

Evaluación de diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques artesanales de agua dulce en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador

Coreas-Madrid, A.S.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Tesista.

Gutiérrez-Salguero, J.E.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Tesista.

Rodríguez-Urrutia, E.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente director.

Flores-Tensos, J.M.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Docente director.

RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador, en el periodo de octubre 2019 a febrero 2020. El objetivo fue evaluar diferentes densidades de siembra de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un estanque artesanal, que fue dividido en dos módulos y estos subdivididos en dos jaulas de 2.5 metros de ancho, 3 m de largo y 1.15 m de altura para distribuir los tratamientos. El estudio se realizó bajo el diseño completo al azar; los tratamientos fueron: testigo o tratamiento 0 (T0) en el cual se sembraron 5 tilapias/m³ y se colocaron en total 38 alevines, tratamiento 1 se sembraron 10 tilapias/m³, se colocaron 75 alevines, tratamiento 2 se sembraron 15 tilapias/m³ y se colocaron 113 alevines y tratamiento 3 se sembraron 20 tilapias/m³, colocando 150 alevines en total. Cada tratamiento tenía 5 repeticiones. Los parámetros que se midieron fueron: peso y tamaño o talla de las tilapias. El intervalo de muestreo fue cada 14 días. Los parámetros físicos (pH, temperatura, alcalinidad, dureza, turbidez, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) y químicos (arsénico, hierro, plomo, cobre y zinc) se analizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, y los análisis microbiológicos se realizaron en el Laboratorio de Control de Calidad Microbiológico de Alimentos, Medicamentos y Aguas del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador. El mejor peso promedio de los peces se obtuvo con una densidad de 5 tilapias/m³ (testigo o tratamiento 0) con 1,206 g (2.66 libras); el mayor crecimiento o talla promedio de los peces se obtuvo con las densidades de 5, 10 y 20 tilapias/m³ (testigo o tratamiento 0, tratamiento 1 y tratamiento 3, respectivamente) con 18 cm y el tratamiento 2 obtuvo menor crecimiento con 17 cm. Los resultados para análisis físicos: salinidad (1%), OD (12.29 mg/l), STD (129.50 mg/l), conductividad E (292.33 µs/cm), pH (7.70), temperatura 30.73° C, turbidez (35 cm); metales pesados: arsénico (0.7861 ppm), cobre (< 0.05 ppm), plomo (4.2312 ppm), zinc (0.8928 ppm), hierro (< 0.20 ppm). El análisis físico-químico demostró que el agua utilizada en la investigación era apta para la producción de tilapia.

ABSTRACT

The research was carried out at the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located in the Tecualuya canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, in El Salvador, in the period of October 2019 to February 2020. The objective was to evaluate different stocking densities of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in an artisanal pond, which was divided into two modules and these were subdivided into two cages of 2.5 meters wide, 3 m long and 1.15 m high, to distribute the treatments. The study was carried out under a randomized complete design; The treatments were: control or treatment 0 (T0) in which 5 tilapia/m³ were sown and 38 fingerlings were placed in total; Treatment 1, 10 tilapia/m³ were sown, 75 fingerlings were placed; Treatment 2, 15 tilapia/m³ were sown and 113 fingerlings were placed; and treatment 3, 20 tilapia/m³ were planted, placing 150 fingerlings in total. Each treatment had 5 repetitions. The parameters that were measured were: weight and size or height of the tilapia. The sampling interval was every 14 days. The physical parameters (pH, temperature, alkalinity, hardness, turbidity, total dissolved solids, dissolved oxygen and electrical conductivity) and chemical parameters (arsenic, iron, lead, copper and zinc) were analyzed in the Laboratory of Agricultural Chemistry of the Faculty of Sciences. Agronomics of the University of El Salvador, and the microbiological analyzes were carried out in the Laboratory of Microbiological Quality Control of Food, Drugs and Water of the Center for Research and Development in Health (CENSALUD) of the University of El Salvador. The best average weight of the fish was obtained with a density of 5 tilapia/m³ (control or treatment 0) with 1,206 g (2.66 pounds); the highest growth or average size of the fish was obtained with the densities of 5, 10 and 20 tilapia/m³ (control or treatment 0, treatment 1 and treatment 3, respectively) with 18 cm and treatment 2 obtained less growth with 17 cm. The results for physical analysis: salinity (1%), OD (12.29 mg/l), STD (129.50 mg/l), conductivity E (292.33 µs/cm), pH (7.70), temperature 30.73 °C, turbidity (35 cm); heavy metals: arsenic (0.7861 ppm), copper (<0.05 ppm), lead (4.2312 ppm), zinc (0.8928 ppm), iron (<0.20 ppm). The physical-chemical analysis showed that the water used in the research was suitable for tilapia production.

