.ch12>
24. Ramos de Alvarenga E, Moreira de Salles SC, Soares de Brito T, Santos CR, Dias-Serafim-Correa R, de Oliveira-Alves GF, et al. Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia. *Aquac Res*. 2017; 48(12):5965-5972. <https://doi.org/10.1111/are.13420>
25. Ekasari J, Zairin Jr M, Utami-Putri D, Putri-Sari N, Harris-Surawidjaja E, Bossier P. Biofloc-based reproductive performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. broodstock. *Aquac Res*. 2015; 46:509-512. <https://doi.org/10.1111/are.12185>
26. Zar JH. *Biostatistical Analysis*. 5th ed. NJ, USA: Pearson; 2010.
27. Moraes de Oliveira M, Ribeiro T, Orlando TM, Silva de Oliveira DG, Drumond MM, Fonseca de Freitas R T, Vieira Rosa P. Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters. *Anim Reprod Sci*. 2014; 150(1-2):62-69. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.08.006>
28. Migaud, H, Bell G, Cabrita E, McAndrew B, Davie A, Bobe J, et al. Gamete quality and broodstock management in temperate fish. *Rev Aquacult*. 2013; 5(1):194-223. <https://doi.org/10.1111/raq.12025>
29. Izquierdo MS, Fernández-Palacios H, Tacon AGJ. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture*. 2001; 197(1-4):25-42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6)
30. Bobe J. Egg quality in fish: present and future challenges. *Anim Front* 2015; 5(1):66-72. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0010>
31. Ariza FG, Mujica E. Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: Una revisión. *Ingeniería y Región*. 2019; 21(1):2-11. <https://doi.org/10.25054/22161325.1841>

32. Bossier P, Ekasari J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microb Biotechnol.* 2017; 10(5):1012-1016. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>
33. Romano N, Dauda AB, Ikhsan N, Karim M, Kamarudin MS. Fermenting rice bran as a carbon source for biofloc technology improved the water quality, growth, feeding efficiencies, and biochemical composition of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles. *Aquac Res.* 2018; 49(12):3691-3701. <https://doi.org/10.1111/are.13837>
34. Froese, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, metaanalysis and recommendations. *J Appl Ichthyol.* 2006; 22(4):241-53. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
35. Estrada-Godínez, JA, Rodríguez-Montes de Oca GA, Bañuelos-Vargas MI, Martínez-Montaña E, Pacheco-Margés MR, Román-Reyes JC. Effect of feeding rate and hormonal treatments on the condition factor and the reproductive performance of the catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *J Appl Aquacult.* 2022; 34(4):1005-1020. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1914801>
36. Bobe J, Labbé C. Egg and sperm quality in fish. *Gen Comp Endocr.* 2010; 165(3):535-548. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.011>
37. Nisar U, Peng D, Mu Y, Sun Y. A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste: A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry. *Front Nutr.* 2022; 8:791738. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738>
38. Mohammady EY, Soaudy MR, Ali MM, El-Ashry MA, El-Karim MSA, Jarmolowicz S, et al. Response of Nile tilapia under biofloc system to floating or sinking feed and feeding rates: Water quality, plankton community, growth, intestinal enzymes, serum biochemical and antioxidant status. *Aquac Rep.* 2023; 29:101489. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101489>
39. Ferreira GS, Santos D, Schmachtlm F, Machado C, Fernandes V, Bögnér M, et al. Heterotrophic, chemoautotrophic and mature approaches in biofloc system for Pacific white shrimp. *Aquaculture.* 2021; 533:736099. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736099>
40. Mehri AI, Khalil FF, Hassan ME. Sexual Maturity Signs and Histological Alterations of Adult *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Fed Probiotic. *Int J Anat Appl Physiol.* 2019; 5(1):103-110. <https://doi.org/10.19070/2572-7451-2000024>



Productive performance of female tilapia, *Oreochromis niloticus*, under different management methods

José A. Estrada-Godínez*¹ ; Gustavo A. Rodríguez-Montes-de-Oca¹ ;
María del R. Pacheco-Marges¹ ; María I. Bañuelos-Vargas¹ .

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar. Los Pinos, Mazatlán, Sinaloa, México.

*Correspondencia: joseestrada@uas.edu.mx

Received: March 2023; Accepted: July 2023; Published: August 2023.

