



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA  
TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN UN SISTEMA CERRADO CON BIOFLOC

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

**VÍCTOR HUGO FUENTES ANDRACA**

Asesores:

MVZ Sergio Carlos Ángeles Campos

MVZ Hugo Horacio Montaldo Valdenegro

MVZ Gabriel Ricardo Campos Montes

México, D.F.

2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **DEDICATORIA**

A mis padres, familiares y amigos por toda su confianza, cariño y apoyo que me han brindado en todo momento.

A mis asesores por su dedicación para que fuera posible este trabajo y en especial al MVZ Gabriel Ricardo Campos Montes por darme la oportunidad para incursionar en el área de la Acuicultura.

Al personal de la empresa Genetilapia S.A. de C.V. por ser un ejemplo de vida a seguir en el área de la Acuicultura.

Al personal del Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su colaboración para realizar este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Cleofas Fuentes y María del Carmen Andraca, mis hermanas Carmen Estefanía y Berenice Natividad y a mi sobrino Josué Israel por todo el apoyo incondicional que me han brindado.

A mis asesores MVZ Sergio Ángeles, MVZ Hugo Montaldo y MVZ Gabriel Campos por ser los pilares en la realización de este trabajo de investigación.

Al personal de la empresa Genetilapia S.A. de C.V. Ingeniero Juan Carlos Quintana, Oceanólogo Fernando Gómez, Ingeniero Ricardo Álvarez, Sr. Pedro Castillo, Sr. Genaro Tirado y Sr. Roberto Tirado por ser la base en la realización del trabajo experimental. A la Bióloga Etzaguery Marin por su colaboración en una parte de la investigación.

Al personal del Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica MVZ Aurora Hilda Ramírez, Química Águeda García, MVZ Antonio Venancio, Sr. Ángel Mendoza, Sr. Hugo García, Sr. Martín Flores y Sra. Teresa Martínez por su colaboración para realizar los análisis de laboratorio. Así como también al EMVZ Paulo Manuel Yáñez y PMVZ Teresita Hijuitl.

A mis amigos Pedagoga Esther Torres, MVZ Alejandra Caballero, MVZ Analía Balderas, MVZ María Guadalupe Sánchez, MVZ Manuel Cortez y MVZ Fernando García por toda su ayuda y motivación para la realización de este trabajo.

A mi jurado de tesis MVZ Mario Garduño, MVZ Aurora Hilda Ramírez, MVZ Reyes López, MVZ Sergio Ángeles y MVZ Tatiana Lugo por la evaluación del trabajo escrito.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
RESULTADOS.....	15
DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIONES.....	26
REFERENCIAS.....	27
ANEXOS.....	34
IMÁGENES.....	37

## RESUMEN

FUENTES ANDRACA VÍCTOR HUGO. Efecto de la densidad de siembra en la productividad de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc (bajo la dirección de: MVZ Sergio Carlos Ángeles Campos, MVZ Hugo Horacio Montaldo Valdenegro y MVZ Gabriel Ricardo Campos Montes).

El uso del biofloc en el cultivo de tilapia es una alternativa que permite mantener la calidad de agua en altas densidades de siembra, sin embargo no está claro el efecto que tiene la densidad de siembra en este sistema de producción sobre variables de interés productivo y de calidad nutrimental del filete. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la densidad de siembra sobre parámetros productivos y la composición nutrimental del filete de la tilapia en un sistema cerrado con biofloc. Se utilizaron 42,400 tilapias masculinizadas con peso promedio de 27 g y en tres densidades (59, 89 y 117 organismos/m<sup>3</sup>), con tres réplicas por tratamiento. La engorda de los peces se realizó en tanques techados de 40 m<sup>3</sup> con biofloc, agua salobre a 4 ppm y aireación constante durante 12 semanas. Se analizaron el peso corporal individual (PCI), el factor de conversión alimenticia por tanque (FCA<sub>T</sub>), el rendimiento eviscerado (% Eviscerado) y en filete (% Filete), el contenido de materia seca (% MS), de proteína cruda (% PC), de proteína verdadera (% PV), de proteína digestible (% PD) y de cenizas (% Cen). La densidad de siembra tuvo efecto negativo sobre el PCI, FCA<sub>T</sub>, % PC y % PD del filete. La densidad de siembra en un sistema con biofloc no tuvo efecto sobre el % Eviscerado, % Filete, % MS, % PV y % Cen del filete.

# **EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN UN SISTEMA CERRADO CON BIOFLOC**

## **INTRODUCCIÓN**

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) presenta importantes ventajas para su cultivo, como son crecimiento rápido, adaptación al alimento artificial, tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno, elevados niveles de amonio y bajo pH. Esta especie es de fácil manejo, resiste la manipulación durante la siembra, traslados y cosechas, es de fácil reproducción, tiene buena conversión alimenticia, ganancia de peso y sobrevivencia, tolera las elevadas densidades de siembra y es de apariencia atractiva para diferentes mercados (1). La expansión del cultivo de tilapia alrededor del mundo requiere de una mayor utilización de agua, pero la disminución de cuerpos de agua dulce y la utilización de ésta para la agricultura y actividades urbanas, han provocado un cambio en los sistemas de producción a escenarios intensivos, donde la tilapia ha mostrado su capacidad para tolerar elevadas densidades de siembra (2).

Los sistemas de cultivo están determinados por la densidad de siembra, ya que ésta definirá la necesidad de utilizar tanto soporte de aireación como sistemas de recambio o filtración del agua en los tanques. En términos generales, en un sistema extensivo se utiliza una densidad de siembra entre 1 a 2 peces/m<sup>3</sup>, en un semi-

intensivo de 3 a 8 peces/m<sup>3</sup> y en un intensivo de 10 a 15 o más peces/m<sup>3</sup>. Sin embargo, hay que considerar que a mayor densidad de población los requerimientos de tecnificación, como el soporte de oxigenación, manejo del agua y calidad alimenticia, se incrementan. El cultivo hiper-intensivo presenta otras características como son el uso de pilas de concreto o jaulas flotantes, con sistemas de recirculación y recambios de agua, apoyo continuo de aireación y con densidades de siembra de 30 a 100 peces/m<sup>3</sup> o superiores (3, 4, 5). Debido a la elevada densidad de siembra, los sistemas hiper-intensivos tienden a presentar una baja calidad del agua por la rápida acumulación de residuos de alimento, materia orgánica y formas tóxicas de nitrógeno como el amonio ionizado (NH<sub>4</sub>), el amonio no ionizado (NH<sub>3</sub>) y los nitritos (NO<sub>2</sub>) (3, 4, 6, 7, 8, 9).

La calidad del agua está en función de sus propiedades fisicoquímicas (temperatura, oxígeno disuelto, pH, nitritos y amonio) que deben mantenerse en los rangos óptimos para favorecer el crecimiento y bienestar de la tilapia (5). Una alternativa para mantener la calidad del agua en los tanques es la utilización de biofloc, el cual es un sistema fundamentado en el crecimiento microbial estimulado con la adición de sustratos carbónicos. Esta población microbiana se agrupa en bioflóculos que realizan una conversión heterotrófica de amonio a biomasa microbial, lo cual reduce la acumulación de moléculas de amonio y nitritos, y además sirven como fuente de alimento para peces filtradores como la tilapia (2, 6). Estudios sobre el cultivo de tilapia en tanques con biofloc informan producciones de 6 a 40 kg/m<sup>3</sup>, reduciendo los costos de producción debido al ahorro en el manejo del agua, reducción en la necesidad de recambio de agua y uso de alimento balanceado (10, 11).