Keywords: tilapia, *Oreochromis niloticus*, water, artisanal pond, fingerlings, stocking density, El Salvador

DOI:10.5281/zenodo.10602311

**ACCESO ABIERTO**

Título en inglés:

Evaluation of different stocking densities of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in artisanal freshwater ponds in San Luis Talpa, La Paz, El Salvador

Correspondencia:

efrain.rodriguez@ues.edu.sv

Presentado:

16 de diciembre de 2021

Aceptado:

19 de marzo de 2022



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Palabras clave: tilapia, *Oreochromis niloticus*, agua, estanque artesanal, alevines, densidad de siembra, El Salvador

INTRODUCCIÓN

La tilapia es un pez de aguas tropicales introducido en El Salvador a comienzos de los años setenta. En comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades; además de contar con algunos atributos para el mercado como carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial (CENDEPESCA y Misión Técnica Taiwán 2013).

En El Salvador, el cultivo de peces, como la tilapia, ha cobrado interés durante los últimos años, ya que representa una alternativa para aprovechar el recurso acuático y producir pescado de atractivo valor comercial. La demanda de carne de tilapia está aumentando y se perfila una perspectiva interesante: la aplicación de una mejor tecnología como semilla mejorada, alimento de calidad, manejo del agua y una buena gestión de ventas, son claves para el éxito económico de este cultivo (MAG 2001). La cantidad para sembrar es de 3 a 5 peces/m³; el incremento de la cantidad de alevines dependerá de la disponibilidad de agua de buena calidad (CENDEPESCA 2008).

El rango óptimo de pH para la crianza de tilapia es entre 6.5 a 9. La temperatura debe variar entre 28 °C y 32 °C. La alcalinidad y dureza, son aproximadamente iguales con rangos óptimos entre 50-350 ppm; el agua para el cultivo debe tener una alcalinidad entre 100-200 ppm (NICOVITA 2014). La turbidez debe estar en rangos de 25 a 35 cm (Romero 1999). Según la concentración de sólidos disueltos, los estanques se clasifican en estanques limpios con sólidos menores a 25 mg/l, estanques intermedios entre 25- 100 mg/l, estanques lodosos en sólidos mayores a 100 mg/l. La tilapia es capaz de sobrevivir en condiciones de oxígeno por encima de 2 mg/l (NICOVITA 2014). La conductividad eléctrica es un indicativo de las sales disueltas en el agua Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺. Las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas (Montano y Vargas 2018, citado por Sierra 2011). Para los metales pesados el agua subterránea contiene niveles de arsénico de 0.05 a 0.2 ppm (Flores 2016, citado por Sager 2000). En el cobre el límite máximo permisible en el agua es de 2 mg/l; el límite máximo de plomo en el agua es de 10 µg/l; y el límite máximo permisible de zinc en el agua es de 2 mg/l (Calderón 2018, citado por Acuerdo Ministerial 2009).

En los coliformes fecales y *Escherichia coli* López *et al.* (2016) menciona que puede aceptarse la presencia de hasta 1,000 NMP (Número Más Probable) /100 ml de coliformes fecales en el agua. Según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 2018, el límite

máximo permisible de coliformes fecales en el agua es de <1.1 NMP/ml. Romero (1999) menciona que el agua debe contener niveles máximos y mínimos permisibles de coliformes fecales; en los estanques debe ser <1/100ml y <1.1 NMP para la producción de alimentos, la cantidad de coliformes fecales en el agua debe ser menor a 100/100 ml. Para el RTS 13.02.01:14 2018, el límite máximo permisible para *Escherichia Coli* es de <1.1 NMP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz, El Salvador, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar, una precipitación media anual de 1,700 mm, temperatura anual de 28 °C, humedad relativa de 76 % y una velocidad del viento de 8 km/h, en el periodo de octubre 2019 a febrero 2020, en estanque artesanal de 10.50 metros de largo, 6.34 m de ancho y 1.30 m de profundidad.

Metodología de campo

El estanque fue desinfectado con 2.3 kilogramos de cal viva diluida en agua; con una escoba se removió el sedimento y el material acumulado en las paredes y el fondo. El estanque se dejó expuesto al sol por una semana y luego se procedió al llenado con agua. Se construyeron las jaulas con tubo estructural de hierro de ¾ de pulgada, chapa 16 milímetros, se colocó una malla tipo gallinero con un tamaño de los orificios de una pulgada, y para evitar la salida y entrada en los primeros estadios de la tilapia se utilizó una malla de color blanco tipo cedazo. Las medidas de las jaulas fueron de 3 m de largo, 2.5 m de ancho y 1.15 m de altura, con una compuerta ubicada en la parte superior de cada jaula para el manejo de las tilapias (Figura 1).