ABSTRACT

Objectives. To assess the effect of different farming methods on the condition factor and egg production of female tilapia brooders. **Materials and methods.** Three different brooder stocks were kept under three experimental treatments: *TC* - green water (control), *T1* -aquamimicry, and *T2* - biofloc. Each broodstock was repeated in each experimental treatment. A sex ratio of 2:1 was used, and a commercial diet with a 32% protein content was provided twice daily for 60 days. The condition factor was estimated at the beginning and end of the experiment. Every week, the eggs produced in each tank were collected; at the end of the experiment, the total production volume was estimated in all experimental treatments. **Results.** For the condition factor, no significant differences were observed at the beginning of the experiment, but at the end, significant differences were recorded among the broodstocks but not among the treatments. No significant differences were observed when the condition factor was assessed among broodstocks or experimental treatments. Finally, significant differences in egg production were observed among the experimental treatments, with higher production in the three broodstocks of the *T1* treatment, with a production volume of approximately 80 mL. **Conclusions.** Maintaining tilapia broodstock in aquamimicry culture systems significantly increases egg production volume.

Keywords: Autotrophic systems; heterotrophic systems; condition factor; brooders; egg production (*Source: ICYT de Biología Animal*).

RESUMEN

Objetivos. el objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de diferentes métodos de cultivo sobre el factor de condición y la producción de huevos en hembras de tilapia. **Materiales y métodos.** Se utilizaron tres lotes distintos de reproductores distribuidos en tres tratamientos - *TC*: agua verde (control), *T1*: "aquamimicry" y *T2*: biofloc, tomándose cada lote como repetición en cada tratamiento.

How to cite (Vancouver).

Estrada-Godínez JA, Rodríguez-Montes-de-Oca GA, Pacheco-Marges MR, Bañuelos-Vargas MI. Productive performance of female tilapia, *Oreochromis niloticus*, under different farming methods. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(3):e3251. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3251>



©The Author(s) 2023. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), lets others remix, tweak, and build upon your work non-commercially, as long as they credit you and license their new creations under the identical terms.

Se usó una proporción sexual 2:1 y se empleó una dieta comercial con 32% de proteína proporcionada a saciedad dos veces al día, durante 60 días. Al inicio y al final del experimento se estimó el factor de condición de las hembras. Semanalmente se colectaron los huevos producidos en cada tanque y al final del experimento se estimó el volumen de producción de huevos en todos los tratamientos.

Resultados. No se observaron diferencias significativas en el factor de condición entre los organismos al inicio del trabajo, pero sí al final, entre los lotes de reproductores, pero no entre los tratamientos; así mismo, al comparar dicho índice entre cada lote y cada tratamiento experimental al inicio y al final del periodo de alimentación, tampoco se observaron diferencias significativas. Se observaron diferencias significativas en la producción de huevos entre los tratamientos experimentales, siendo significativamente mayor la producción registrada en los tres lotes de reproductores del tratamiento T1, con volúmenes promedio de producción de alrededor de 80 ml. **Conclusiones.** El mantenimiento de reproductores de tilapia en sistemas de cultivo de "aquamimicry" resulta en un incremento significativo en el volumen de producción de huevos.

Palabras clave: Sistemas autótrofos; sistemas heterótrofos; factor de condición; reproductores; producción de huevos (*Fuente: ICYT de Biología Animal*).

INTRODUCTION

Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, has become the third most farmed species worldwide, reaching production volumes of 4 million tons of live weight in 2020 (1). However, to meet the growing demand for this species in the world market, it has been necessary to increase the density of organisms per surface or volume, with a consequent increase in the consumption of water and foods with high protein and other nutrient contents, which satisfy the nutritional requirements to achieve good reproductive performance (2,3). In recent years, farming alternatives have been developed that are based on the ecosystem services obtained from photoautotrophic, chemoautotrophic, and heterotrophic microbial communities. This has made it possible to intensify aquaculture production systems through the use and recycling of nutrients and other organic waste generated from unconsumed feed and feces and other metabolic wastes from cultivated animals and other organisms that are part of the aquaculture ecosystem (4,5,6).

These alternative cultivation methods include autotrophic systems in which the C:N ratio of the medium is low and, therefore, photoautotrophic communities predominate, and microalgal biomass is produced as the base of the food chain. These microalgae are able to uptake nitrogen from ammonium, which is produced by protein metabolism in fish, and from nitrites produced by the oxidation of ammonium (4,7,8). However, one of the main adverse effects of this method is the wide fluctuations in the pH of the water due precisely to the

photosynthetic activity of the microalgae when their production is uncontrolled, with consequent energy expenditure by the fish to compensate for these variations (9). This production method is considered "traditional" and is also known as "green water."

