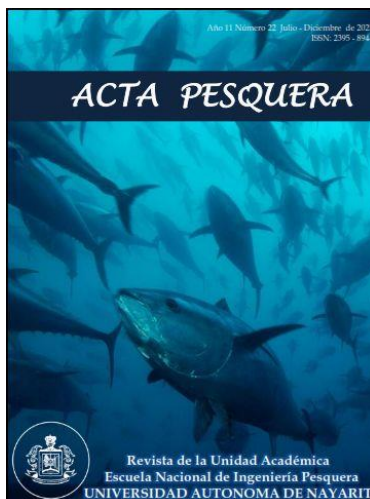




Acta Pesquera

Volumen 11, No 22

ISSN: 2395-8944

Periodo: julio - diciembre de 2025

Universidad Autónoma de Nayarit

Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera

Pp. 1 - 12

Recibido: octubre 10 de 2025

Aceptado: diciembre 23 de 2025

DOI: 10.60113/ap.v11i22.158

Evaluación de un sistema de recirculación acuapónico y tradicional de tilapia-tomate cherry: una comparación de la producción

Evaluation of an aquaponic and traditional recirculation system for tilapia-cherry tomato: a comparison of production

**Viviano González-Ramírez, UAN, vivianogonzalezramirez@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0005-7107-7595>**

**Nallely Estrada-Pérez, ENIP – UAN, nallely.estrada@uan.edu.mx,
<https://orcid.org/0000-0003-3343-3147>**

**Javier M. J. Ruiz-Velazco, ENIP . UAN, marcialj@uan.edu.mx,
<https://orcid.org/0000-0003-1193-2164>**



La distribución de este artículo es bajo la
Licencia de Reconocimiento- No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).



Evaluación de un sistema de recirculación acuapónico y tradicional de tilapia-tomate cherry: una comparación de la producción

Evaluation of an aquaponic and traditional recirculation system for tilapia-cherry tomato: a comparison of production

Viviano González-Ramírez, UAN, vivianogonzalezramirez@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0005-7107-7595>; Nallely Estrada-Pérez, ENIP – UAN,
nallely.estrada@uan.edu.mx; <https://orcid.org/0000-0003-3343-3147>; Javier M.J. Ruiz-Velazco*, ENIP . UAN, marcialj@uan.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1193-2164>

*Autor de correspondencia: marcialj@uan.edu.mx

RESUMEN

La acuaponía es un sistema de cultivo que integra la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo) y la acuicultura (cultivo de animales acuáticos). Se evaluó el desempeño productivo de un sistema acuapónico (NFT) tilapia-tomate cherry comparado con un sistema de recirculación acuícola (RAS) por triplicado durante dieciséis semanas. En ambos tratamientos se sembraron 55 org m⁻³ con un peso inicial promedio de 52 g, al mismo tiempo se realizó el trasplante de tomate en el sistema acuapónico con un tallo inicial de 5.8 cm completando 90 plántulas en los tres sistemas. Se realizaron muestreos semanales para el registro del crecimiento tanto de los peces como de las plantas. Además se registraron variables ambientales: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía para la comparación entre tratamientos. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas ($P>0.005$) entre los tratamientos especialmente en el crecimiento de los peces y en las variables ambientales. Los peces alcanzaron un peso final de 562.53 ± 86.12 g en el sistema acuapónico y 562.68 ± 34.44 g en el RAS, y una talla final de 29.31 ± 1.39 y 29.09 ± 1.04 cm, así como una supervivencia de 90.90 ± 5.45 y 96.96 ± 3.78 % respectivamente. Las plantas alcanzaron un tallo de 63.86 ± 3.5 cm con una tasa de crecimiento diario de 0.82 ± 0.67 cm, y se obtuvo una supervivencia de 93.3 ± 3.33 % con un rendimiento productivo de 51 g por planta, equivalente a 2.35 ton ha⁻¹. Los dos tratamientos (RAS y Acuaponía) mostraron resultados eficientes para la producción de tilapia (*O. niloticus*), el rendimiento productivo del sistema acuapónico fue de 28.31 kg m⁻³ y 30.04 kg m⁻³ en el sistema de recirculación acuícola.