La compra de los alevines se realizó en la Estación Acuicola del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), ubicada en el cantón Santa Cruz Porrillo, municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, El Salvador. En total se compraron 376 alevines de tilapia para establecer la investigación, a un costo de USD 0.07 por unidad, haciendo un costo total de USD 26.32, los cuales fueron transportados en las primeras horas de la mañana en bolsa plástica conteniendo 25 % de agua, 50 % de oxígeno y el otro 25 % para el amarre de la bolsa.

Figura 1.
Limpieza del estanque y construcción de las jaulas.



Para la siembra las bolsas conteniendo los alevines se colocaron en el agua del estanque durante 15 minutos para aclimatarlos a la temperatura del agua, luego se distribuyeron de acuerdo a los tratamientos a evaluar. Para la alimentación de la tilapia se calculó la ración total del día y se dividió en 4 partes, se alimentó en horarios de 8:00 a. m., 10:00 a. m., 1:00 p. m. y 3:00 p. m. En los primeros 40 días los peces se alimentaron con concentrado con 38 % de proteína; del día 41 al 112 se alimentó con concentrado con 32 % de proteína. La oxigenación se realizó dos veces al día a través de una caída de agua, para ello se construyó un sistema de distribución de agua con tubo PVC de una pulgada de grosor, que se extendía de un extremo del estanque al otro con perforaciones cada 20 cm.

Muestreo del agua para análisis físico y químico

Previo al establecimiento y después de la siembra, se conocían los parámetros físicos y químicos (pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos) que contribuyen a la mejora de las condiciones del estudio para el desarrollo del cultivo; además, se determinó el nivel de metales pesados como (arsénico, hierro, plomo, cobre y zinc) por el método de espectroscopia de absorción atómica en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, los muestreos de agua se realizaron cada mes con el fin de garantizar que la cosecha la carne de tilapia esté libre de estos contaminantes nocivos para la salud. Para la medición del pH se introdujo el electrodo del pHmetro (marca OAKTON pH tester 30) en el agua del estanque y se anotaba la lectura. La temperatura se midió introduciendo el termómetro artesanal de mercurio en el agua del estanque. La turbidez del agua del estanque se midió con un disco Secchi. La medición del oxígeno disuelto (OD) y los sólidos totales disueltos (STD) se hizo cada tres semanas por el método Potenciométrico; para ello se utilizó una sonda Multiparámetros (marca HACH) se introdujo el electrodo

de la sonda en el agua de cada uno de los tratamientos, se realizaron hasta tres lecturas para evitar errores y se anotaba en los registros de campo. Se utilizaron recipientes de polietileno con capacidad de un litro, y se introdujeron cuidadosamente al estanque para evitar burbujeo o la incorporación de hojarasca que pueda afectar el análisis. Se identificaron y se colocaron en hieleras a temperatura de 4 °C y se condujeron al Laboratorio para su análisis. El primer muestreo para análisis microbiológico se tomó en la fuente de abastecimiento de agua del estanque en un frasco de polietileno de un litro de capacidad, se identificó y se colocó en una hielera a temperatura de 4 °C para su traslado al Laboratorio.

Toma de datos

Para el muestreo de los parámetros de crecimiento y peso de las tilapias se realizaron ocho tomas de datos; cada 14 días se extraían al azar de cada jaula 5 grupos o bloques de tilapias, cada bloque estaba constituido por 7 individuos o unidades experimentales. El peso obtenido se dividió entre el total de tilapias por módulo para obtener el peso promedio de los tratamientos. Para la medición del crecimiento o talla de las tilapias se utilizó una regla graduada en centímetros, midiendo desde la boca hasta el inicio de la aleta caudal.

Para el ordenamiento y tabulación de los datos promedios de talla y peso se utilizó el programa Microsoft Excel® 2016, que es de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows, el cual permitió la obtención de medias descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio. A cada uno de los datos se les realizó una prueba de distribución normal (F); para comprobar la variación estadística se realizó una correlación entre las variables talla y peso versus densidades a través del programa estadístico INFOSAT.