In contrast, heterotrophic systems, in which the C:N ratio is high and where chemoautotrophic and heterotrophic communities such as bacteria, fungi, and yeasts predominate, are the basis for the operation of biofloc technology (BFT) and the method known as aquamimicry (6,10,11,12). The main characteristics of both production methods are as follows: 1) In BFT, the constant addition of an organic carbon source, usually molasses, is required to adjust the C:N ratio in the system to maintain a desirable microbial community, but with the consequent excessive accumulation of sediment on the bottom of the tanks, as well as significant increases in ammonium concentrations in the water during the first weeks of culture (13,14,15). 2) In the aquamimicry method, constant adjustment of the C:N ratio is not required since it depends on the fermentation of plant substrates, mainly rice husks, wheat husks, and soybean meal, as carbon sources. Such fermentation is carried out by heterotrophic microorganisms such as yeasts (*Saccharomyces* sp.) and bacteria (*Bacillus* sp. and *Lactobacillus* sp.) that produce hydrolytic enzymes capable of breaking down plant fibers and increasing the solubility of proteins from such carbon sources, also controlling the growth of microalgae populations, leading to the stabilization of the pH levels of the water and keeping sediment levels low on the bottom of the production tanks (12,16,17).

There is abundant scientific literature showing the beneficial effects obtained from the implementation of heterotrophic systems in aquaculture. This is because such methods favor the synthesis of certain organic substances with prebiotic and postbiotic properties, which in turn favor the proliferation of probiotic microorganisms and which as a whole have led to the improvement of the nutritional and health status of the organisms in culture, positively impacting the water quality of the production units as well as the growth and disease resistance of organisms (18,19,20). However, there are few studies considering the potential benefits of heterotrophic systems on the reproductive performance of cultivated species, although such systems are a rich source of proteins and lipids that can be used in the early stages of gonad formation and particularly in ovarian development in both shrimp and fish reproducers (21,22,23,24).

Notably, in the case of tilapia broodstock, the results obtained have been conflicting concerning the potential benefits of heterotrophic systems on fertility. Ekasari et al (25) observed a significant increase in the fertility of females when they were maintained in a biofloc system compared to those maintained in a traditional system. In contrast, Ramos de Alvarenga et al (24) did not observe significant differences in relative fertility, percentage of fertilization, or number of larvae produced between broodstocks maintained in these systems. However, the potential benefits of heterotrophic aquaculture systems to the reproductive parameters of tilapia brooders has not been evaluated.

Therefore, based on the above, this work evaluated and compared the condition factor and reproductive performance, specifically egg production, in females of Nile tilapia, *O. niloticus*, maintained in different culture methods (autotrophic and heterotrophic).

MATERIALS AND METHODS

Animal management and experimental design. Tilapia (*O. niloticus*) of the Gift variety were obtained from three different production centers in Sinaloa, Mexico: L1 (815.8±202.4 g), L2 (714.9±229.2 g) and L3 (523.4±120.0 g). The organisms from each production center or batch were randomly distributed into three 3000-L geomembrane tanks with freshwater,

constant aeration, and subjected to natural photoperiod and temperature (23°12'31.7" N and -106°25'28.18" W).

Twenty-one broodstock were placed in each tank at a 2:1 sex ratio (14 females:7 males). Sex was determined by visual inspection of the urogenital papilla of the animals. There were nine tanks, three with broodstock from batch L1, three from batch L2, and three from batch L3. Likewise, the tanks were randomly distributed so that one tank from each lot was subjected to one of the following experimental treatments: TC treatment - breeders kept in green water as a control; T1 treatment - breeders kept in aquamimicry; T2 treatment - breeders kept in biofloc.

All brooders were fed a commercial diet (Aquanu3®, 3.5 mm) with 32% protein (see Table 1 for information on the proximal composition), which was provided to the animals to satiety twice a day, at 9:00 and 17:00 hours, for 60 days.

Table 1. Proximal composition of the commercial diet (Aquanu3®, 3.5 mm) used for feeding Nile tilapia (*O. niloticus*) brooders (data provided by the manufacturer).