Además de la ventaja que ofrece el sistema biofloc para mantener la calidad de agua, se puede convertir en una alternativa para mejorar el uso del alimento, debido a que especies filtradoras como la tilapia tienen la capacidad de utilizar los bioflóculos como fuente de alimento (2, 6). La medida más usual para conocer la utilización del alimento por parte de la tilapia es el factor de conversión alimenticia (FCA), el cual se obtiene de la relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso (12). En el cultivo de tilapia es posible obtener factores de conversión alimenticia de 0.8:1 a 1.5:1, dependiendo del tipo de alimentación suministrada, condiciones de manejo y edad del pez (1, 5). Estos valores podrían disminuir en sistemas de mayor densidad poblacional con el uso de biofloc, aprovechando la capacidad que tiene la tilapia para obtener alimento por medio de la filtración del agua (6).

La alimentación recibida durante el periodo de cultivo y la densidad poblacional son factores que influyen en el peso corporal de la tilapia, y este a su vez se relaciona con su precio en el mercado y sus principales presentaciones comerciales que son eviscerada y en filete (2). El rendimiento eviscerado de la tilapia nilótica puede variar entre 88.1 y 94.5% dependiendo de algunas condiciones de manejo y alimentación (2, 13). Respecto al rendimiento en filete de tilapia nilótica, los valores oscilan entre 32.1 a 37.1% dependiendo de la densidad de siembra y el sistema de aireación, hasta 31.6% y 38.6% dependiendo del método de procesamiento del pescado (13, 14, 15, 16). Otros factores que influyen en el rendimiento en filete son la línea genética y el manejo (17, 18).

Por otro lado, la composición química corporal varía en relación a factores como la especie, condición sexual, tamaño corporal, época del año, alimentación y grado de actividad. Estos factores influyen en la distribución del agua, proteína, grasa, minerales y carbohidratos contenidos en la masa corporal de la tilapia (19). Para determinar la composición nutricional del filete de pescado se realiza el Análisis Químico Proximal, el cual consta de las siguientes determinaciones: humedad, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas y por diferencia a 100 los elementos libres de nitrógeno. Además, hay análisis complementarios que son importantes de considerar al tratarse de un alimento proteínico, como son la determinación de proteína verdadera y de proteína digestible (20). La composición del filete de pescado presenta una variación normal de 66-81% en humedad, 16-21% en proteína, 0.2-25% en lípidos, 1.2-1.5% en cenizas y <0.5 en carbohidratos (21).

A partir de lo anterior, es importante conocer el efecto de la densidad de siembra sobre diversos parámetros de interés comercial y nutricional en la tilapia nilótica, para poder decidir sobre el uso de las elevadas densidades de siembra en un sistema cerrado con biofloc.

## **Hipótesis**

La densidad de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc influye en: 1) el peso corporal individual, 2) factor de conversión alimenticia, 3) rendimiento eviscerado, 4) rendimiento en filete y 5) composición nutrimental del filete.

## **Objetivo general**

Comparar parámetros productivos y de la composición nutrimental del filete de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.

## **Objetivos específicos**

- Comparar el peso corporal individual, factor de conversión alimenticia, rendimiento eviscerado y rendimiento en filete de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.
- Comparar el contenido de materia seca, proteína cruda, proteína verdadera, proteína digestible y cenizas del filete de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del sitio del estudio

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de una empresa particular<sup>a</sup> ubicada en la carretera los Pozos - Caimanero km 4.5 en el Ejido de los Pozos municipio del Rosario, Sinaloa.

### Organismos utilizados

Se utilizaron 42,400 crías de tilapia del Nilo de la línea Spring® que fueron masculinizadas utilizando una ración de 20% de la biomasa por día de alimento con 60 miligramos de 17  $\alpha$ -metil-testosterona/kg de alimento durante 25 días, contados a partir de la absorción del saco vitelino. Posterior a la absorción del saco vitelino, las tilapias fueron sembradas con un peso corporal promedio de 1 g en 4 tanques de 25 m<sup>3</sup>, a una densidad de 457 organismos/m<sup>3</sup>. Los tanques contaron con aireación constante y biofloc que fue preparado 30 días antes de la siembra, utilizando alimento para peces con 35% de proteína cruda, melaza, maíz molido, probiótico (Epicin hatcheries®) y microalgas del género *Thalassiosira* spp. Las tilapias recibieron durante este periodo de 7 semanas alimento comercial (Winfish®) con tamaño de partícula de 1,000 micras.

---

<sup>a</sup> Genetilapia SA de CV

## Siembra de los organismos

Posterior a las 7 semanas los organismos fueron distribuidos de manera aleatoria en tres densidades de siembra: 59 (D59), 89 (D89) y 117 (D117) organismos/m<sup>3</sup>. Se usaron 4 réplicas por tratamiento distribuidas de manera aleatoria. El peso corporal promedio (desviación estándar) fue de 27 (6.63) g y no se detectaron diferencias ( $P>0.05$ ) en el peso corporal de los animales al momento de la siembra entre tratamientos, ni entre tanques (Imagen 1). Los tanques de concreto tenían capacidad de 40 m<sup>3</sup>, techados con plástico y con sistema de aireación por medio de manguera porosa marca Aerotub®, agua salobre a 4 ppm y biofloc (Imagen 2). La distribución de los tanques se presenta en la figura 1.

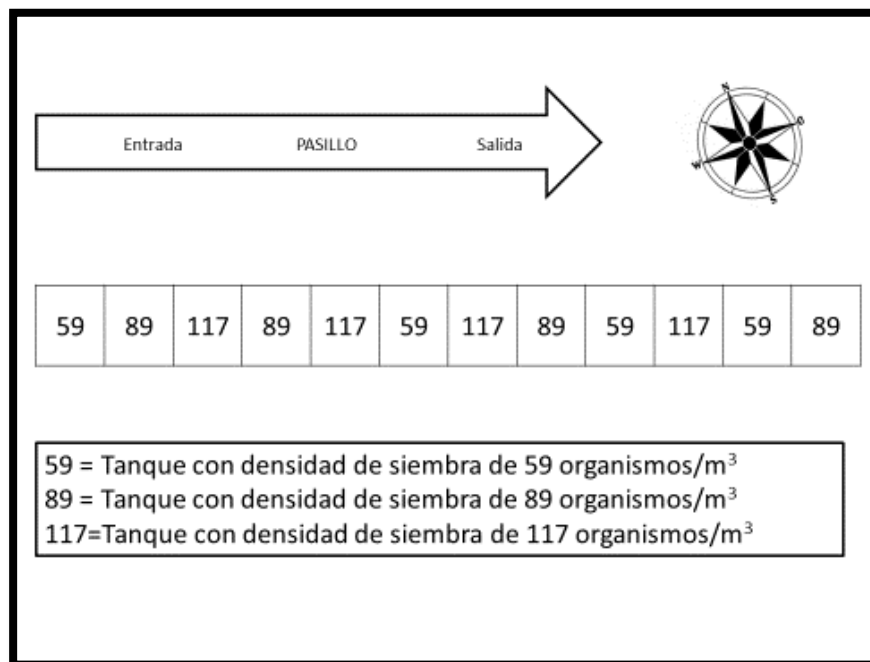


Figura 1. Distribución de las densidades de siembra en los tanques utilizados en el experimento.