Metodología económica

Se realizó a través del presupuesto parcial, se calculó el costo de producción de las tilapias desarrolladas por tratamiento, tomando en cuenta los costos de los alevines y el alimento. Con estos datos se evaluó qué tratamiento producía mejores beneficios. Elementos básicos que se utilizaron para determinar el presupuesto parcial: rendimientos medios, rendimientos ajustados, beneficio bruto de campo, costos que varían, total de los costos que varían y beneficios netos.

Metodología estadística

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar, los tratamientos que se evaluaron fueron:

- Testigo o Tratamiento 0 (T0): se establecieron 5 tilapias/m³, en total 38 alevines.
- Tratamiento 1 (T1): se sembraron 10 tilapias/m³, en total 75 peces.
- Tratamiento 2 (T2): se introdujeron 15 tilapias/m³, en total 113 alevines.

total 113 alevines.

- Tratamiento 3 (T3): se colocaron 20 tilapias/m³, en total 150 peces.

Las variables dependientes que se midieron fueron el peso y el crecimiento o talla de las tilapias. La cantidad de unidades experimentales que se utilizaron por tratamiento se obtuvieron al multiplicar los 7.5 m² de espejo de agua que contenía cada jaula por la densidad de siembra correspondiente.

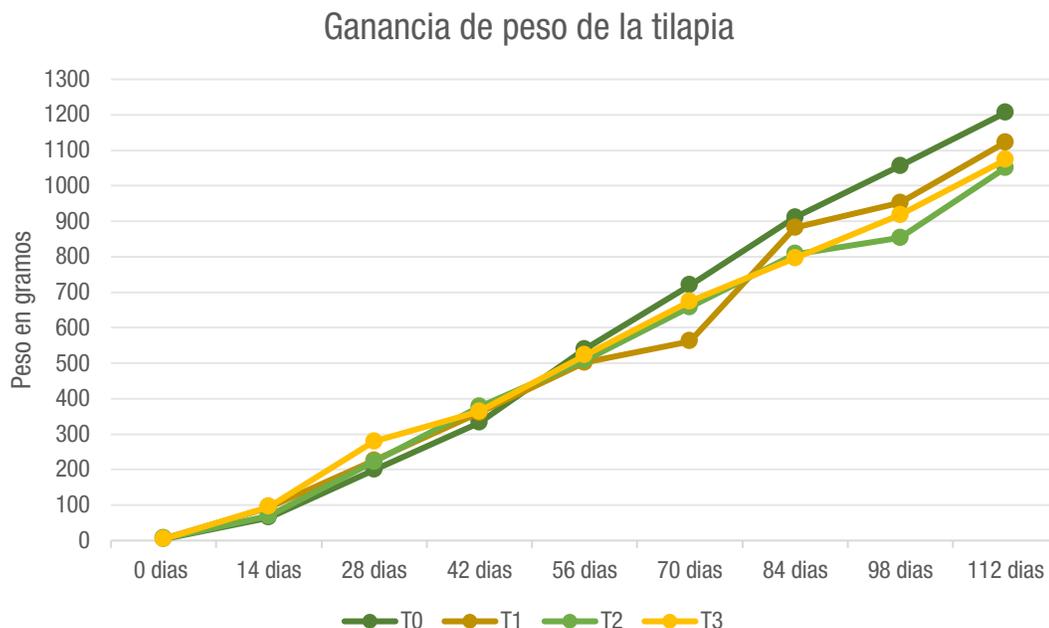
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso de los peces

Los resultados de la investigación se determinaron a los 112 días (3 meses con 22 días) después de la siembra; donde el mayor peso promedio obtenido fue en el tratamiento Testigo o Tratamiento 0 (5 tilapias/m³) con 1,206 g, seguido por el tratamiento 1 (10 tilapias/m³) con 1,122 g, y por último el tratamiento 3 (20 tilapias/m³) con 1,073 g y el tratamiento 2 (15 tilapias/m³) con 1,050 g (Figura 2).

Figura 2.

Peso promedio de las tilapias durante el ciclo productivo.



El análisis estadístico demostró que sí existió una diferencia significativa al 5 % entre los tratamientos evaluados. El análisis de varianza demostró un P-valor calculado de 0.0034 con una probabilidad $p < 0.05$ siendo menor, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (variables heterogéneas), es decir, que los tratamientos se comportaron diferentes entre ellos. Cárdenas (2012) encontró que las altas densidades de siembra de peces afecta directamente el desarrollo de los organismos en los

sistemas de cultivo controlado.