Proximal composition	Dry weight (%)
Protein	32
Lipids	5
Fiber	8
Ash	10
Free nitrogen extract	35
Moisture	10

The preparation of treatments T1 and T2 began a month before the start of the experimental activities. To promote the formation of the aquamimicry, a 200-L water container was used, which was filled with fresh water at room temperature, and 1000 g of rice bran, 2 L of molasses, and 200 g of the commercial product Ecoaquablend®, which is a biodigester of organic matter based on bacterial spores of the genera *Bacillus* sp. and *Lactobacillus* sp., as well as yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, supplemented with proteases, amylases, and cellulases. All ingredients were carefully mixed and fermented for 48 hours under constant aeration. Daily, for 30 days, 40 L of the ferment was placed in a 15000-L concrete tank with fresh water and constant aeration.

For the preparation of the biofloc, another 200-L water container was used where 2 L of molasses was mixed with 1000 g of corn bran and 200 g of Econutrimax®, a commercial product that provides the necessary nutrients for microbial biofloc development. This mixture was fermented for 24 hours under constant aeration. Daily, for 30 days, 40 L of the ferment was placed in a 15000-L concrete tank with fresh water and constant aeration.

After one month of maturing of the treatments in their respective concrete tanks, the corresponding breeding tanks of treatments T1 and T2 were filled by adding 10 L of the respective mixtures daily. Daily in the morning, the water temperature (°C) and dissolved oxygen (mg L⁻¹) in each tank were measured with a multiparameter device (YSI-PRO20®). Weekly, the pH, ammonium (mg L⁻¹), hardness (mg L⁻¹), and carbonates (mg L⁻¹) were measured with a commercial kit of indicator strips specific for freshwater (APIfishcare®). At the beginning and end of the experiment, the total length (cm) and weight (g) of the females in each tank were measured, and with these data, the condition factor (CF) was estimated as indicated in the following formula:

$$CF = (W/TL^3) \times 100$$

W = body weight (g)

TL = total length (cm)

The eggs produced in each tank were manually collected weekly. For this, each female was carefully captured and checked for the presence of incubating eggs inside her mouth; if eggs were present, they were extracted by passing a jet of water through the female's gills to expel them, and then the eggs were collected into a plastic container filled with water. The total volume of eggs collected in each tank was measured with a 100-mL graduated cylinder. Every week, the volume of eggs produced by each batch of breeders from each experimental treatment was recorded. A total of six egg collections were made per tank.

Statistical analysis. One-way analysis of variance followed by Tukey's test was performed to determine significant differences in the results of each water quality parameter measured in the experimental treatments.

Two-way analysis of variance was performed taking the different experimental treatments and brooder batch as independent variables for the analysis of the condition factor at the beginning and the end of the experiment and for the total volume of eggs produced. The Holm-Sidak test was performed to determine significant differences between each of the variables, as well as their interactions. Student's *t* test was performed to compare the differences in the condition factor in each treatment and each brooder batch at the beginning and the end of the experiment.

Before statistical analysis, the condition factor results were arcsine square root-transformed. Additionally, the normality and homoscedasticity of the data were verified using the Shapiro-Wilk test for $n \leq 5000$. All statistical analyses were performed with a significance level of $p < 0.05$ according to the methods of Zar (26) and were performed with SigmaPlot ver. 11.0 for Windows.

Ethical aspects. The procedures carried out in the fish in this study were approved by the Mexican legislation established in the General Animal Welfare Law, Title 5, Chapter III, published on February 11, 2016.

RESULTS

Physicochemical water parameters. No significant differences ($p < 0.05$) were observed regarding temperature, pH, or hardness recorded in all culture tanks during the experiment. However, dissolved oxygen, ammonium, and carbonates did present significant differences ($p < 0.05$) among the experimental treatments (Table 2).

Table 2. Water quality parameters (average $\pm$ standard deviation) measured in Nile tilapia (*O. niloticus*) brooders. TC - green water (Control), T1 - aquamimicry, T2 - biofloc.

Parameters	Experimental treatments		
	TC	T1	T2
Oxygen (mg L ⁻¹)	8.17 $\pm$ 0.56 ^a	7.30 $\pm$ 0.62 ^b	6.57 $\pm$ 1.21 ^b
Temperature (°C)	27.20 $\pm$ 0.53	27.17 $\pm$ 0.41	27.20 $\pm$ 0.59
pH	7.20 $\pm$ 0.25	7.13 $\pm$ 0.18	7.37 $\pm$ 0.92
Ammonium (mg L ⁻¹)	0.25 $\pm$ 0.04 ^a	0.12 $\pm$ 0.03 ^b	0.25 $\pm$ 0.16 ^a
Hardness (mg L ⁻¹)	81.53 $\pm$ 2.10	82.13 $\pm$ 2.10	82.53 $\pm$ 2.07
Carbonates (mg L ⁻¹)	82.33 $\pm$ 2.58 ^b	92.67 $\pm$ 2.58 ^a	92.00 $\pm$ 9.22 ^a

Different letters in rows indicate significant differences ($p < 0.05$).

