



Parámetros zootécnicos de tilapia roja *Oreochromis* sp con densidad diferencial y aireación constante

Zootechnical parameters of red tilapia *Oreochromis* sp with differential density and constant aeration

Jaime Dorian Parra Villa¹ , Oscar Hernán Velásquez Arboleda² , Hermes Rafael Pineda Santis^{3*} 

RESUMEN

Como contribución al adecuado manejo del agua en producciones piscícolas con enfoque sostenible, se planteó evaluar los parámetros zootécnicos de tilapia roja *Oreochromis* sp, en cuatro densidades y aireación constante bajo invernadero, en el municipio de Sopetrán (Antioquia - Colombia). 1 830 alevinos fueron utilizados durante un ciclo productivo así: Densidad 1: 182 alevinos (25 kg/m³), Densidad 2: 366 alevinos (50 kg/m³), Densidad 3: 550 alevinos (75 kg/m³) y Densidad 4: 732 alevinos (100 kg/m³). Los peces fueron observados y alimentados durante 180 días, según su fase productiva. Los datos de peso y talla fueron registrados en el aplicativo Excel[®] y procesados, para el cumplimiento de supuestos, y obtención de la estadística descriptiva y comparación entre densidades mediante la prueba de Tukey, con el programa estadístico PAST[®]. Los resultados mostraron que, el incremento de peso, talla y tasa específica de crecimiento disminuyeron con el aumento de la densidad: Densidad 1 (266,0±6,6 g, 23,8±2,7 cm, 2,50 %/día, respectivamente) y Densidad 4 (101,0±8,8g, 17,1±0,6cm, 1,97%/día, respectivamente) y 22% mortalidad (Densidad 4). Los parámetros fisicoquímicos promedio del agua, no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), nivel de oxígeno (4,7±0,6 mg/L), temperatura (27,5±1,6 °C), pH (7,5±0,1), excepto el amonio (1,45 ± 0,99 mg/L) ($p < 0,05$). Económicamente, la Densidad 1 fue la más eficiente. Se concluye que la Densidad 1 (25 kg/m³) produjo los mejores resultados productivos en recipientes plásticos, con aireación constante y bajo recambio de agua.

Palabras clave: comportamiento productivo, crecimiento en peces, mortalidad.

ABSTRACT

As a contribution to the adequate management of water in fish farming with a sustainable approach, it was proposed to evaluate the zootechnical parameters of red tilapia *Oreochromis* sp, in four densities and constant aeration under greenhouse, in the municipality of Sopetrán (Antioquia - Colombia). 1830 fingerlings were used during a productive cycle as follows: Density 1: 182 fingerlings (25 kg/m³), Density 2: 366 fingerlings (50 kg/m³), Density 3: 550 fingerlings (75 kg/m³) and Density 4: 732 fingerlings (100 kg/m³). Fish were observed and fed for 180 days, according to their productive phase. The weight and height data were registered in the Excel[®] application and processed, to fulfill the assumptions, and obtain the descriptive statistics and comparison between densities by means of the Tukey test, with the PAST[®] statistical program. The results showed that the increase in weight, height and specific growth rate decreased with increasing density: Density 1 (266.0±6.6 g, 23.8±2.7 cm, 2.50%/day, respectively) and Density 4 (101.0±8.8 g, 17.1±0.6 cm, 1.97%/day, respectively) and 22% mortality (Density 4). The average physicochemical parameters of the water did not show significant differences ($p > 0.05$), oxygen level (4.7±0.6 mg/L), temperature (27.5±1.6 °C), pH (7.5±0.1), except ammonia (1.45±0.99 mg/L) ($p < 0.05$). Economically, Density 1 was the most efficient. It is concluded that Density 1 (25 kg/m³) produced the best productive results in plastic containers, with constant aeration and low water exchange.

Keywords: productive behavior, fish growth, mortality.

¹Servicio Nacional de Aprendizaje, Santa Fé de Antioquia, Colombia

²Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Biotecnología Animal, Medellín, Colombia

³Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Sistemas Agrarios Sostenibles, Medellín, Colombia

*Autor de correspondencia. E-mail: hrpineda@elpoli.edu.co

I. INTRODUCCIÓN

En los sistemas acuícolas hay una tendencia a producir una mayor cantidad de peces/m³, haciendo uso de estanques hechos en tierra, con altos porcentajes de recambio de agua que afectan la calidad en su retorno a las fuentes naturales, luego de su uso en los centros piscícolas (MADR, 2020). Por lo anterior, es necesario considerar los bajos niveles de recambio y evitar la erosión por causa de las excavaciones, por lo que el uso de otras estructuras eficientes para contener el agua, permitiría un mejor manejo y control de su calidad para el cultivo, ofreciendo la posibilidad de superar retos como la optimización de los modelos productivos y la disminución del impacto ambiental, ofreciendo la proteína suficiente para alcanzar las metas establecidas por las Naciones Unidas con los propósitos de hambre cero en el 2030 (FAO, 2021).