## Calidad del agua

Para evaluar la calidad del agua durante las 12 semanas que duró el experimento se realizaron mediciones diarias de temperatura, oxígeno disuelto (Oxímetro YSI 55®), pH (Potenciómetro Waterproof pH testr 10®) y amonio (Test Kit Ammonia API®), en tanto que el volumen de biofloc se estableció usando conos Imhoff® y manteniendo un volumen de 10-20 cm para todos los tanques (Imagen 3 y 4). Los parámetros medidos semanalmente fueron salinidad (Refractómetro vitalSine SR-6®), amonio ionizado y no ionizado, nitritos y alcalinidad (Espectrofotómetro YSI modelo 9300®). Los valores de las variables de calidad del agua se mantuvieron dentro de los límites óptimos para la especie durante todo el experimento (22) (Anexo 1).

Durante el experimento se realizaron ajustes en el manejo del agua debido a factores relacionados con retraso en el crecimiento de los peces. Durante el periodo de la semana 2 a la 5 se realizó un recambio del 10% de agua cada tercer día, de la semana 9 a la 11 se realizó un recambio de agua del 30% un día a la semana y en la semana 12 se realizó un recambio de agua del 30% dos días a la semana (Imagen 5). De la semana 6 a la 12 se utilizó un sistema de recirculación sin sistema de filtrado durante 8 horas por día (Anexo 2). En la semana 9 se realizó una disminución del 16% de la población de los peces en todos los tanques y el biofloc se retiró en la semana 12, considerando esta semana como el momento de la cosecha.

## **Alimentación**

La alimentación proporcionada durante el periodo experimental fue de alimento balanceado tipo comercial para tilapia en presentación de migaja y extruido (Winfish®) con un 35 a 45% de proteína. Los organismos recibieron del 3 al 4% de la biomasa como alimento, distribuido en 6 o 7 raciones durante el día (Anexo 3) (Imagen 6). Se recolectaron muestras de 500 g de los alimentos utilizados durante el experimento, las cuales se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de polietileno, debidamente identificadas, para constatar su aporte nutrimental. Este estudio se realizó en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. La composición química del alimento fue verificada con los métodos establecidos por la AOAC International (23). Los principios obtenidos fueron humedad, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, fibra cruda, elementos libres de nitrógeno, calcio y fósforo (Anexo 4). Los valores de los principios obtenidos estuvieron dentro de los rangos mencionados en la ficha técnica.

## **Obtención de las variables**

### **a) Peso corporal individual y biomasa en el tanque**

Semanalmente se obtuvo una muestra de 30 peces de cada tanque, los cuales fueron pesados de manera individual usando una báscula de precisión (Explorer, Ohaus®) (Imagen 7). Se obtuvo el peso promedio de cada muestra y a partir de

este peso se obtuvo la biomasa dentro de cada tanque, multiplicando el peso promedio de la muestra por el número de peces sembrados.

El peso corporal individual (PCI) se obtuvo del muestreo realizado en la semana 12 del experimento, considerándose esta semana como la última del estudio.

### **Factor de conversión alimenticia por tanque**

El factor de conversión alimenticia por tanque ( $FCA_T$ ) se calculó del inicio del experimento a la semana 9, cuando se realizó un ajuste en las densidades realizando una disminución del 16% de la población en todos los tanques. El  $FCA_T$  se obtuvo dividiendo el alimento proporcionado en el tanque durante el experimento entre el incremento de biomasa durante el mismo periodo.

$$FCA_T = \frac{\textit{Alimento proporcionado en el tanque}}{\textit{Incremento de biomasa dentro del tanque}}$$

En donde el incremento de biomasa se estimó como la diferencia entre la biomasa inicial y final por tanque.

### **Rendimiento eviscerado y rendimiento en filete**

En la semana 12 del experimento se tomó de cada tanque una muestra de 10 peces que fueron depositados en bolsas de polietileno, previamente identificadas, y posteriormente congelados a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las muestras fueron trasladadas conservando



la cadena fría al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México (DNAB-FMVZ-UNAM) para posteriormente obtener los parámetros de rendimiento eviscerado y en filete.

Los pescados fueron descongelados a temperatura ambiente y pesados individualmente usando una balanza de precisión (Explorer, Ohaus®). Para obtener el peso del pescado eviscerado, se realizó un corte en la línea media ventral, desde el opérculo anal hasta las branquias, por esta apertura se realizó el eviscerado y se pesó el organismo sin vísceras (Imagen 8). Para la obtención del peso de los filetes se realizó un corte longitudinal de craneal a caudal en la musculatura dorsal a lo largo de toda la extensión de la columna vertebral y sobre las costillas pleurales, finalizando el corte en el pedúnculo de la aleta caudal para retirar el filete, retirando con un segundo corte la piel adherida al filete y repitiendo el mismo proceso del otro lado del pescado (Imagen 9). El peso total del filete se obtuvo considerando el peso conjunto de ambos filetes. A partir de las mediciones anteriores se obtuvieron el rendimiento eviscerado (% Eviscerado) y el rendimiento en filete (% Filete) de la siguiente manera:

$$\% \textit{Eviscerado} = \frac{\textit{Peso del pescado eviscerado}}{\textit{Peso corporal individual}} 100$$

$$\% \textit{Filete} = \frac{\textit{Peso total del filete}}{\textit{Peso corporal individual}} 100$$

## Composición nutrimental del filete

Los análisis para determinar la composición nutrimental del filete se realizaron en el Laboratorio de Bromatología del DNAB-FMVZ-UNAM. Los filetes fueron congelados dentro de bolsas con cierre hermético, previamente identificadas, y luego liofilizados por 96 horas (Edwards®, Freeze dryer super modulyo) (Imagen 10). La evaluación de la composición nutrimental del filete se efectuó de 3 muestras de pescado por cada tanque. La metodología utilizada se presenta en el cuadro 1:

<b>Cuadro 1. Metodología empleada para la determinación de la composición nutrimental del filete.</b>	
<b>Determinación</b>	<b>Método</b>
Contenido de humedad (% Hum)	Deshidratación (934.01)
Contenido de materia seca (% MS)	% 100 - % Hum
Contenido de proteína cruda (% PC)	Kjeldahl (954.01)
Contenido de proteína verdadera (% PV)	Determinación de nitrógeno precipitable por sulfato de cobre en harinas de pescado
Contenido de proteína digestible (% PD)	Digestibilidad ácida <i>in vitro</i> con pepsina (971.09)
Contenido de cenizas (% Cen)	Incineración (942.05)

Modificado de Tejada, 1992 y AOAC International, 2012 (20, 23).