Condition factor. When evaluating the condition factor of the females at the beginning of the experiment, once the breeders were distributed into the different experimental treatments, no significant differences were observed ($p=0.335$). Likewise, no significant differences were observed for the batches from which they came ($p=0.872$) (Table 3).

At the end of the feeding period, no significant differences were recorded among the experimental treatments ($p=0.054$), but differences were recorded among brooder batches ($p=0.010$). The highest condition values were observed in L3 of the TC treatment (2.54 ± 0.46), while the lowest was recorded in L3 of the T1 treatment (1.85 ± 0.23) (Table 3).

No significant differences were recorded when comparing the condition factor at the beginning and the end of the feeding period among the individuals of each batch and each experimental treatment (Table 3).

Table 3. Condition factor (average $\pm$ standard deviation) in female Nile tilapia (*O. niloticus*) brooders. TC - green water (Control), T1 - aquamimicry, T2 - biofloc.

Experimental treatment	Batch	CFB	CFE
TC	L1	2.03 ± 0.24	1.66 ± 0.53
	L2	1.90 ± 0.30	2.12 ± 0.47
	L3	2.43 ± 0.66	2.54 ± 0.46 *
T1	L1	2.04 ± 0.26	2.04 ± 0.26
	L2	2.10 ± 0.46	1.96 ± 0.29
	L3	1.72 ± 0.31	1.85 ± 0.23 *
T2	L1	2.04 ± 0.92	2.01 ± 0.32
	L2	1.95 ± 0.25	2.15 ± 0.34
	L3	1.98 ± 0.18	2.51 ± 0.89
Two-way ANOVA (p value)			
Treatment		0.335	0.054
Batch		0.872	0.010*
Interaction		0.330	0.308

CFB: Condition factor at the beginning; CFE: Condition factor at the end.

*Significant differences in columns.

Egg production. Regarding the volume of eggs collected, highly significant differences ($p=0.001$) were observed among the experimental treatments but not among the brooder batches ($p=0.991$). The highest production volumes were found for the brooders of the three batches maintained in the system with aquamimicry and a commercial diet (T1), with a volume of approximately 80 mL of eggs, which was, on average, double the volumes obtained in the breeder batches of the TC and T2 treatments (Figure 1).

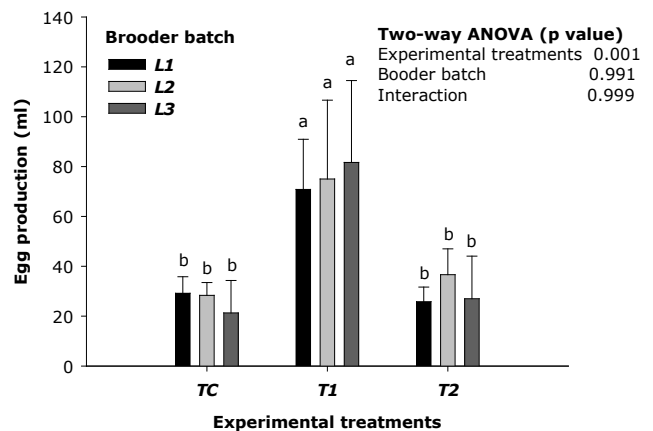


Figure 1. Total egg production (average $\pm$ standard deviation) of Nile tilapia brooders, *O. niloticus*, from different brooder batches maintained in different food treatments. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$). TC - green water (Control), T1 - aquamimicry, T2 - biofloc.

DISCUSSION

The constant production of good quality eggs and hatchlings in aquaculture depends to a large extent on the management of the broodstock, the environmental farming conditions, the feeding regimen, and, in particular, the nutritional value of the food, as well as the sex ratio and the health conditions of the fish (25,26). The levels of protein, lipids, vitamins, and carotenoids contained in brooder diets can influence several reproductive parameters, such as fecundity, fertilization percentage, hatching, and larval survival, as well as the growth and condition factors of the animals (27,28).

In recent years, efforts have been made to make more rational use of available resources and to recycle materials to increase productivity.