Por su parte, el cambio climático representa una amenaza para el desarrollo sostenible de la acuicultura, afectando de forma gradual, la frecuencia, intensidad y localización de los efectos extremos sobre diferentes zonas de la tierra, contribuyendo así a la deficiencia hídrica y al daño en los ecosistemas acuáticos, con un consecuente aumento en la presión sobre las actividades acuícolas, de tal forma, que las consecuencias de un mal manejo, podrían aumentar los conflictos sociales y la malnutrición, arriesgando la seguridad alimentaria en los asentamientos humanos. Para atenuar estos efectos, se incluye, el uso de contenedores plásticos, como ecosistemas artificiales, para ofrecer un mayor acceso a la cobertura productiva y al manejo operativo en pequeñas parcelas.

Los entes gubernamentales, por su parte, apoyan la normalización de la actividad mediante el uso reglamentario del agua, inversión en la infraestructura, mejora de la capacidad operativa, impulso a la asociatividad de los productores y aumento de las posibilidades de educación técnica y profesional (Merino, 2018). La tilapia roja *Oreochromis* sp es un híbrido ampliamente distribuido en los países del trópico, con ventajas en su crecimiento, un amplio rango de tolerancia a parámetros fisicoquímicos del agua, con resistencia a

enfermedades y adaptación a diversos ambientes (Hussain, 2004). La producción de tilapia alcanzó las 100 960 ton en Colombia, siendo la primera especie de cultivo, y la más promisoría para el mercado tanto nacional como internacional (MADR, 2020). Por lo que se plantea evaluar el efecto de la densidad de un sistema de producción de tilapia roja *Oreochromis* sp, utilizando recipientes plásticos circulares con aireación permanente, con mínimos recambios de agua como estrategia de producción en pequeñas áreas.

II. MATERIALES Y MÉTODO

Este estudio se realizó en la Institución Educativa Escuela Normal Superior Santa Teresita en el municipio de Sopetrán (Antioquia – Colombia), con ubicación de 6° 30' 0.8" N y 75° 44' 56,6" W, en la zona de vida bosque seco Tropical (bs-T) (Holdridge, 1982), a 725 m.s.n.m., una temperatura ambiente promedio de 28 °C, y una precipitación media anual de 1400 mm. El agua fue obtenida de la quebrada la Sopetrana (Antioquia - Colombia), la cual posee los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura 28 °C, oxígeno 8 mg/L, pH 6,8, amonio 0,03 mg/L.

Se establecieron cuatro densidades, en cuatro recipientes plásticos redondos de poli-etileno de alta densidad (PEAD), con diámetro superior de 2,50 m, diámetro inferior de 1,15 m y una altura de 0,70 m, con una capacidad de 2000 L (2 m³) cada uno. Asimismo, fueron lavados y desinfectados con una solución de cloro al 0,2% antes de ser llenados con agua de la fuente natural y examinados para que no se presentaran fugas de agua. Se dejó una separación de un metro entre cada uno de ellos, y se mantuvo un recambio de 30% del agua contenida, cada tres días durante la fase de prelevante y levante y de 10% diario en la fase de engorde. Se utilizaron 1 830 alevinos, hormonalmente reversados, de tilapia roja *Oreochromis* sp, incluido un 10% de mortalidad, provenientes del Centro Experimental Piscícola del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, ubicado en el municipio de San Jerónimo (Antioquia - Colombia). Los cuales fueron sembrados con un peso inicial promedio de 3 g, a diferentes densidades,

considerando un peso final de 300 g, en promedio. Para lo anterior, se utilizaron capacidades de carga final de: Densidad 1 ($25 \text{ kg/m}^3 = 182$ animales), Densidad 2 ($50 \text{ kg/m}^3 = 366$ animales), Densidad 3 ($75 \text{ kg/m}^3 = 550$ animales) y Densidad 4 ($100 \text{ kg/m}^3 = 732$ animales).