## Análisis estadístico

En el caso de las variables PCI, % Eviscerado, % Filete y las correspondientes a la composición nutrimental del filete (% MS, % PC, % PV, % PD y % Cen) fueron analizadas por medio del siguiente modelo:

$$y_{ijk} = \mu + D_i + T_j + e_{ijk}$$

Donde,  $y_{ijk}$  corresponde a la variable de respuesta,  $\mu$  corresponde a la media general,  $D_i$  corresponde al efecto de la  $i$ -ésima densidad de siembra (D59, D89, D117),  $T_j$  es un efecto aleatorio correspondiente al  $j$ -ésimo tanque de crecimiento, que fue incluido con la finalidad de remover las diferencias debidas al ambiente propio de cada tanque (24, 25) y  $e_{ijk}$  corresponde al error aleatorio  $(0, \sigma^2, iid)$ .

En tanto que para  $FCA_T$  se utilizó el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + D_i + e_{ij}$$

Donde,  $y_{ij}$  corresponde a  $FCA_T$ ,  $\mu$  corresponde a la media general de  $FCA_T$ ,  $D_i$  corresponde al efecto de la  $i$ -ésima densidad de siembra (D59, D89, D117) y  $e_{ij}$  corresponde al error aleatorio  $(0, \sigma^2, iid)$ .

En los casos donde se detectaron diferencias entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (26).

## RESULTADOS

Los resultados del peso corporal individual (PCI), factor de conversión alimenticia por tanque (FCA<sub>T</sub>), rendimiento eviscerado (% Eviscerado) y rendimiento en filete (% Filete) se muestran en el Cuadro 2. La densidad tuvo efecto sobre el PCI y el FCA<sub>T</sub> (P<0.05). Sin embargo, no se detectaron diferencias en % Eviscerado y % Filete entre las densidades de siembra (P>0.05).

**Cuadro 2. Parámetros productivos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Variable	Tratamiento	n	Media de mínimos cuadrados ± error estándar	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
PCI (g)	D59	120	182.57 ± 2.97 <sup>A</sup>	34.80	98.63	255.93
	D89	120	140.31 ± 2.97 <sup>B</sup>	23.80	73.34	256.87
	D117	120	115.30 ± 2.97 <sup>C</sup>	25.60	79.35	158.92
FCA <sub>T</sub>	D59	4	1.35 ± 0.10 <sup>B</sup>	0.09	1.22	1.43
	D89	4	1.51 ± 0.10 <sup>AB</sup>	0.27	1.26	1.88
	D117	4	1.74 ± 0.10 <sup>A</sup>	0.18	1.47	1.88
% Eviscerado	D59	40	88.17 ± 0.86 <sup>A</sup>	2.66	79.41	93.63
	D89	40	88.48 ± 0.86 <sup>A</sup>	3.29	74.83	93.09
	D117	39	88.04 ± 0.86 <sup>A</sup>	2.25	82.89	91.89
% Filete	D59	40	28.22 ± 1.18 <sup>A</sup>	2.89	21.75	36.98
	D89	40	28.21 ± 1.18 <sup>A</sup>	4.15	17.41	41.23
	D117	39	26.86 ± 1.18 <sup>A</sup>	2.32	21.60	31.38

n= Tamaño de muestra.

PCI (g)= Peso corporal individual en gramos, FCA<sub>T</sub>= factor de conversión alimenticia por tanque, % Eviscerado= rendimiento eviscerado y % Filete= rendimiento en filete.

D59= 59 organismos/m<sup>3</sup>, D89= 89 organismos/m<sup>3</sup>, D117= 117 organismos/m<sup>3</sup>.

\* Literales diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística (P<0.05).

Los resultados de la composición nutricional del filete de tilapia se muestran en el cuadro 3. En el presente experimento no se detectaron diferencias entre las densidades (P>0.05) en % MS, % PV y % Cen. Sin embargo, la densidad tuvo efecto sobre el % PC y % PD siendo las medias diferentes entre tratamientos (P<0.05).

**Cuadro 3. Composición nutrimental del filete de tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Variable	Tratamiento	n	Media de mínimos cuadrados $\pm$ error estándar	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
% MS	D59	12	24.6 $\pm$ 0.9 <sup>A</sup>	1.78	21.10	26.77
	D89	12	24.1 $\pm$ 0.9 <sup>A</sup>	1.56	21.94	26.51
	D117	12	25.2 $\pm$ 0.9 <sup>A</sup>	1.94	21.93	29.13
% PC	D59	12	72.2 $\pm$ 1.0 <sup>A</sup>	5.22	63.73	78.12
	D89	12	66.8 $\pm$ 1.0 <sup>B</sup>	3.40	61.97	73.27
	D117	12	68.0 $\pm$ 1.0 <sup>B</sup>	2.15	64.48	72.91
% PV	D59	12	51.3 $\pm$ 2.5 <sup>A</sup>	6.41	37.61	64.14
	D89	12	51.2 $\pm$ 2.5 <sup>A</sup>	6.37	36.91	59.60
	D117	12	54.5 $\pm$ 2.5 <sup>A</sup>	6.39	34.94	67.61
% PD	D59	12	72.0 $\pm$ 1.0 <sup>A</sup>	5.23	63.57	78.03
	D89	12	66.7 $\pm$ 1.0 <sup>B</sup>	3.40	61.89	73.19
	D117	12	67.7 $\pm$ 1.0 <sup>B</sup>	2.17	64.24	72.79
% Cen	D59	12	5.1 $\pm$ 0.2 <sup>A</sup>	0.26	4.60	5.62
	D89	12	5.1 $\pm$ 0.2 <sup>A</sup>	0.50	4.41	5.91
	D117	12	5.2 $\pm$ 0.2 <sup>A</sup>	0.23	4.73	5.75

n= Tamaño de muestra.

% MS= Contenido de materia seca, % PC= contenido de proteína cruda, % PV= contenido de proteína verdadera, % PD= contenido de proteína digestible y % Cen= contenido de cenizas.

D59= 59 organismos/m<sup>3</sup>, D89= 89 organismos/m<sup>3</sup>, D117= 117 organismos/m<sup>3</sup>.

\* Literales diferentes dentro de cada variable indican diferencia estadística (P<0.05).

Valores expresados en base seca.

## DISCUSIÓN

### Peso corporal individual (PCI)

En el presente experimento el PCI fue afectado de manera negativa por la densidad de siembra. Resultados similares donde la densidad poblacional afecta de manera negativa el peso corporal, fueron obtenidos por otros autores en experimentos realizados con tilapias en diversos sistemas de cultivo y densidades poblacionales como Mensah *et al.* (27) en hapas<sup>b</sup> con densidades de 10,000, 15,000 y 20,000 peces/10 m<sup>2</sup>, Gibtan *et al.* (28) en jaulas con densidades de 50, 100, 150 y 200 peces/m<sup>3</sup>, Diana *et al.* (29) en estanques con densidades de 3, 6 y 9 peces/m<sup>2</sup> y Yakubu *et al.* (30) en tanques con densidades de 32, 63 y 95 peces/m<sup>3</sup>. Las altas densidades de organismos por unidad de volumen de agua, disminuyen el crecimiento y eficiencia de conversión de alimento en los animales cultivados (31). El efecto de la densidad de población sobre el PCI se presenta solo bajo condiciones de cultivo y está relacionado con las interacciones sociales, ya que al haber un elevado número de organismos por unidad de volumen existe mayor consumo de oxígeno y de alimento, mayor producción de metabolitos tóxicos y menor espacio entre organismos, lo cual representa un aumento adicional a la demanda energética, afectando negativamente el crecimiento (27, 29, 32). El estrés ambiental también afecta significativamente la utilización y flujo de energía en un organismo debido a que se presenta un efecto directo sobre su metabolismo. El estrés generalmente se presenta en sistemas de cultivo, ya que los organismos están expuestos a

---

<sup>b</sup> Hapa. Especie de jaula sin marco rígido que se ubica dentro de un cuerpo de agua.

condiciones variables o francamente adversas de varios parámetros, como por ejemplo: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, metabolitos tóxicos y densidad poblacional (33, 34). El estrés provoca un aumento significativo en la demanda energética debido al incremento en el metabolismo y a las reacciones de alarma que emite el sistema nervioso al percibir un estado de estrés, causando retraso en el crecimiento e impactando en el peso corporal (27, 35).