Particularly in aquaculture systems, the ecosystem services provided by the microalgae and microorganism communities occurring in production units and their beneficial effects on the water quality and nutritional and health status of farmed animals have been harnessed, allowing the intensification of these production systems and resulting in an increase in economic gains and more sustainable use of natural resources such as water and nutrients; that is, they are "environmentally friendly" technologies (5,29,30).

It has been observed that the culture conditions are more stable in aquaculture because there is no need to constantly add the carbon source for the maintenance of heterotrophic communities; rather, the carbon required is released slowly and constantly due to the fermentation of plant fibers such as the rice husk used in this work (11,17,31). Adding the carbon source to the medium does not drastically increase the demand for dissolved oxygen, and the ammonia and settleable solids levels are more stable (6).

Particularly in this work, in the "heterotrophic" treatments (T1 and T2), dissolved oxygen levels above 6 mg L⁻¹ were recorded, which, according to El-Sayed (2), are adequate for the maintenance of brooders of this species. In addition, the ammonium levels recorded in the treatment with aquamimicry (T1) were significantly lower than those in the TC and T2 treatments (Table 2).

One of the indicators that has been used most frequently in fish farming to estimate the level of well-being of cultured organisms is the condition factor, which allows for comparing the productive performance of monospecific populations maintained under different environmental conditions or different feeding regimes. Specifically, in broodstock management, the condition factor serves as an estimator of the energy reserves of organisms, assuming that individuals with a higher condition factor will have more significant energy reserves and therefore will present better reproductive performance (32,33).

In the present work, there were no significant differences in the condition factor of the females when comparing the beginning and the end of the experiment in all the treatments and all the brooder batches. Therefore, since egg production was recorded in all the experimental treatments, it can be assumed that in all of them, adequate

conditions were provided for the brooders to acquire the necessary energy reserves for gamete formation and final maturation (28,34).

In the same sense and due to the greater stability in the environmental parameters provided by the aquamimicry, as mentioned above, it can also be assumed that the energy reserves of the females in the T1 treatment were sufficient to produce the highest egg production volumes ($\pm$ 80 mL).

Regarding reproduction in different culture environments, Ramos de Alvarenga et al (24) compared reproductive performance in tilapia maintained in green water systems, which would be equivalent to the TC treatment in this work, and in biofloc systems and did not observe significant differences. Concerning relative fecundity, fertilization percentage, number of larvae produced, and other parameters, these authors concluded that reproducers of this species could be maintained under either system without affecting reproduction.

In this study, there were no significant differences in egg production between the three batches of brooders maintained in the TC treatment with green water and the T2 treatment with biofloc, similar to what was reported by Ramos de Alvarenga et al (24). However, the average egg production obtained from the broodstock maintained in the T1 treatment, with symbiotic microorganisms or aquamimicry, was approximately 80 mL, compared to the 21 and 36 mL of eggs obtained in the TC and T2 treatments, respectively, which is almost a two-fold difference.

It has been observed that in media with an abundance of prebiotic and postbiotic substances, as well as probiotic microorganisms, such as the one offered by aquamimicry, the microbial balance in the digestive tract is improved, which can help to overcome potential reproductive deficiencies in various species of freshwater fish (23,35,36), such as the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (12,37).

Specifically, in *O. niloticus*, Mehrim et al (40) observed that broodstock fed a commercial diet supplemented with 15 g kg⁻¹ of a supplement based on probiotic bacteria, mainly *Bacillus* sp. and *Lactobacillus* sp., increased the number of sexually mature females, observing a more significant number of gonads in a state of vitellogenesis and final maturation when analyzed histologically.

In summary, according to the results obtained in this work, the maintenance of *O. niloticus* brooders in green water, aquamimicry, or biofloc systems no affects their condition or physiological state. However, the maintenance of brooders in aquamimicry promotes a higher production of eggs, which could positively affect the environmental and economic sustainability of the offshore production centers of this species.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors thank the PROFAPI-UAS PRO-A7-038 project for the funding to carry out the work presented here.

Funding

This study was funded by PROFAPI-UAS PRO-A7-038.