La aireación para el volumen de agua para cada densidad se realizó mediante una manguera poli difusora de $20 \mu\text{m}$ de flujo y un tamaño de burbuja de 3 mm. El oxígeno atmosférico suministrado a las mangueras fue capturado por dos compresores (*blower*®) alternados, uno en función y otro en reserva, con un motor de 1,5 HP (Horse Power) cada uno, disponible para su uso constante (24 horas), durante el tiempo de producción. Todos los peces fueron tratados con sal de mar ($1,0 \text{ g/L}$) antes de ser sembrados como manejo preventivo para reducir la posibilidad de infecciones por bacterias, hongos y otros contaminantes.

Los peces fueron alimentados diariamente, suministrando las raciones/día, según la biomasa, con un concentrado comercial peletizado de 40%, 35%, 30% y 25% de proteína, según requerimiento nutricional de los peces, de acuerdo con la fase de desarrollo durante los 180 días de producción (Nicovita, 2002). El crecimiento de los peces se evaluó cada 15 días, con muestreos de peso a 50 animales/tratamiento, utilizando una balanza electrónica con capacidad para 25 kg.

Con los datos obtenidos se calculó la ganancia de peso, la talla y la tasa específica de crecimiento. Asimismo, se estableció la correlación lineal de Pearson y la regresión lineal simple. En la cosecha, se conoció el número final de animales para establecer el porcentaje de mortalidad y la cantidad de alimento suministrado para calcular la conversión alimenticia de los animales en cada densidad. Los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, oxígeno disuelto, pH y amonio) fueron medidos dos veces al día, cada tres días, utilizando el kit de análisis de agua Hach FF1A®.

Los parámetros productivos se definieron bajo las siguientes fórmulas:

- Porcentaje de mortalidad = $(\text{Número animales muertos} / \text{Número total animales sembrados}) * 100$
- Incremento de peso (g) = $\text{Peso final} - \text{Peso inicial}$

- Incremento en talla (cm) = $\text{Talla final} - \text{Talla inicial}$
- Tasa específica de crecimiento (%/día) = $[(\text{Ln Peso final} - \text{Ln Peso inicial}) / \text{días}] * 100$
- Conversión alimenticia = $\text{Cantidad de alimento consumido (kg)} / \text{Ganancia de Peso (kg)}$.
- Correlación lineal de Pearson (r) (Peso Talla) definida en la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Donde:

x: variable número 1

y: variable número 2

Z_x : desviación estándar de la variable 1

Z_y : desviación estándar de la variable 2

N: número de datos

Las variables peso (g) y tiempo (días) fueron seleccionadas para aplicar un modelo de regresión lineal simple y conocer el tiempo en que los animales alcanzarían 300 g.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \chi + \epsilon$$

Donde

Y = variable dependiente

β_0 = intercepto

β_1 = pendiente

χ = variable independiente

ϵ = error experimental

El ensayo se inició con animales de la misma edad y un peso promedio de 3 g, distribuidos al zar, en las cuatro densidades de siembra. Los datos fueron verificados para el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk) con un nivel de significancia de $p < 0,05$. En los casos que no se cumplió la normalidad y homogeneidad de varianza, se aplicó el análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis, estableciendo las diferencias entre las densidades con la prueba de Comparación Múltiple de Wilcoxon. En el caso de cumplimiento del supuesto de

normalidad, se estableció la diferencia de medias mediante la Prueba de Tukey. Asimismo, se obtuvo la correlación lineal de Pearson y la regresión lineal simple. Todos los datos fueron registrados y graficados en el aplicativo de Excel[®] y procesados mediante el paquete estadístico PAST[®].

III. RESULTADOS

El incremento en peso, talla y la tasa específica de crecimiento, presentaron valores inversos como respuesta al aumento de la densidad, esto es, un lento crecimiento general en los peces y poco aumento de la biomasa (Figura 1), pasando de 266,0±6,6 g, 23,8±2,7 cm

y 2,5%/día (Densidad 1) a 101,0±8,8 g, 17,1±0,6 cm y 1,97%/día (Densidad 4), respectivamente (Tabla 1).

La relación Peso Talla tuvo correlaciones significativas ($p < 0,05$) y acordes con lo esperado según la densidad (Tabla 1). El menor porcentaje de mortalidad se observó en la Densidad 1 (2,1%), y un mayor valor en la Densidad 4 (22,0%). La alta densidad tuvo como consecuencia, que los peces sembrados en la Densidad 1, estuvieran más cerca de alcanzar el peso de cosecha (300 g) en 180 días (6 meses), mientras que los demás peces en las otras densidades, requerirían un mayor tiempo, hasta 14 meses (Densidad 4), para alcanzar el mismo peso promedio final (Tabla 1).