Para determinar qué tratamiento producía efectos diferentes se realizó la prueba de Tukey. El tratamiento 0 produce mejores rendimientos de ganancia de peso (1,206 g) en el nivel (A) seguido por el tratamiento 1 (1,122.4 g) en los niveles de (AB) y los tratamientos 3 y 2 con promedios de 1 073 g y 1 050 g respectivamente en el nivel B, lo cual se atribuyó a que los tratamientos con mayores densidades

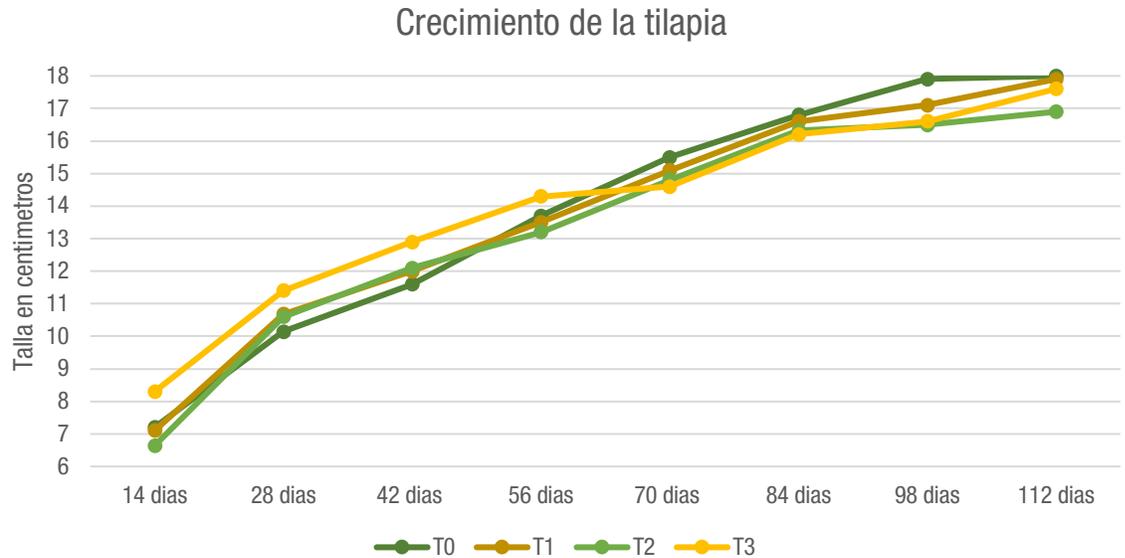
afectan el desarrollo debido a la competencia, esto se demuestra por lo que reportó Ascencio *et al.* (2019), donde compararon el peso de la tilapia en tres densidades de siembra, el tratamiento que más ganancia de peso promedio tuvo fue el tratamiento 1 de menor densidad (50 peces/m³).

Tamaño o talla de los peces

El mayor tamaño promedio de los peces se obtuvo con el Testigo o Tratamiento 0 (5 tilapias/m³), el tratamiento 1 (10 tilapias/m³) y el tratamiento 3 (20 tilapias/m³) con 18 cm, y por último el tratamiento 2 (15 tilapias/m³) con 17 cm (Figura 3).

Figura 2.

Tamaño promedio de las tilapias durante el ciclo productivo.



El análisis de varianza demostró un p-valor calculado de 0.0763, con una probabilidad $p > 0.05$ es mayor, por tanto, se acepta la hipótesis nula (variables homogéneas), es decir, que los tratamientos se comportan de igual forma. Para comprobar que los tratamientos producían efectos similares se realizó la prueba de Tukey. Todos los tratamientos producen efectos similares.

Meyer y Mejía (1993), mencionan que para la alimentación de los peces en sus diferentes estadios de crecimiento se debe tener en cuenta el nivel de proteína con el que se obtiene el máximo crecimiento; este nivel de proteínas disminuye con el incremento del peso del pez.

Análisis físico y químico del agua

Salinidad

Durante el desarrollo de la investigación, la salinidad del agua no presentó variaciones significativas, ya que al inicio y al final fue de 0.0 % a la mitad del estudio fue de 0.1 %. Lo cual puede deberse a la cantidad de sedimento depositado por el mismo alimento y al buen mantenimiento en los recambios del agua. De la Cruz (2012), menciona que a pesar de que las tilapias son peces de agua dulce, se adaptan a vivir en aguas saladas, ya que son descendientes

de una especie marina.

Oxígeno disuelto

Al inicio de la investigación el agua tenía un valor de oxígeno disuelto de 5.32 mg/l y a medio ciclo productivo entre 7.88 mg/l a 12.29 mg/l. NICOVITA (2014), menciona que los niveles de oxígeno ideal estarán por encima de 2 mg/l. La tilapia es capaz de sobrevivir en aguas con concentración de oxígeno disuelto menor de 0.3 mg/l, por lo cual el ensayo siempre tuvo disponibilidad de oxígeno en el agua para el desarrollo de los peces.