REFERENCES

1. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura - Hacia la transformación azul. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2022. <https://www.fao.org/publications/sofia/2022/es/>
2. El-Sayed A-FM. Reproduction and seed production. In: El-Sayed A-FM, editor. Tilapia culture. 2nd Ed. Oxford UK: CABI Publishing; 2019. <https://www.elsevier.com/books/tilapia-culture/el-sayed/978-0-12-816541-6>
3. Campanati C, Willer D, Schubert J, Aldridge DC. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. Rev Fish Sci Aquac. 2022; 30(2):143-169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>
4. Ebeling JM, Timmons MB, Bisogni JJ. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. Aquaculture. 2006; 257(1-4):346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
5. Islam MM, Barman A, Khan MI, Mukul SA, Stringer LC. Biofloc Aquaculture as an Environmentally Friendly Climate Adaptation Option. Anthro Sci. 2022; 1:231-232. <https://doi.org/10.1007/s44177-021-00006-w>
6. Khanjani MH, Brito da Silva LO, Fôes KG, do Nascimento Vieira F, Poli MA, Santos M, et al. Synbiotics and aquamimicry as alternative microbial-based approaches in intensive shrimp farming and biofloc: Novel disruptive techniques or complementary management tools? A scientific-based overview. Aquaculture. 2023; 567:739273. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739273>
7. Henares MNP, Madeiros MV, Camargo AFM. Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools. Rev Aquacult. 2020; 12(1):453-470. <https://doi.org/10.1111/raq.12327>

8. Martínez-Porchas M, Ezquerro-Brauer M, Mendoza-Cano F, Chan-Higuera JE, Vargas-Albores F, Martínez-Córdova LR. Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquac Rep. 2020; 16:100257. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100257>
9. Custódio M, Villasante S, Calado R, Lillebo AI. Valuation of Ecosystem Services to promote sustainable aquaculture practices. Rev Aquacult. 2020; 12(1):392-405. <https://doi.org/10.1111/raq.12324>
10. Yu YB, Choi JH, Lee JH, Jo AH, Lee KM, Kim JH. Biofloc Technology in Fish Aquaculture: A Review. Antioxidants. 2023; 12(2):398. <https://doi.org/10.3390/antiox12020398>
11. Deepak AP, Vasava RJ, Elchelwar VR, Tandel DH, Vadher, KH, Shrivastava V, et al. Aquamimicry: New and innovative approach for sustainable development of aquaculture. J Entomol Zool Stu. 2020; 8(2):1019-1031. <https://doi.org/10.22271/j.ento>
12. Khanjani MH, Mozanzadeh MT, Fóes GK. Aquamimicry system: a suitable strategy for shrimp aquaculture – a review. Ann Anim Sci. 2022; 22(4):1201-1210. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0044>
13. Chacrapani S, Panigrahi A, Sundaresan J, Sivacumar MR, Palanisamy R, Kumar V. Three different C:N ratios for Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* under practical conditions: Evaluation of growth performance, immune and metabolic pathways. Aquac Res. 2021; 52(3):1255-1266. <https://doi.org/10.1111/are.14984>
14. Mansour AT, Ashry OA, El-Neweshy MS, Asaqui AS, Dighiesh HS, Ashour M, et al. Effect of Agricultural By-Products as a Carbon Source in a Biofloc-Based System on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities, Hepatopancreas Histology, and Gut Bacterial Load of *Litopenaeus vannamei* Post Larvae. J Mar Sci Eng. 2022; 10(10):1333. <https://doi.org/10.3390/jmse10101333>
15. Khanjani MH, Sharifina M, Hajirazaee S. Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. Aquaculture. 2022; 552:738021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738021>
16. Chakravarty S, Kumar S, Prakash S. Back to the Basics: Biomimicry in Shrimp Farming. Int J Curr Microbiol App Sci. 2018; 7(5):2172-2184. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.253>
17. Fiefl NS, Ezzat A, Aboseif AM, El-Dein AN. Lactobacillus-fermented wheat bran, as an economic fish feed ingredient, enhanced dephytinization, micronutrients bioavailability, and tilapia performance in a biofloc system. Biocatal Agric Biotechnol. 2022; 45:102521. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102521>
18. Pérez-Chabela ML, Álvarez-Cisneros YM, Soriano-Santos J, Pérez-Hernández MA. Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. Hidrobiológica. 2020; 30(1):93-105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30n1/Perez>
19. Kord MI, Srouf TM, Omar EA, Farag AA, Nour AZM, Khalil HS. The Immunostimulatory Effects of Commercial Feed Additives on Growth Performance, Non-specific Immune Response, Antioxidants Assay, and Intestinal Morphometry of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Front Physiol. 2021; 12:627499. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.627499>
20. Hancz C. Application of Probiotics for Environmentally Friendly and Sustainable Aquaculture: A Review. Sustainability. 2022; 14:15479. <https://doi.org/10.3390/su142215479>
21. Mugwanya M, Dawood MAO, Kimera F, Sewilam H. Biofloc Systems for Sustainable Production of Economically Important Aquatic Species: A Review. Sustainability. 2021; 13:7255. <https://doi.org/10.3390/su13137255>