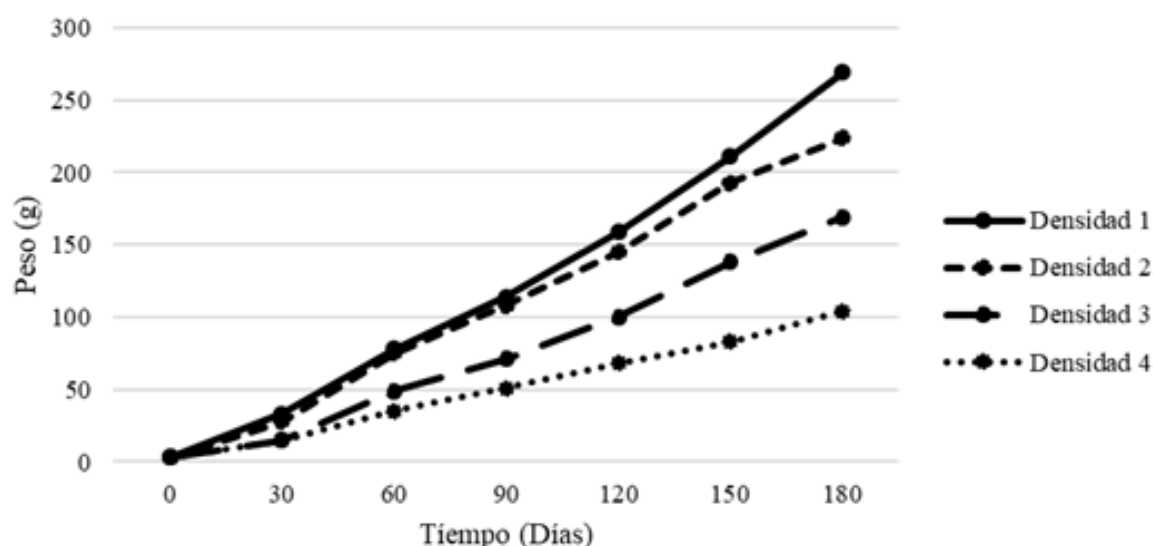


Figura 1. Curva de peso promedio para tilapia roja *Oreochromis* sp. en cuatro densidades.

Tabla 1. Parámetros zootécnicos de tilapia roja *Oreochromis* sp. en cuatro densidades.

Parámetros zootécnicos	Densidad 1 (25 kg/m ³)	Densidad 2 (50 kg/m ³)	Densidad 3 (75 kg/m ³)	Densidad 4 (100 kg/m ³)
Incremento en peso (g)	266±6,6	221±3,1	159±4,2	101±8,8
Incremento en talla (cm)	23,8±2,7	20,7±0,6	20,0±0,8	17,1±0,6
Correlación Lineal Pearson (r)	0,7***	0,6*	0,8***	0,6***
Tasa específica de crecimiento (%/día)	2,50	2,40	2,22	1,97
Porcentaje de mortalidad (%)	2,1	7,1	20,7	22,0
Tiempo estimado para 300 g (Meses)	6	9	10	14
Conversión alimenticia	1,9	2,3	2,5	2,8

Nivel de significancia: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Para el factor de conversión alimenticia, se utilizaron 586 kg de alimento balanceado, de diferentes porcentajes de proteína, durante los 180 días, cosechando 251 kg de pescado, obteniendo un mayor valor en la Densidad 4 (2,8), y menor en la Densidad 1 (1,9) (Tabla 1).

El seguimiento a los parámetros fisicoquímicos del agua, permitieron considerar variables de importancia para el cultivo, tales como, el nivel de oxígeno disuelto en el agua, el cual presentó el mayor valor en la Densidad 3 (5,0±0,9 mg/L), y menor en la Densidad 1

(4,5±0,4 mg/L), durante toda la ejecución, el promedio fue de 4,7±0,6 mg/L, mientras que la temperatura del agua registró el mayor valor en la Densidad 3 (28,0±0,5°C), y el menor en la Densidad 4 (27,6±0,6 °C), con un valor promedio de 27,8±0,4 °C. En este trabajo el pH del agua permaneció constante en todas las densidades (7,5) (Tabla 2). Dentro de los compues-

tos nitrogenados, el amonio presentó valores en ascenso al aumentar la densidad, pero no llegó a niveles nocivos. El menor valor observado fue para la Densidad 1 (0,90±0,90 mg/L), y el mayor fue la Densidad 4 (1,87±1,34 mg/L), con diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del agua en cuatro densidades para el cultivo de tilapia roja *Oreochromis* sp.