Sin embargo, otros autores no detectaron diferencias ( $P > 0.05$ ) en sus resultados obtenidos sobre el peso corporal, como en el caso de Widanarni y Maryame (36) que probaron un sistema de cultivo en tanques con biofloc a densidades de 25, 50 y 100 peces/m<sup>3</sup> y con tilapias de ambos sexos y alimentadas a saciedad, lo que posiblemente pudo ocasionar factores de confusión dentro del experimento.

### **Factor de conversión alimenticia por tanque (FCA<sub>T</sub>)**

En el presente experimento el FCA<sub>T</sub> se incrementó al aumentar la densidad de siembra, lo cual no es deseable, puesto que implica una disminución en la eficiencia de conversión de alimento en general por parte del organismo. Esta tendencia, implica un incremento en el FCA al aumentar la densidad de población, resultados similares a los obtenidos por otros autores en experimentos realizados con tilapias evaluando diferente sistema de cultivo, peso corporal inicial y densidad poblacional, como Mensah *et al.* (27) evaluando un cultivo con hapas, peso inicial promedio de 0.01 g y densidades de 10,000, 15,000 y 20,000 peces/10 m<sup>2</sup>, Gibtan *et al.* (28) evaluando un cultivo con jaulas, peso inicial promedio de 45.76 g y densidades de

50, 100, 150 y 200 peces/m<sup>3</sup> y Yakubu *et al.* (30) evaluando un cultivo con tanques, peso inicial promedio de 1.09 g y densidades de 32, 63 y 95 peces/m<sup>3</sup>. Las altas densidades de organismos por unidad de volumen de agua disminuyen el crecimiento y la eficiencia de conversión de alimento en los peces cultivados (31). Al igual que en el caso del PCI, el efecto de la densidad de población sobre el FCA se presenta solo bajo condiciones de cultivo y está relacionado con las interacciones sociales, ya que a mayor densidad poblacional se incrementa la competencia por el alimento y espacio, lo cual también causa estrés y representa un aumento adicional a la demanda energética, afectando de forma negativa la eficiencia en la conversión de alimento por parte del organismo cultivado (27, 29, 32, 37).

En contraste a los resultados obtenidos, Diana *et al.* (29) no detectaron diferencias ( $P>0.05$ ) en sus resultados obtenidos sobre el FCA en un cultivo con tilapias en estanques, con un peso inicial de 15-19 g, densidades de 3, 6 y 9 peces/m<sup>2</sup> y alimentadas al 50% de saciedad. En cuanto a los resultados obtenidos por Diana *et al.* (29), los cuales difieren con los del presente estudio, se asume que al alimentar a 50% de saciedad y existir bajas densidades poblacionales, se disminuyeron los efectos causados por la competencia por el alimento y el espacio, lo que provocó que no se detectaran diferencias significativas en los resultados obtenidos.

**Rendimiento eviscerado (% Eviscerado) y rendimiento en filete (% Filete)**



En el presente experimento el % Eviscerado no fue afectado por la densidad de siembra. Resultados similares obtuvieron Souza *et al.* (13) al realizar un cultivo de tilapia del Nilo en estanques, con densidades de 3, 6 y 9 peces/m<sup>3</sup> y tres sistemas de aireación.

Sin embargo, Silva *et al.* (38) detectaron diferencias ( $P < 0.05$ ) para el % Eviscerado probando un sistema de cultivo en tanques con tilapia del Nilo, a densidades de 90, 120 y 150 peces/m<sup>3</sup> y dos intercambios de agua. Los mayores valores de rendimiento eviscerado de 53.1% y 53.2% los obtuvieron en la densidad de 120 y 150 peces/m<sup>3</sup> con un intercambio de agua de 30 minutos y de 53.5% en la densidad de 90 peces/m<sup>3</sup> con un intercambio de agua de 60 minutos. Estos autores señalaron que los resultados obtenidos se asocian al proceso del eviscerado y no al efecto de la densidad de población (38).

En el presente experimento no se encontraron diferencias entre densidades para el % Filete, lo cual contrasta con lo reportado por Souza *et al.* (13) que describen diferencias relacionadas con el efecto de la densidad utilizando tres densidades de población (3, 6 y 9 peces/m<sup>3</sup>) y 3 sistemas de aireación. En el caso del trabajo realizado por Silva *et al.* (38) también detectaron diferencias relacionadas con el efecto de la densidad utilizando tres densidades de población (90, 120 y 150 peces/m<sup>3</sup>) e intercambios de agua de 30 y 60 minutos. En ambos trabajos los autores atribuyen los resultados obtenidos al proceso del fileteado y no al efecto de la densidad de población (13, 38).

En el presente trabajo, no existieron diferencias estadísticas en el rendimiento eviscerado y en filete, lo cual puede indicar que la disminución del PCI, asociada con el incremento de la densidad, está relacionado con la reducción del tamaño del pez y no con la disminución de la masa muscular.

## **Composición nutrimental del filete**

### **Contenido de materia seca (% MS)**

En el presente experimento el % MS no fue afectado por la densidad de siembra. Esto contrasta con lo reportado por otros autores, en experimentos donde incluyeron el efecto de densidad de siembra. Yakubu *et al.* (30) detectaron diferencias en el % MS en un experimento realizado en tilapias con tres densidades poblacionales (158, 237 y 316 peces/m<sup>3</sup>) y utilizando dos tipos de alimento (MULTI con 32% de proteína cruda y NIOMR con 44% de proteína cruda), los autores mencionaron que las diferencias encontradas en sus resultados obtenidos se deben al alimento utilizado y no al efecto de la densidad. Abdelhamid *et al.* (39) en un experimento realizado con tilapias en el que probaron el efecto de tres densidades poblacionales (2, 3 y 4 g pez/litro) y tres niveles de inclusión de betaína en la dieta (0.0, 0.5 y 1.0%), encontrando diferencias entre las densidades en el % MS, lo cual fue atribuido al empleo de la betaína.