Palabras clave: *Oreochromis niloticus*, *Lycopersicum esculentum*, FCA, NFT



La distribución de este artículo es bajo la
Licencia de Reconocimiento- No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).



SUMMARY

Aquaponics is a farming system that integrates hydroponics (soilless plant cultivation) and aquaculture (aquatic animal farming). The productive performance of a tilapia-cherry tomato aquaponics system was evaluated in comparison with a recirculating aquaculture system (RAS) in triplicate over sixteen weeks. In both treatments, 55 org m⁻³ were planted with an average initial weight of 52 g. At the same time, tomatoes were transplanted into the aquaponic system with an initial stem length of 5.8 cm, completing 90 seedlings in the three systems. Weekly sampling was carried out to record the growth of both fish and plants. Environmental variables were also recorded: temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, and electrical conductivity. Statistical analysis was performed using a one-way analysis of variance (ANOVA) to compare treatments. The results showed that there were no significant differences ($P>0.005$) between treatments, especially in fish growth and environmental variables. The fish reached a final weight of 562.53 ± 86.12 g in the aquaponic system and 562.68 ± 34.44 g in the RAS, and a final size of 29.31 ± 1.39 and 29.09 ± 1.04 cm, as well as a survival rate of 90.90 ± 5.45 and 96.96 ± 3.78 %, respectively. The plants reached a stem length of 63.86 ± 3.5 cm with a daily growth rate of 0.82 ± 0.67 cm, and a survival rate of 93.3 ± 3.33 % was obtained with a productive yield of 51 g per plant, equivalent to 2.35 tons ha⁻¹. Both treatments (RAS and aquaponics) showed efficient results for tilapia (*O. niloticus*) production. The productive yield of the aquaponics system was 28.31 kg m⁻³ and 30.04 kg m⁻³ in the recirculating aquaculture system.

Index words: *Oreochromis niloticus*, *Lycopersicum esculentum*, FCR, NFT

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas la producción acuícola alcanzó un nuevo máximo mundial de 185 millones de toneladas (equivalente en peso vivo), es decir, un incremento del 4 % en comparación con 2020. De acuerdo con las estadísticas disponibles en el 2022 la producción acuícola mundial alcanzó 94 millones de toneladas, lo cual representa el 51 % del total, que supera por primera vez a la pesca de captura, la cual produjo 91 millones de toneladas (el 49 %) (FAO, 2024).

Algo semejante ocurre con la acuicultura en México ya que presenta una tasa media de crecimiento anual de 3.3 % (INAPESCA, 2013). Sin embargo este crecimiento tan acelerado ha ocasionado alta presión por los recursos naturales principalmente la eutrofización de cuerpos de agua, por las altas descargas de aguas residuales por el alto contenido de nitrógeno y fosforo, generado principalmente por el alimento no consumido y por la fertilización inorgánica y orgánica de las granjas acuícolas (Crab et al., 2007). Además otros de los problemas es la destrucción de bosques de manglar y las marismas (Rajitha et al., 2007), que son recursos importantes para la crianza de muchos organismos y, son ecosistemas de refugio de aves, reptiles, crustáceos entre otros grupos (Páez-Osuna, 2005).

Con el fin de dar posibles respuestas a estas inquietudes, en las últimas tres décadas se han desarrollado investigaciones para la innovación de nuevas técnicas de cultivo que sean más amigables con el ambiente, una de ellas es el sistema de recirculación acuícola (Recirculating Aquaculture Systems sus siglas en inglés RAS) (Rakocy et al., 1993; Reyes et al., 2016). Dicho sistema trabaja con el agua recirculante en ambiente cerrado, donde el agua es reutilizada en un largo tiempo. Además el sistema es apto para el cultivo de altas densidades de organismos y se pueden obtener producciones superiores comparado con los sistemas tradicionales, principalmente granjas acuícolas o cultivos rústicos (Tyson et al., 2011; González-Hermoso y Segovia, 2017). Otra de las técnicas de cultivo que está ganando la popularidad a nivel mundial es el sistema acuapónico por ser una tecnología prometedora en la producción de alimentos, donde se integra la acuicultura y la hidroponía (cultivo de plantas sin suelo), es decir que, se pueden obtener productos de origen animal (principalmente peces) y vegetal (Palm et al., 2014). En el cual los desechos orgánicos producidos por los peces, como heces y alimento no consumido funcionan como fuente de alimento para las plantas, asimismo las plantas actúan como filtro natural del agua para que también los organismos cultivados puedan prosperar o sobrevivir (Caló, 2011; Falcón, 2010).