Parámetros	Densidad 1 ($\bar{X} \pm DE$)	Densidad 2 ($\bar{X} \pm DE$)	Densidad 3 ($\bar{X} \pm DE$)	Densidad 4 ($\bar{X} \pm DE$)
Nivel oxígeno (mg/L)	4,5±0,4 ^a	4,8±0,4 ^a	5,0±0,9 ^a	4,6±0,7 ^a
Temperatura (°C)	27,8±0,3 ^a	27,8±0,2 ^a	28,0±0,5 ^a	27,6±0,6 ^a
pH	7,50±0,13 ^a	7,50±0,10 ^a	7,50±0,13 ^a	7,50±0,10 ^a
Amonio (mg/L)	0,90±0,90 ^a	1,15±0,98 ^a	1,68±1,3 ^b	1,87±0,68 ^b

Valores con letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Se hizo la evaluación económica, de punto de equilibrio, para las cuatro densidades de siembra, siguiendo el concepto de Hargadon y Múnera (1996), donde el punto de equilibrio determina el volumen de venta necesario para cubrir los costos fijos e iniciar la generación de utilidad, esto es quedar en equilibrio con una utilidad igual a cero.

La producción para un modelo proyectado de 75 tanques como referente de la escala, que puede operar un trabajador en una planta, calculado en dólares americanos y que demandan unos costos fijos de US\$847,06, requiere en Densidad 1 US\$0,93, Densidad 2 US\$1,28, Densidad 3 US\$1,71 y Densidad 4 US\$2,67, para producir en kg/mes (Tabla 3).

Tabla 3. Punto de equilibrio para las cuatro densidades de siembra de tilapia roja *Oreochromis* sp.

	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 3	Densidad 4
Tanques requeridos	75	75	75	75
Precio de venta (US\$)	2,08	2,08	2,08	2,08
Costos variables (US\$)	0,71	0,75	0,83	0,97
Margen de contribución Unitario (US\$)	1,36	1,32	1,24	1,11
Punto de Equilibrio (kg/mes)	0,93	1,28	1,71	2,67

Precio de dólar americano (US\$ ≈ 4000 COP)

IV. DISCUSIÓN

Las cuatro densidades de siembra establecieron las condiciones óptimas para el cultivo de peces en un sistema productivo, con aireación constante, y control de los parámetros fisicoquímicos del agua, independiente de las condiciones ambientales, con un porcentaje reducido del recambio de agua.

En este trabajo se observó que, a mayor densidad, hubo un menor peso de los animales y aumento del amonio en la calidad del agua, situación que se corrigió con el recambio de agua sin afectación grave para los peces. Las densidades deben ser calculadas según el número más apropiado para cada ambiente de culti-

vo (Hussain, 2004; Meyer, 2004). Por lo tanto, considerando esa premisa, se han realizado trabajos que apuntaron a un buen manejo en sistemas de cultivo en estanques en tierra (Baltazar y Palomino, 2004; Kubitzka, 2009), cemento (Yuan *et al.*, 2010; Widanarni *et al.*, 2012), estructuras en fibra de vidrio (El-Sayed, 2002; Forestieri, 2013) y jaulas (Fraga *et al.*, 2012; García *et al.*, 2013; Melaku *et al.*, 2018), sugiriendo que un correcto número de animales mejora la productividad. Njieassam (2016) reportó un crecimiento constante con pez gato *Clarias gariepinus* en estanques plásticos, con buenos niveles de calidad del agua. La menor densidad de animales, registró el mejor

promedio en peso y talla, respecto a las mayores densidades. Lo anterior, se atribuye a la disponibilidad de más espacio y calidad del agua. Contrario a los animales en la Densidad 4, los cuales presentaron un mayor estrés en el cultivo, aumentando la mortalidad y amonio en el agua. Asimismo, algunos autores sugirieron que la alta densidad en peces interrumpe el comportamiento reproductivo y no permite el crecimiento satisfactorio a causa de los desequilibrios fisiológicos (Conte, 2005; DeLong *et al.*, 2009; Aly *et al.*, 2008).

La capacidad de carga apropiada observada fue de 20 kg/m³, con animales que alcanzaron un peso promedio en canal de 250 g (presentación en bandeja de cuatro animales por kg). Ciertamente, una estrategia eficiente fue mantener la biomasa cerca de la capacidad de carga y optimizar el ingreso del alimento concentrado, que proporcionó un incremento en peso y talla, mejor tasa de crecimiento, menor porcentaje de mortalidad y conversión alimenticia conveniente. El efecto de la densidad sobre el crecimiento fue muy marcado, retrasando la ganancia en peso en las cargas productivas, a medida que transcurrió el tiempo para la cosecha. Una consideración aparte merece el gasto energético por consumo de energía del compresor, el cual puede ser reducido mediante el uso de energías alternativas como paneles solares o generadores de energía eólica (García, 2017). El cultivo bajo invernadero, permitió la producción durante todo el año y es una alternativa sobre los estanques en tierra (DeLong *et al.*, 2009).