Sólidos totales disueltos (STD)

Los STD estuvieron entre 124 y 125 mg/l al inicio de la investigación; a mitad del ciclo productivo fue entre 129.17 mg/l y 130.13 mg/l, y al final de la investigación entre 122.7 mg/l y 123.2 mg/l. Cuando los sólidos disueltos están por arriba de 100 mg/l la concentración de oxígeno disuelto disminuye y el fitoplancton hace que el agua sea dura con alta concentración de minerales y materia orgánica. NICOVITA (2014) en una investigación encontró que los sólidos ideales deben oscilar entre 25 y 100 mg/l, que son estanques intermedios para crianza de tilapia.

Conductividad eléctrica

Al inicio de la investigación el agua del estanque tenía 282 $\mu\text{s}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica; a mitad del ciclo productivo entre 292.33 y 294.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$; y al final entre 283 y 285 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Los resultados indican una alta concentración de sales presentes en el agua del estanque y que podría dañar el equipo de bombeo a periodos prolongados, pero la salinidad estuvo por 0.0 % y 0.1 %. Montano y Vargas, citado por Sierra (2011), mencionan que la conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , fosfatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

pH

El agua del estanque al inicio de la investigación tenía un pH entre 6.40 y 6.70; a medio ciclo productivo entre 7.38 y 7.70, y al final de la investigación entre 7.15 y 7.28. FAO, citado por Ascencio *et al.* (2019) y NICOVITA (2014), mencionan que el rango óptimo de pH para crianza de tilapia debe estar entre 6.5 a 9. Valores por encima o por debajo causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardan el crecimiento y la reproducción.

Temperatura

El agua del estanque al inicio de la investigación tenía temperaturas entre 29.40 °C y 29.60 °C, a medio ciclo productivo entre 30.37 °C y 30.73 °C, y al final de la investigación entre 30.20 °C y 32.10 °C. Saavedra, citado por Ascencio *et al.* (2019), menciona que las temperaturas ideales para tilapia son entre 25 °C y 32 °C. Colagrosso, citado por Ascencio *et al.* (2019) y NICOVITA (2014), afirma que el rango óptimo de temperatura para la crianza de tilapia se encuentra en el rango entre 28 °C a 32 °C. Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, lo cual significa mayor consumo de oxígeno.

Turbidez

La turbidez al inicio de la investigación no se registró, ya que el estanque estaba recién desinfectado sin presencia de fitoplancton, a mitad del ciclo productivo tenía valores entre 30 y 35 cm, y al final de la investigación no se realizó ninguna lectura debido al exceso de turbidez por partículas de alimento, excretas, materia orgánica y fitoplancton. González y Mejía (2012) indican que la turbidez debe estar entre 25 a 35 cm de visibilidad, siempre que sea ocasionada por algas verdes no filamentosas y no por algas verde-azules ni lodo, es decir, el agua debe ser color verde esmeralda ocasionada principalmente por algas clorofíceas.

Arsénico

El agua que abasteció al estanque era de fuentes subterráneas, y al inicio de la investigación tenía concentraciones de arsénico de 0.4778 ppm, a medio ciclo productivo de 0.1770 ppm y al final de la investigación 0.2580 ppm. Durante la investigación la concentración de arsénico en el testigo o tratamiento 0 fue de 0.9865 ppm, para el tratamiento 1 de 0.7586 ppm, en el tratamiento 2 de 0.7861 ppm y en el tratamiento 3 de 0.7281 ppm. Los análisis realizados demuestran que existió un aumento en la concentración de arsénico durante el desarrollo de la investigación, debido al arrastre de arsénico producido por fuentes naturales de origen volcánico por las corrientes de agua. Flores (2016), citado por Sager (2000), menciona que el agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua superficial con 0.05 ppm a 0.2 ppm; que el arsénico puede penetrar a los organismos vivos a través del aire al respirar, por alimentos y agua de bebida, y que los alimentos son la fuente principal de arsénico. Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de arsénico en el agua es de 10 mg/l. Para las RTS. 2018, el límite máximo permisible es de 0.01 mg/l.

Cobre

La concentración de cobre durante la investigación se mantuvo en valores menores de 0.05 ppm. Según el Reglamento Técnico Salvadoreño de Agua Potable RTS 13.02.01:14 (2018), el nivel máximo permisible de cobre es de 2.0 mg/l.