### **Contenido de proteína cruda (% PC)**

En el presente experimento el % PC fue afectado por la densidad de siembra. Resultados similares obtuvieron diversos autores al evaluar el efecto de la densidad

en el cultivo de tilapia. Yakubu *et al.* (30) detectaron diferencias en el % PC en un experimento realizado en tilapias con tres densidades poblacionales (158, 237 y 316 peces/m<sup>3</sup>) y utilizando dos tipos de alimento (MULTI con 32% de proteína cruda y NIOMR con 44% de proteína cruda), los autores mencionaron que las diferencias encontradas en sus resultados obtenidos podrían estar relacionadas con el alimento utilizado y no al efecto de la densidad. Abdelhamid *et al.* (39) en un experimento realizado con tilapias evaluaron el efecto de tres densidades poblacionales (2, 3 y 4 g pez/l) y tres niveles de inclusión de betaína en la dieta (0.0, 0.5 y 1.0%), encontrando diferencias entre las densidades en el % PC, estos autores mencionan que la causa de sus resultados obtenidos se debe al incremento de la suplementación de betaína en la dieta y del rango en la densidad de peces. Khattab *et al.* (40) evaluaron dos densidades de población (15 y 30 peces/100 L) y tres niveles de inclusión de proteína en la dieta (25, 35 y 45%), dichos autores mencionaron que la variación en los resultados obtenidos depende del nivel de inclusión de proteína en la dieta y de la densidad de población. Omar *et al.* (41) encontraron diferencias en el % PC al evaluar tres densidades de población (10, 30 y 40 peces/105 L) y dos niveles de inclusión de proteína en la dieta (30 y 40%), las diferencias encontradas en sus resultados se deben a la densidad de población y al nivel de inclusión de proteína en la dieta. La diferencia obtenida en el % PC del presente experimento pudo deberse a una variación en la distribución del nitrógeno no proteico (creatina, creatinina, nucleótidos, aminoácidos y amoniac) que constituye el músculo de los peces, ya que no hubo diferencia significativa en la distribución del nitrógeno proteínico o % PV (21). Posiblemente, estos resultados obtenidos estén relacionados con la actividad del pez, la cual se incrementa por

efecto de la competencia por alimento y espacio, factores asociados con la densidad de población. Cuantitativamente el principal componente del nitrógeno no proteico es la creatina y la mayor parte de ésta es fosforilada cuando el pez está sin movimiento para proporcionar energía durante la contracción muscular (21). Por lo tanto, al incrementar la densidad de población también se incrementa la competencia por el alimento y espacio, lo que genera como consecuencia un aumento en la actividad del pez y en la utilización de la creatina para proporcionar energía durante la contracción muscular.

Sin embargo, Suresh y Lin (37) no detectaron diferencias ( $P > 0.05$ ) para el % PC evaluando tres densidades de población (50, 100 y 200 peces/m<sup>3</sup>), cabe señalar que los resultados obtenidos en ese estudio fueron calculados en base húmeda.

### **Contenido de proteína verdadera (% PV)**

El % PV no fue afectado por la densidad de siembra. Cabe señalar que en la bibliografía consultada no se reportan resultados referentes a esta variable, por lo que se asume que no hay efecto de la densidad de población sobre el % PV o nitrógeno proteínico que constituye el músculo de los peces y es parte fundamental de la estructura de las proteínas.

### **Contenido de proteína digestible (% PD)**

En el presente experimento el % PD fue afectado por la densidad de siembra. En la bibliografía consultada no se encontraron estudios sobre el efecto de la densidad

de siembra sobre esta variable. Posiblemente, estos resultados obtenidos estén relacionados con la actividad del pez, la cual se incrementa por efecto de la competencia por alimento y espacio, factores asociados con la densidad de población. La digestibilidad es uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad de las proteínas debido a que no todas son digeridas, absorbidas y utilizadas en la misma medida. Las diferencias en la digestibilidad pueden deberse a factores inherentes a la naturaleza de las proteínas alimentarias (42). En el caso de los peces, las proteínas del músculo se dividen en tres grupos: estructurales (actina, miosina, tropomiosina y actomiosina), sarcoplasmáticas (mioalbúmina, globulina y enzimas) y del tejido conectivo (colágeno). El colágeno es una proteína fibrosa que suele ser insoluble en agua y además difícil de digerir; conforma las capas más rígidas que envuelven y soportan los músculos y parece probable que sirve para mejorar la resistencia mecánica del músculo contra la fuerza suministrada por la contracción muscular y para transmitir la fuerza al hueso y aleta eficazmente (21, 43, 44, 45). Resultados previos indican que cuanto mayor es el movimiento del cuerpo del pez para moverse, mayor es el contenido de colágeno en esa parte (45). Por lo tanto, al incrementar la densidad de población conlleva a una mayor competencia por el alimento y espacio, lo que genera como consecuencia un aumento en la actividad del pez y en el contenido de colágeno para mejorar la resistencia mecánica del músculo contra la fuerza suministrada por la contracción muscular.

### **Contenido de cenizas (% Cen)**

En el caso del % Cen este no fue afectado por la densidad de siembra. Lo cual concuerda con los resultados presentados por Yakubu *et al.* (30) utilizando tres densidades poblacionales (158, 237 y 316 peces/m<sup>3</sup>) y dos tipos de alimento (MULTI con 32% de proteína cruda y NIOMR con 44% de proteína cruda). Khattab *et al.* (40) utilizando dos densidades de siembra (15 y 30 peces/100 L) y tres niveles de inclusión de proteína en la dieta (25, 35 y 45%) y Suresh y Lin (37) quienes utilizaron tres densidades de población (50, 100 y 200 peces/m<sup>3</sup>), tampoco encontraron el efecto de la densidad de siembra en el % Cen.

Sin embargo, Abdelhamid *et al.* (39) encontraron efecto de la densidad sobre el % Cen en un experimento realizado con tilapias en el que probaron el efecto de tres densidades poblacionales (2, 3 y 4 g pez/litro) y tres niveles de inclusión de betaína en la dieta (0.0, 0.5 y 1.0%), lo cual fue atribuido al empleo de betaína en la dieta.

De manera general las variaciones en la composición química de la tilapia están estrechamente relacionadas con la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove (21). Sin embargo, se ha observado que factores como la composición del alimento, ambiente, tamaño del pez y rasgos genéticos, tienen un impacto en la composición y la calidad del pescado de acuicultura (46). En el caso del presente estudio, se utilizó el mismo tipo de alimento, la misma línea genética de peces, con pesos y edades homogéneas, masculinizados y sanos. Por lo que se asume que los resultados de este estudio no están explicados por los factores anteriormente mencionados, sino por el efecto de la densidad de siembra.

## CONCLUSIONES

- La densidad de siembra en un sistema cerrado con biofloc tiene efecto desfavorable, en términos productivos, sobre el peso corporal individual y el factor de conversión alimenticia por tanque.
- La densidad de siembra en un sistema cerrado con biofloc no tiene efecto sobre el rendimiento eviscerado y el rendimiento en filete.
- La densidad de siembra en un sistema cerrado con biofloc no tiene efecto sobre el contenido de materia seca, de proteína verdadera y de cenizas del filete de tilapia.
- La densidad de siembra en un sistema cerrado con biofloc tiene efecto negativo sobre el contenido de proteína cruda y de proteína digestible del filete de tilapia.
- De las densidades utilizadas en el presente estudio, la de 59 organismos/m<sup>3</sup> fue la que en general, mostró los resultados más favorables para la producción de tilapia en un sistema cerrado con biofloc.