Respecto al porcentaje de mortalidad, aumentó en la medida que subió la densidad y el estrés, como también el amonio en el agua, lo cual es consecuente con los factores que influyen en el desempeño del crecimiento, tales como, calidad de agua, régimen de alimentación, estrés, calidad del alimento, biomasa y densidades de siembra (Ornelas-Luna *et al.*, 2017). El estrés influye sobre los cambios fisiológicos de los organismos, que crean catecolaminas en plasma, corticosteroides y eleva la concentración de glucosa. Además de cambios etológicos mostrando agresividad y nado errático; si estos cuadros de estrés son muy prolongados o muy frecuentes, se amenaza la superviven-

cia de los organismos en cultivo (Jianyu *et al.*, 2006; Qiang *et al.*, 2016). Como consecuencia de lo anterior, el tiempo para el crecimiento general de los peces para alcanzar el peso comercial de 300 g, aumentó en más de dos veces, arrastrando gastos adicionales y reducción de la rentabilidad.

El factor de conversión alimenticia fue muy elevado y se encontró por fuera del rango promedio para el cultivo de tilapia roja *Oreochromis* sp, para la Densidad 4, siendo lo recomendable entre 1,2 y 1,5 (Nicovita, 2002; Hsien-Tsang y Quintanilla, 2008). Una de las causas más probable es el estrés causado por la alta densidad, imposibilitando el consumo de todo el alimento ofrecido, generando, en algunos casos, altas mortalidades (Pineda, 2012) como las registradas en la Densidad 4. Los peces en la fase de engorde presentan mayores conversiones alimenticias que los pequeños, durante el proceso productivo, ocasionados por algún estresor o tensión fisiológica en el cultivo (Meyer, 2004).

Los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como, los niveles de oxígeno, temperatura y pH en este ensayo estuvieron dentro del rango óptimo para el cultivo (Saavedra, 2006; Vidal-Martínez *et al.*, 2017). Las tilapias toleran amplios rangos por lo que se ha convertido en uno de los peces de mayor interés comercial en muchos países tropicales y subtropicales con aguas cálidas, permitiendo un manejo con bajos niveles de oxígeno, en corta exposición en el agua hasta 1 mg/L y máxima hasta 10 mg/L (Balbuena *et al.*, 2011), en algunos casos, hasta la sobresaturación, ocasionando la enfermedad de la burbuja (Rodríguez y Anzola, 2001; Nicovita, 2002). Respecto a la temperatura, el crecimiento, las enfermedades o la muerte se producen, cuando están por debajo de los 17 °C, pero el crecimiento es superior, hasta en tres veces, si los animales son alimentados a saciedad en temperaturas entre 29 y 31 °C, que si fueran alimentados a 20-22 °C (Balbuena *et al.*, 2011). Es necesario resaltar que si la temperatura excede los 37-38 °C, en consecuencia, se reduce la solubilidad del oxígeno y se aumenta la frecuencia cardiaca en los peces (Dan-Kishiya *et al.*, 2016).

Con relación al pH, en el cultivo fue neutro, lo cual no

afectó el crecimiento. El valor de referencia óptimo para el cultivo oscila entre 6,5 a 8,5 (Saavedra, 2006). El crecimiento se reduce en aguas ácidas y es letal con un $\text{pH} \leq 4,0$, debido a la irritación de las branquias hasta la destrucción histológica del epitelio (Rodríguez y Anzola, 2001). Por el contrario, un valor $\geq 11,0$, afecta el cristalino y la córnea hasta la ceguera (Blanco Cachafeiro, 1984). El manejo tanto alimentario como sanitario fueron realizados acorde a lo establecido en las Buenas Prácticas de Producción Acuícola.

En líneas generales, los valores de amonio para el cultivo de tilapia estuvieron dentro de los rangos óptimos (rango 0,6-2,0 mg/L) (Rodríguez y Anzola, 2001; Nicovita, 2002), con una tendencia a subir, en la medida que aumentó la densidad. Lo anterior es normal, si se considera que, al mayor número de animales, producen cantidades superiores de heces, y hay un mayor suministro de alimento comercial. La exposición continua de las tilapias a concentraciones de amonio por encima del valor máximo, puede resultar en mortalidad total de los peces en pocos días, por lo cual se debe controlar la oferta de alimento, realizar el intercambio de agua de forma más frecuente, y conservar el pH estable. En el presente trabajo, el manejo del recambio de agua en un porcentaje bajo diario, permitió mantener los niveles de amonio dentro de los límites adecuados para su control.