Las ventajas que presenta el sistema acuapónico es: la disminución del uso de fertilizantes para la producción de vegetales, uso eficiente de agua, disminución de la eutrofización del agua, y por último aumento de ingresos al productor (Ramírez et al., 2008). Este sistema de cultivo presenta componentes similares al sistema de recirculación acuícola, la diferencia es la integración del componente hidropónico para el cultivo de vegetales. Dicho componente puede ser de cama flotante, cama de grava y técnica de película de nutrientes (Nutrient Film Technique sus siglas en inglés NFT) (Rakocy et al., 2006; Tyson et al., 2011; Somerville et al., 2014).

Diversos estudios se han llevado a cabo con diferentes especies de peces y de plantas en donde la tilapia ha sido la más utilizada combinada con diversas especies de plantas como las lechugas (Chaves et al., 2000; Castillo-Castellanos et al., 2016; Estrada-Pérez et al.,

2018), pepinos (Tyson et al., 2008; Estrada-Pérez et al., 2018), tomate (Roosta y Hamidpour, 2011; Maucieri et al., 2018) y albahaca (Rakocy et al., 2004; Savidov et al., 2005; Hanson et al., 2008), entre otros. También, otros estudios acuapónicos han utilizado diferentes variedades de peces como la carpa (Paudel, 2020), el bagre (da Rocha et al., 2017) y la trucha arco iris (Forchino et al., 2017).

Con base en dichos antecedentes, el objetivo del presente estudio fue comparar la producción en sistemas acuapónicos (tilapia-tomate cherry) y sistemas tradicionales de recirculación de agua (RAS), con la finalidad de establecer diferencias o similitudes entre ambos sistemas con respecto a su funcionamiento y evaluación productiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el laboratorio de cultivos acuapónicos en las instalaciones de la Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera de la Universidad Autónoma de Nayarit, en el Municipio de San Blas, Nayarit, México, dicho laboratorio mide 16 m de largo por 8.10 m de ancho (130 m²), y cubierta de techo de plástico y en las partes laterales con malla antiáfidos. El clima predominante en el área de estudio es cálido húmedo, presenta una temperatura promedio anual de 28.6 °C con una temperatura máxima 35.5 °C y una mínima de 21.6 °C, la humedad relativa promedio anual de 82% (INIFAP, 2016).

Descripción del experimento

Para el experimento se utilizaron seis sistemas experimentales de los cuales tres se emplearon para acuaponía, y el resto para el sistema de recirculación acuícola (RAS). El experimento tuvo una duración de dieciséis semanas, de modo que se realizó un ciclo completo para la crianza de los peces hasta alcanzar la etapa comercial, al igual que los vegetales. Las especies que se cultivaron fueron tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Spring y tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*).

Los sistemas de cultivo que se utilizaron constan de un tanque de poliestireno de 1 m³ para mantener a los peces, un tanque de sedimentación de sólidos y un tanque de biofiltración con la capacidad de 100 L cada uno. También cuentan con un componente hidropónico tipo NFT compuesto con tubos PVC de tres metros de largo con 10.16 cm de diámetro. Para más detalles de los sistemas de cultivo consultar Castillo-Castellanos, et al. (2015).

Los seis sistemas experimentales fueron mantenidos mediante un blower de 1 Hp que sirvió para oxigenar el agua de los cultivos. El agua que se utilizó durante la etapa experimental fue extraída de un pozo ubicado en la misma Unidad Académica. Para mantener la calidad del agua de los cultivos se realizaron recambios de agua con una proporción diario de 15 % para el sistema acuapónico y 20 % para el sistema de recirculación acuícola.

Monitoreo de las variables ambientales

Diariamente se realizó el monitoreo de las variables ambientales de la calidad del agua; oxígeno disuelto (mg L⁻¹), conductividad eléctrica (µS cm⁻¹), temperatura (°C) y salinidad (UPS) con un multiparámetro (YSI profesional 2030) y un potenciómetro (HANNA HI 98130) para el registro de los niveles de pH en el cultivo. Estas variables se registraron dos veces al día, 6:00 a.m. y 6:00 p.m.