## REFERENCIAS

1. Baltazar GPM, Palomino RAR. Manual de cultivo de tilapia. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). Lima, Perú. 2004. Pp: 35.
2. Aguilar AFA. Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* var. Chitralada) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas. Tesis de Maestría. Bogotá (D.C) Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
3. Hsien-Tsang S, Quintanilla M. Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia. Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA). El Salvador. 2008. Pp: 41.
4. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Manual de producción de tilapia. México (DF): Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, 2007.
5. Saavedra MMA. Manejo del cultivo de tilapia. USAID, Coastal Resources Center, University of Rhode Island, University of Hawaii, Hilo, CIDE. Nicaragua, 2006.
6. Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* 2007;264:140-147.
7. Rafieea G, Ross SC. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 2005;244:109-118.



8. Gall GAE, Bakar Y. Stoking density and tank size in the design of breed improvement programs for body size of tilapia. *Aquaculture* 1999;173:197-205.
9. Lorenzen K. The relationship between body weight and natural mortality in juvenile and adult fish: a comparison of natural ecosystems and aquaculture. *Journal of Fish Biology* 1996;49:627-642.
10. Azim ME, Little DC. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 2008;283:29-35.
11. Sierra JF, Martínez X, Mendoza MS. Evaluación del cultivo de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en diferentes sistemas intensivos de granjas camaroneras como alternativa productiva del sector camaronicultor colombiano. *CENIACUA* 2007; 48.
12. Rossi RGM. Crecimiento y tasa de ingestión de alimento de juveniles de cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosacea*) bajo diferentes densidades de cultivo (tesis de maestría). La Paz (Baja California Sur) México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., 2010.
13. Souza MLR, Castagnolli N, Kronka SN. Influência das densidades de estocagem e sistemas de aeração sobre o peso e características de carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757). *Acta Scientiarum* 1998;20:387-393.
14. Silva LCR, Furuya WM, Santos LD, Santos VG, Silva TSC, Pinsetta PJ. Níveis de teonina em rações para tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2006;35:1258-1264.

15. Dos Santos VB. Crescimento morfométrico e alométrico de linhagens de tilápia (*Oreochromis niloticus*). Dissertação Mestrado em Zootecnia Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2004.
16. Souza MLR. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de file e de subproductos do procesamiento da tilapia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia 2002;32:1076-1084.
17. Rutten MJM, Boovenhuis H, Komen H. Modelling fillet traits on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture 2004;231:113-122.
18. Macedo-Viegas EM, Souza MLR, do Nascimento S. Estudo da carcaça de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em quatro categorias de peso. Revista UNIMAR 1997;19:863-870.
19. Weatherley AH, Gill HS. The biology of fish growth. Academic Press. London, UK 1987; Pp: 325.
20. Tejada de HI. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal, A.C. SEP. México. 1992.
21. Huss HH. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Documento técnico de pesca 348. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Italia. 1998.
22. Marin CEJ. Efecto de la densidad de siembra en la calidad del agua y la supervivencia de la tilapia *Oreochromis sp.* en estanques de cultivo cerrados utilizando biofloc. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 2013.

23. AOAC International. Official methods of analysis of the AOAC. 19<sup>th</sup> Edition. EUA (Virginia): AOAC, 2012.
24. Van VLD. Selection index and introduction to mixed model methods. USA: CRC Press, Boca Raton, CA, 1993. pp 481.
25. Montaldo HH, Castillo JH, Campos MG, Pérez EM. Effect of the data family structure, tank replication and the statistical model, on the estimation of genetic parameters for body weight at 28 days of age in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei* Boone, 1931). *Aquaculture Research* 2012;11:1715-1723.
26. Daniel W. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. México: Limusa, 1987. pp 667.
27. Mensah ET, Attipoe FK, Ashun-Johnson M. Effect of different stocking densities on growth performance and profitability of *Oreochromis niloticus* fry reared in hapa-in-pond system. *International Journal of Fisheries and Aquaculture* 2013;5:204-209.
28. Gibtan A, Getahun A, Mengistou S. Effect of stocking density on the growth performance and yield of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758) in a cage culture system in Lake Kuriftu, Ethiopia. *Aquaculture Research* 2008;39:1450-1460.
29. Diana JS, Yi Y, Lin CK. Stocking densities and fertilization regimes for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production in ponds with supplemental feeding. In: *Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Manila, Philippines (ed. By R. Bolivar, G. Mair and K. Fitzsimmons), 2004. pp: 487-499. BFAR, Philippines.

30. Yakubu AF, Ajiboye OO, Nwogu NA, Olaji ED, Adams TE, Obule EE. Effect of stocking density on the growth performance of sex-reversed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed unhatched chicken egg diet. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 2013;5:291-295.
31. Brett JR. Environmental factors and growth. *Fish physiology*. Academic Press. N.Y. 1979;8:599-675.
32. Costas B, Aragão C, Mancera JM, Dinis MT, Conceição LEC. High stocking density induces crowding stress and affects amino acid metabolism in Senegalese sole *Solea senegalensis* (Kaup 1858) juveniles. *Aquaculture Research* 2007;39:1-9.
33. Beamish FWH, Sitja-Bobadilla A, Jebbink JA, Woo PTK. Bioenergetic cost of cryptobiosis in fish: rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* infected with *Cryptobia salmositica* and with an attenuated live vaccine. *Diseases of Aquatic Organisms* 1996;25:1-8.
34. Davis K, McEntire M. Comparison of the cortisol and glucose stress response to acute confinement among White bass, *Monrone chrysops*, striped bass, *Monrone saxatilis* and sunshine bass, *Monrone chrysops x Monrone saxatilis*. *Journal of the World Aquaculture Society* 2009;40:567-572.
35. Martínez-Porchas M, Martínez-Córdova LR, Ramos-Enríquez R. Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos. *REDVET* 2009;10:1-16.
36. Widanarni EJ, Maryame S. 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* 2012;19:73-80.

37. Suresh AV, Lin CK. Effect of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system. *Aquacultural Engineering* 1992;11:1-22.
38. Silva PC, Kronka SN, Sipaúba-Tavares LH, Souza VL. Desempenho produtivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em diferentes densidades e trocas de água em "raceway". *Acta Scientiarum* 2002;24:935-941.
39. Abdelhamid MA, Ibrahim MA, Maghraby NA, Soliman AAA. Effect of dietary supplemented of betaine and/or stocking density on performance of Nile tilapia. *Journal Agriculture Science Mansoura University* 2007;32:167-179.
40. Khattab YAE, Mohsen A, Ahmed MH. Effect of protein level and stocking density on growth performance, survival rate, feed utilization and body composition of Nile tilapia fry (*Oreochromis niloticus* L.). *Proceedings of 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Roxas Boulevard, Manila, Philippines, 2004b:264-276.*
41. Omar E, Al-Sagheer FM, Nour AM, Abou-Akkada AR. Effect of protein level and stocking density on growth performance, feed utilization and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to infection against *Aeromonas* septicemia (*Aeromonas hydrophila*). *Proceedings of the Workshop of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean (TECAM)* 1997;22:67-77.
42. Church DC, Pond WG. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Alimentos para animales. Segunda edición. México: Limusa, 1990.*

43. González GJ, Sánchez CP, Mataix VJ. Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje. Serie Salud y Nutrición. Fundación Universitaria Iberoamericana. España: Ediciones Díaz de Santos, 2006.
44. Badui DS. Química de los alimentos. Cuarta edición. México: Pearson Educación, 2006.
45. Yoshinaka R, Sato K, Anbe H, Sato M, Shimizu Y. Distribution of collagen in body muscle of fishes with different swimming modes. *Comp. Biochem. Physiol.* 1988;1:147-151.
46. Reinitz GL, Onne LE, Hitzel FN. Variations of body composition and growth among strains of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Transactions of the American Fisheries Society* 1979;108:204-207.