Económicamente, la propuesta es más eficiente en la Densidad 1, dado que, con apenas 3 734 kg, se pueden cubrir los costos fijos y a partir de allí se puede iniciar la generación de rentabilidad, siendo el modelo más eficiente en comparación con las otras tres densidades.

V. CONCLUSIONES

La Densidad 1 presentó los mejores parámetros de incremento en peso y talla, tasa específica de crecimiento, porcentaje de mortalidad, conversión alimenticia y tiempo esperado. Contrario a lo registrado en la Densidad 4, donde hubo un menor crecimiento, aumento del porcentaje de mortalidad y de los niveles de amonio en la calidad del agua. Económicamente, una menor densidad de siembra en el volumen evalua-

do, hace más eficiente la producción.

Los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como temperatura, oxígeno disuelto y pH estuvieron dentro de los márgenes óptimos para la tilapia roja *Oreochromis* sp, en las etapas de cultivo en las cuatro densidades con aireación permanente.

VI. AGRADECIMIENTOS

A las directivas de la Institución Educativa Escuela Normal Superior Santa Teresita en el municipio de Sopetrán (Antioquia – Colombia), por permitir las instalaciones y el recurso humano disponible para la ejecución de la propuesta. Así mismo al Servicio Nacional de Aprendizaje Zona Occidente, por la disponibilidad durante la ejecución de la propuesta. A las incontables personas que aportaron su esfuerzo, tiempo y entusiasmo para la culminación de esta propuesta.

VII. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VIII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses. Además, declaran su participación y conocimiento en la elaboración de este artículo

IX. APROBACIÓN ÉTICA

Todos los animales tuvieron un manejo de campo sujetos a las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), considerando las normas ambientales vigentes, relacionadas con el cuidado sanitario, correcta alimentación y manipulación en los animales para la disminución del estrés. Aspectos avalados por el Comité *Pro Tempore* del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

X. INFORMACIÓN DE FINANCIAMIENTO

La financiación de la propuesta fue aprobada por las tres instituciones participantes: Servicio Nacional de

Aprendizaje (SENA), Zona Occidente Antioquia, Santafé de Antioquia (Colombia), Institución Educativa Escuela Normal Superior Santa Teresita, Sopetrán (Antioquia – Colombia) y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Sistemas Agrarios Sostenibles. Línea en Recursos Hidrobiológicos y Conservación Íctica. Medellín (Colombia)

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aly, S. M., M. F. Mohamed, y G. John. 2008. “Effect of probiotics on the survival, growth and challenge infection in Tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*)”. *Aquaculture research* 39 (6): 647-656.
- Balbuena, E., V. Rios, A. Flores, J. Meza, y A. Galeano. 2011. *Manual para extensionista en acuicultura*. Lima (Perú). FAO.
- Baltazar, P. y A. Palomino. 2004. *Manual de cultivo de tilapia: programa de transferencia de tecnología en acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas*. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. Madrid (España).
- Blanco Cachafeiro, C. 1984. *La trucha: cría industrial*. Madrid. (España): Ed. Mundi Prensa.
- Conte, F. S. 2005. “Stress and the welfare of cultured fish”. *Applied Animal Behaviour Science* 86 (3-4):205-223.
- Dan-Kishiya, A. S., J. R. Solomon, U. Alhaji, y H. S. Dan-Kishiya. 2016. “Influence of temperature on the respiratory rate of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in the laboratory”. *Cuadernos de Investigación UNED* 8 (1):24-28.
- DeLong, D. P., T. Losordo, y J. Rakocy. 2009. “Tank culture of tilapia”. *Southern Regional Aquaculture Center*. (282).
- El-Sayed, A. F. M. 2002. “Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry”. *Aquaculture Research* 33: 621-626.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. “Doce puntos de verificación para la vigilancia de enfermedades en organismos acuáticos: Una nueva aproximación para asistir equipos multidisciplinarios en países en desarrollo”. Bogotá (Colombia): FAO.
- Forestieri, D. 2013. “Comparación de la sobrevivencia y ganancia de peso de los alevines de tilapia roja *Oreochromis* sp sembrados a 1000, 3000 y 5000 animales/m³ de agua durante 30 días”. Tesis de Grado. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano (Honduras).
- Fraga, I., E. Flores, R. Reyes, y Y. Llanes. 2012. “Efecto de diferentes densidades de siembra en el engorde de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. aureus*) en jaulas colocadas en la bahía de Casilda, Cuba”. *Revista Investigaciones Marinas* 32 (1): 16-23.
- García, D. 2017. “Uso de energías renovables en la acuicultura: boletín de vigilancia tecnológica”. Lima (Perú): Dirección de investigación, innovación, desarrollo y transferencia tecnológica. Ministerio de la Producción.
- García, F., D. Romera, K. Gozi, E. Onaka, F. Fonseca, S. Schalch, P. Candeira, L. Guerra, F. Carmo, D. Carneiro, M. Martins, y M. Portella. 2013. “Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir”. *Aquaculture* 410: 51-56.
- Hargadon, B. J. y A. Múnera. 1996. *Principios de contabilidad*. Bogotá (Colombia): Ed. Norma.
- Holdridge, L. 1982. *Ecología basada en zonas de vida*. San José (Costa Rica): Ed. IICA.
- Hsien-Tsang, S. y M. Quintanilla. 2008. *Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia*. San Salvador (El Salvador).
- Hussain, M.G. 2004. “Farming of tilapia: breeding plans, mass seed production and aquaculture techniques”. Bangladesh (India): Bangladesh Fisheries Research Institute.