Plomo

El agua que abasteció al estanque al inicio de la investigación tenía concentraciones de plomo de 0.5988 ppm, a medio ciclo productivo de 0.9208 ppm y al final de la investigación 0.7978 ppm. Durante la investigación la concentración de plomo en el testigo o tratamiento 0 fue de 0.2296 ppm, en el tratamiento 1 de 3.5719 ppm, en el tratamiento 2 de 4.2312 ppm y en el tratamiento 3 de 0.1082 ppm. Variación de las concentraciones de plomo producto de la corrosión del metal utilizado para construcción de las jaulas, Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de plomo en el agua es de 10 mg/l. Para las RTS 13.02.01:14 2018. El límite máximo permisible es de 0.01 mg/l.

Zinc

Durante la investigación la concentración de zinc en el testigo (tratamiento 0) fue de 0.1698 ppm, en el tratamiento 1 de 0.4231 ppm, tratamiento 2 de 0.8928 ppm y en el tratamiento 3 de 0.5811 ppm. Según el RTS 13.02.01:14

(2018), el límite máximo permisible es de 4.0 mg/l. Calderón (2018), citado por el Acuerdo Ministerial número 026-2009, menciona que el límite máximo permisible de zinc en el agua es de 2 mg/l.

Hierro

La concentración de hierro durante la investigación se mantuvo en valores menores de 0.20 ppm. Según el RTS 13.02.01:14 (2018), el límite máximo permisible es de 0.3 mg/l. Martínez y Cano (2008), citado por CONACYT (1999), recomiendan valores de hierro entre 0.05 a 0.1 mg/l para el cultivo de tilapia.

Análisis microbiológico del agua

Los resultados de los análisis de la calidad del agua sobre las bacterias de coliformes fecales demostraron que el agua poseía valores entre 5.1 a 23 NMP (Número más probable)/100 ml después de cada intervalo entre limpieza y recambio de agua, pero, puede ser utilizada para la crianza de la tilapia, y no para consumo humano, sin un previo tratamiento de cloración y otras evaluaciones físicas y químicas para tal fin. López *et al.* (2016), mencionan que el agua para consumo humano no debe contener bacterias coliformes fecales, pero en el agua para uso recreativo puede aceptarse la presencia de hasta 1,000 NMP/100 ml. Para el RTS 13.02.01:14 2018, el límite máximo permisible es <1.1 NMP/ml.

Los resultados de los análisis de agua para *Escherichia coli* mostraron contenidos entre menos de 1.1 a mayor de 23 NMP/100 ml, lo cual indica que el agua no es apta para el consumo humano, pero sí para la producción de tilapia. Romero (1999), menciona que el agua apta para consumo humano debe contener concentraciones de *Escherichia coli* menor a 1/100 ml, y para la producción de alimentos debe ser menor a 100/100 ml. Para el RTS 13.02.01:14 2018, el límite máximo permisible de *Escherichia coli* es de <1.1 NMP/ml. López *et al.* (2016), menciona que el agua para consumo humano no debe contener *Escherichia coli*. Las bacterias coliformes se toman como indicadores de contaminación del agua porque provienen del tracto intestinal y materia fecal de las personas y los animales, sobreviven largo tiempo en el agua y son fáciles de detectar.

Presupuesto parcial

Los resultados de producción realizados en el estudio demostraron que en el Tratamiento 0 se obtuvo una ganancia neta de USD 5.45, el Tratamiento 2 de USD 3.15; el Tratamiento 1 fue de USD 0.71 y en el Tratamiento 3 se obtuvo una pérdida de USD 11.14. El cálculo de la inversión realizada durante la investigación en lo relacionado con el consumo de agua fue de USD 562.50, uso de estanque de USD 50, mano de obra de USD 1120 + USD 10, haciendo

un total de USD 1742.50.

CONCLUSIONES

El mejor peso promedio de los peces se obtuvo con una densidad de 5 tilapias/m³ (testigo o tratamiento 0) con 1,206 g (2.66 libras), seguido por el tratamiento 1 con 10 tilapias/m³ y un peso de 1,122 g (2.47 libras), a los 112 días (3 meses con 22 días) después de la siembra de los alevines.

El mayor crecimiento o talla promedio de los peces fue igual con las densidades de 5, 10 y 20 tilapias/m³ (Testigo o Tratamiento 0, Tratamiento 1 y Tratamiento 3, respectivamente) con 18 cm, seguido por el tratamiento 2 con 15 tilapias/m³ con 17 cm, a los 3 meses con 22 días después de la siembra de los alevines.