22. Khanjani MH, Sharifinia M. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Rev Aquacult.* 2020; 12(3):1836-1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
23. Gioacchini G, Georgini E, Vaccari L, Carnevali O. Can Probiotics affect reproductive process of aquatic animals? In: Merrifield D, Ringo E., editors. *Aquaculture Nutrition: Gut health, probiotics and prebiotics*. Oxford UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118897263.ch12>
24. Ramos de Alvarenga E, Moreira de Salles SC, Soares de Brito T, Santos CR, Dias-Serafim-Correa R, de Oliveira-Alves GF, et al. Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia. *Aquac Res.* 2017; 48(12):5965-5972. <https://doi.org/10.1111/are.13420>
25. Ekasari J, Zairin Jr M, Utami-Putri D, Putri-Sari N, Harris-Surawidjaja E, Bossier P. Biofloc-based reproductive performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. broodstock. *Aquac Res.* 2015; 46:509-512. <https://doi.org/10.1111/are.12185>
26. Zar JH. *Biostatistical Analysis*. 5th ed. NJ, USA: Pearson; 2010.
27. Moraes de Oliveira M, Ribeiro T, Orlando TM, Silva de Oliveira DG, Drumond MM, Fonseca de Freitas R T, Vieira Rosa P. Effects crude protein levels on female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reproductive performance parameters. *Anim Reprod Sci.* 2014; 150(1-2):62-69. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.08.006>
28. Migaud, H, Bell G, Cabrita E, McAndrew B, Davie A, Bobe J, et al. Gamete quality and broodstock management in temperate fish. *Rev Aquacult.* 2013; 5(1):194-223. <https://doi.org/10.1111/raq.12025>
29. Izquierdo MS, Fernández-Palacios H, Tacon AGJ. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture.* 2001; 197(1-4):25-42. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00581-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00581-6)
30. Bobe J. Egg quality in fish: present and future challenges. *Anim Front* 2015; 5(1):66-72. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0010>
31. Ariza FG, Mujica E. Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: Una revisión. *Ingeniería y Región.* 2019; 21(1):2-11. <https://doi.org/10.25054/22161325.1841>
32. Bossier P, Ekasari J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microb Biotechnol.* 2017; 10(5):1012-1016. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12836>
33. Romano N, Dauda AB, Ikhsan N, Karim M, Kamarudin MS. Fermenting rice bran as a carbon source for biofloc technology improved the water quality, growth, feeding efficiencies, and biochemical composition of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles. *Aquac Res.* 2018; 49(12):3691-3701. <https://doi.org/10.1111/are.13837>
34. Froese, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, metaanalysis and recommendations. *J Appl Ichthyol.* 2006; 22(4):241-53. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
35. Estrada-Godinez, JA, Rodríguez-Montes de Oca GA, Bañuelos-Vargas MI, Martínez-Montañó E, Pacheco-Marges MR, Román-Reyes JC. Effect of feeding rate and hormonal treatments on the condition factor and the reproductive performance of the catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*. *J Appl Aquacult.* 2022; 34(4):1005-1020. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1914801>
36. Bobe J, Labbé C. Egg and sperm quality in fish. *Gen Comp Endocr.* 2010; 165(3):535-548. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.011>
37. Nisar U, Peng D, Mu Y, Sun Y. A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste: A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry. *Front Nutr.* 2022; 8:791738. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738>

38. Mohammady EY, Soaudy MR, Ali MM, El-Ashry MA, El-Karim MSA, Jarmolowicz S, et al. Response of Nile tilapia under biofloc system to floating or sinking feed and feeding rates: Water quality, plankton community, growth, intestinal enzymes, serum biochemical and antioxidant status. *Aquac Rep.* 2023; 29:101489. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101489>
39. Ferreira GS, Santos D, Schmachtlm F, Machado C, Fernandes V, Bögner M, et al. Heterotrophic, chemoautotrophic and mature approaches in biofloc system for Pacific white shrimp. *Aquaculture.* 2021; 533:736099. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736099>
40. Mehrim AI, Khalil FF, Hassan ME. Sexual Maturity Signs and Histological Alterations of Adult *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Fed Probiotic. *Int J Anat Appl Physiol.* 2019; 5(1):103-110. <https://doi.org/10.19070/2572-7451-2000024>