- Jianyu, X., L. Ying, C. Shaoron, y M. Xiangwen. 2006. "Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision". *Aquacultural Engineering* 35 (3): 207-217.
- Kubitza, F. 2009. *Producción de tilapias en estanques excavados en tierra: estrategias avanzadas en manejo*. Rio de Janeiro (Brasil): Panorama da Aqüicultura.
- Melaku, S., T. Abate, T. Eshete, T. Tadesse, y P. Natara-jan. 2018. "Effects of brood stock density and hapa net material on the reproduction of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L. 1758) fry at Shoa Robit integrated development project site, Ethiopia". *International Journal of Fish and Aquaculture Studies* 6 (5): 296-300.
- Merino, C. 2018. *Acuicultura en Colombia*. Bogotá (Colombia): Dirección Técnica de Administración y Fomento. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Meyer, D. 2004. *Introducción a la acuicultura*. Zamorano (Honduras): Escuela Agrícola Panamericana.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. *Cadena de la acuicultura*. Bogotá (Colombia): Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas.
- Nicovita. 2002. *Manual de Crianza Tilapia*. Lima (Perú): Alicorp.
- Njieassam, E. S. 2016. "Evaluating water quality parameters for tank aquaculture of cat fish in Cameroon". *Journal Ecosystem Echography* 6 (3): 1-5.
- Ornelas-Luna, R., B. Aguilar-Palomino, A. Hernández-Díaz, J. Hinojosa-Larios, y D. Godínez-Siardia. 2017. "Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia". *Acta Universitaria* 27 (5): 19-25.
- Pineda, M. 2012. *Guía práctica: cultivo de tilapia*. Lima (Perú): Ed. Carlos Córdova.
- Qiang, J., J. He, H. Yang, P. Xu, H-M. Habte-Tsion, X. Y. Ma, y Z. X. Zhu. 2016. "The changes in cortisol and expression of immune genes of GIFT tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) at different rearing densities under *Streptococcus iniae* infection". *Aquaculture International* 24 (5): 1365-1378.
- Rodríguez, H. y E. Anzola. 2001. "La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura". En. *Fundamentos en acuicultura continental*. H. Rodríguez, P. Daza, M. Carrillo (Eds). Bogotá (Colombia): Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Saavedra, M. A. 2006. *Manejo del cultivo de tilapia*. Hawaii (EEUU): USAID, Coastal Resources Center, University of Hawaii Hilo, CEDEA.
- Vidal-Martínez, V. M., M. A. Olvera-Novoa, V. Morales, F. Cuéllar-Anjel, A. Riofrío, R. Morales, O. Chávez, L. García, L. Montoya y P. Barato. 2017. *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para la Piscicultura en Agua Dulce*. El Salvador (El Salvador): OSPESCA
- Widanarni, J. Ekasari y S. Maryam. 2012. "Evaluation on biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis* sp cultured at different stocking densities". *Hayati Journal Bioscience* 19 (2): 73-80.
- Yuan, D., Y. Yi, A. Yacupitiyage, K. Fitzimmons y J. Diana. 2010. "Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis* sp) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks". *Aquaculture* 298 (3): 226-238.