El análisis físico, químico y microbiológico demostró que el agua utilizada en la investigación es apta para la producción de tilapia.

Con el testigo o tratamiento 0 (5 tilapias/m³) se obtuvo una ganancia de USD 5.45, seguido por el tratamiento 2 (15 tilapias/m³) con USD 3.15 y por el tratamiento 1 (10 tilapias/m³) con USD 0.71; con el tratamiento 3 (20 tilapias/m³) se obtuvo pérdidas de USD 11.14.

BIBLIOGRAFÍAS

- Acuerdo Ministerial No. 026-2009 (2009). *Programa de control y monitoreo de contaminantes microbiológicos, sustancias químicas y características físicas del agua a ser utilizada en establecimientos de productos hidrobiológicos*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de normas y regulaciones. 10 p.
- Ascencio Q, SV; Del Valle C, GE; Velásquez A, GA. (2019). *Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador*. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador (en línea). Consultado el 16 abril de 2018. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19029/1/13101681.pdf>
- Cárdenas D, PE. (2012). *Crecimiento y supervivencia de tilapia roja híbrida (*Oreochromis spp.*) cultivadas en jaulas flotantes en ambiente marino*. Maestro en ciencias agropecuarias, Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa (en línea). Consultado el 23 de julio de 2019. Disponible en: <https://es.slideshare.net/GaloDvila/crecimiento-y-supervivencia-detilapia-roja-hibrida-oreochromis-spp-cultivada-en-jaulas-flotantes-en-ambiente-marino>.

- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador) (2008). *Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia*. El Salvador (en línea). Consultado el 15 de marzo de 2018. Disponible en: <http://www.transparencia.gob.sv/instituciones/mag/documents/119824/download>.
- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador); Misión Técnica Taiwán (2013). *Manual de Procedimientos Técnicos Operativos y Respuesta a Emergencias sobre el Manejo de Alevines Reversados de Tilapia*. Atiocoyo, El Salvador 22 p.
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador) (1999). *Norma Salvadoreña de calidad del agua envasada*. El Salvador. Agua: Agua Embazada. p 7.
- De la Cruz P, PA. (2012). *Estudio de pre-factibilidad para la producción de tilapia roja y su comercialización en Quito*. Tesis de grado. Ingeniería de empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador (en línea). Consultado el 8 de febrero de 2021. Disponible en: [www.http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1/45656_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1/45656_1.pdf).
- González, C; Mejía D, JB. (2012). *Manual de Procedimientos de Producción de Tilapia*, Impresos Múltiples, Washington D.C., Estados Unidos (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2018. 64 p. Disponible en: http://www.robertoaguiluz.com/clients/PDP_final/docs/more/tilapia.pdf.
- López Sardi, EM; García, B; Reynoso, Y; González, P; Larroudé, V. (2016). *Calidad del agua para usos recreativos desde la perspectiva de la seguridad e higiene laboral y la salud pública*. Universidad de Palermo. Italia (en línea). Consultado el 20 marzo de 2018. Disponible en: http://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador) (2001). *Guía para el cultivo de tilapia en estanques* (en línea) Consultado el 04 de marzo 2018. Disponible en: <http://www.tilapiasdelosur.com.ar/downloads/GuiaTecnicaTilapiadeElSalvador.pdf>
- Meyer, D; Mejía, S. (1993). *Utilización de cuatro fuentes de nutrientes en el cultivo de la tilapia (Oreochromis niloticus)*. Actas del Simposio de Investigación Acuícola en Latinoamérica. Pradepesca. Universidad Nacional de Heredia de Costa Rica. 28p.
- NICOVITA Alicorp (2014). *Manual de crianza de tilapia. Condiciones y parámetros de cultivo*. 3, 6-15 p. Lima, Perú (en línea). Consultado el 11 de marzo. Disponible en: <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>.
- RTS. OSARTEC (Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, El Salvador) (2018). *Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14. Agua. Agua de consumo humano. Requisito de calidad e inocuidad*. El Salvador. Diario Oficial No. 60, Tomo No. 419. 6 p.
- Romero R, JA. (1999). *Calidad del agua, análisis físico, químico y microbiológico del agua*, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, grupo editor alfa y omega México, 2^{da} edición, México D. F. p 61-156.
- Sager, RL. (2000). *Agua para bebida para bovinos*. INTA E.E.A San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. Argentina (en línea). Consultado el 7 febrero. 2021. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>.
- Sierra, CA. (2011). *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Ed. LD López. Bogotá, Colombia. Digiprint. 457 p.