## ANEXOS

**Anexo 1. Estadística descriptiva de la calidad del agua de los tanques durante el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Parámetro	Densidad	Media $\pm$ E.E.	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	D59	31.78 $\pm$ 0.54	30.6	32.8
	D89	31.58 $\pm$ 0.84	29.5	32.8
	D117	31.85 $\pm$ 0.51	30.6	32.8
pH	D59	7.98 $\pm$ 0.11	7.7	8.2
	D89	7.95 $\pm$ 0.09	7.8	8.1
	D117	7.95 $\pm$ 0.10	7.7	8.1
Oxígeno disuelto (mg/L)	D59	4.99 $\pm$ 0.27	4.3	5.5
	D89	4.75 $\pm$ 0.35	4.2	5.4
	D117	4.93 $\pm$ 0.33	4.3	5.6
Amonio ionizado (mg/L)	D59	1.25 $\pm$ 0.63	0.1	2.1
	D89	0.94 $\pm$ 0.57	0.3	1.9
	D117	0.53 $\pm$ 0.41	0.1	1.2
Amonio no ionizado (mg/L)	D59	1.26 $\pm$ 0.92	0.1	2.1
	D89	1.09 $\pm$ 0.67	0.4	2.3
	D117	0.64 $\pm$ 0.53	0.1	1.5
Nitritos (mg/L)	D59	1.15 $\pm$ 0.56	0.32	1.8
	D89	1.16 $\pm$ 0.39	0.58	1.6
	D117	1.13 $\pm$ 0.72	0.14	1.95
Alcalinidad (mg/L)	D59	315.17 $\pm$ 27.53	275	350
	D89	299.16 $\pm$ 10.20	285	310
	D117	291.6 $\pm$ 11.25	275	300

E.E.= Error estándar, D59= 59 organismos/m<sup>3</sup>, D89= 89 organismos/m<sup>3</sup>, D117= 117 organismos/m<sup>3</sup>.  
Tomado y modificado de Marin, 2013 (22).

**Anexo 2. Manejo del agua de los tanques durante el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Semana (Día-Mes)	Manejo del agua	
	Recambio	Recirculación
01 (01 - 08)		
02 (07 - 08)	10% (3/7)	
03 (13 - 08)	10% (3/7)	
04 (20 - 08)	10% (3/7)	
05 (28 - 08)	10% (3/7)	
06 (03 - 09)		8/24
07 (10 - 09)		8/24
08 (17 - 09)		8/24
09 (24 - 09)	30% (1/7)	8/24
10 (30 - 10)	30% (1/7)	8/24
11 (08 - 10)	30% (1/7)	8/24
12 (15 - 10)	30% (2/7)	8/24

1/7 = Un día a la semana, 2/7 = Dos días a la semana, 3/7 = Cada tercer día, 8/24 = 8 horas por día.

**Anexo 3. Alimentación durante el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Semana (Día-Mes)	Alimentación		
	% Proteína	% Biomasa/día	Raciones/día
01 (01 - 08)	45	4	7
02 (07 - 08)	45	4	7
03 (13 - 08)	45	4	7
04 (20 - 08)	45	4	7
05 (28 - 08)	45	4	7
06 (03 - 09)	40	3	7
07 (10 - 09)	40	3.8	7
08 (17 - 09)	37	3.8	6
09 (24 - 09)	35	3.8	6
10 (30 - 10)	35	3.8	6
11 (08 - 10)	35	3.8	6
12 (15 - 10)	35	3.8	6



**Anexo 4. Composición química del alimento comercial ofrecido durante el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema cerrado con biofloc en tres densidades de siembra.**

Nutriente	Tipo de alimento		
	2.5 mm	2.5 mm	3.5 mm
MS (%)	94.58	94.62	93.39
PC (%)	37.10	36.64	32.59
EE (%)	7.34	9.60	3.48
Cen (%)	9.90	9.81	6.16
FC (%)	1.63	2.52	3.22
ELN (%)	38.61	36.05	47.93
Ca (%)	2.44	2.32	0.86
P (%)	1.17	1.07	0.77

MS= Materia Seca, PC= Proteína Cruda (N x 6.25), EE= Extracto Etéreo, Cen= Cenizas, FC= Fibra Cruda, ELN= Elementos Libres de Nitrógeno, Ca= Calcio, P= Fósforo.  
2.5 mm= Winfish® 4010 2.5 mm, 3.5 mm= Winfish® 3506 3.5 mm.

## IMÁGENES



**Imagen 1.** Organismos a la siembra utilizados en el experimento.



**Imagen 2.** Tanques con biofloc utilizados en el experimento.



**Imagen 3.** Toma de parámetros del agua (temperatura y oxígeno disuelto).



**Imagen 4.** Conos Imhoff® para medición del volumen de biofloc.



**Imagen 5.** Sistema de recambio de agua.



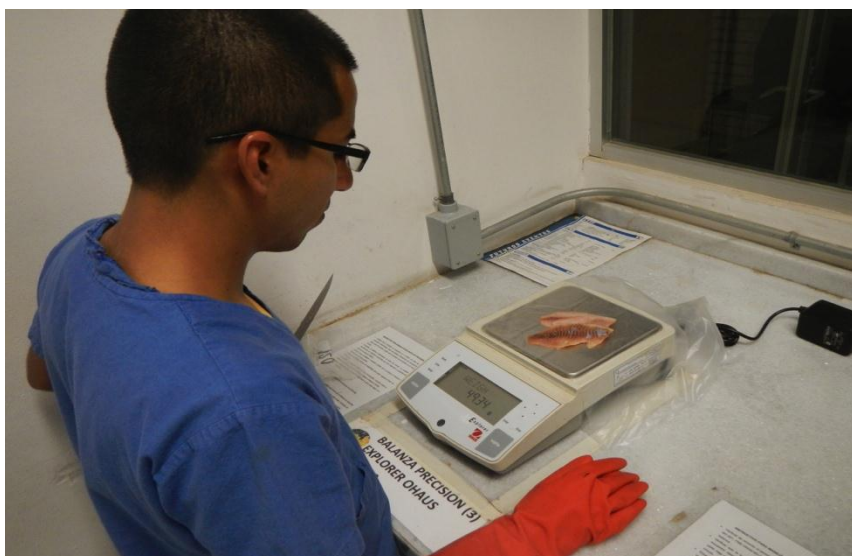
**Imagen 6.** Proceso de alimentación.



**Imagen 7.** Obtención de peso corporal utilizado para determinar la biomasa por tanque.



**Imagen 8.** Obtención del peso eviscerado.



**Imagen 9.** Obtención del peso del filete.



**Imagen 10.** Liofilización de las muestras de filete para determinar la composición nutrimental.