Cultivo de peces

En la Unidad de Cultivos Acuapónicos de la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera se llevó a cabo la siembra de alevines previamente masculinizados y posteriormente la pre-engorda hasta alcanzar un promedio de 52 g para dar inicio al estudio. La densidad de siembra fue de 55 org m⁻³ y se les suministró alimento comercial con 35 y 30 % de proteína de acuerdo al crecimiento de las tilapias, asimismo se utilizó una tabla de alimentación recomendado por los fabricantes para calcular la cantidad de alimento requerida por los peces, esta cantidad de alimento se fue ajustando de acuerdo con la biomasa producida semanalmente. Los organismos fueron alimentados tres veces al día, con horario de: 8:00, 12:00 y 16:00 horas.

Para estimar el crecimiento de los peces, se realizaron muestreos semanales del 35 % de los organismos cultivados, donde se registró la longitud total del pez con un ictiómetro y el peso corporal con una balanza digital (OHAUS).

Los datos obtenidos se capturaron en Microsoft Excel 2010 y posteriormente se aplicaron algunas ecuaciones para determinar las variables evaluadas.

El peso ganado se calculó mediante:

$$W_g = (W_f - W_i)/t$$

donde: W_f = es el peso final, W_i = peso inicial, y t = días transcurridos.

La supervivencia (%) se obtuvo con la ecuación:

$$S = (N_f/N_i) * 100$$

donde: N_f = número de organismos final y N_i = número de organismos inicial.

El Factor de conversión alimenticia (FCA) se estimó como:

$$FCA = AC/BTP$$

donde: AC = alimento consumido y BTP = biomasa total producida.

Cultivo de tomate cherry

Para la siembra de semillas se utilizó una charola de germinación de 200 cavidades y sustrato turba (peat moss), posteriormente se hicieron riegos para conservarlas húmedas hasta el desarrollo de las plántulas (alrededor de tres semanas) hasta alcanzar las primeras cuatro hojas verdaderas.

En el trasplante, las plántulas fueron extraídas sometándose a un lavado para retirar el cepellón de las raíces, luego fueron envueltas con guata como sustrato para su soporte en los recipientes de forma cónica para ser llevados al componente hidropónico tipo NFT del sistema acuapónico. Las plántulas se colocaron de manera alterna a una distancia de 30 cm entre planta, completando 90 plantas para los tres sistemas.

En el transcurso del experimento, se realizaron muestreos semanales del 33 % de las plantas por sistema, donde se registraron algunos caracteres morfológicos, como: el tallo total de la planta (cm), largo de la hoja (cm) y ancho de la hoja (cm), las mediciones se realizaron con una cinta métrica. En la etapa de la cosecha también se midió el diámetro del fruto (cm) y la producción total (g).

Análisis estadísticos

Se utilizó el software Statistica versión 6.0, donde se llevaron a cabo las pruebas de homogeneidad y normalidad de los datos (Levene y Shapiro-Wilk). En virtud de que los datos fueron homogéneos y se distribuyeron normalmente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) entre los dos tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables ambientales

Las variables de calidad del agua entre los dos tratamientos no mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Valor promedio $\pm$ desviación estándar (DS) de los indicadores de la calidad del agua en los dos tratamientos.

Variables	Tratamiento	Concentraciones
		Media $\pm$ DS
OD (mg L^{-1})	Acuaponía	3.77 ± 0.64
	RAS	4.01 ± 0.64
T ($^{\circ}\text{C}$)	Acuaponía	27.06 ± 2.32
	RAS	26.91 ± 2.51
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Acuaponía	0.651 ± 0.03
	RAS	0.649 ± 0.02
S (UPS)	Acuaponía	0.3 ± 0.006
	RAS	0.3 ± 0.003
pH	Acuaponía	7.74 ± 0.13
	RAS	7.76 ± 0.14

De acuerdo con los resultados de diversos autores, la tilapia es una especie que tolera cambios drásticos de calidad del agua. Sin embargo, las variables ambientales deben mantenerse dentro de los niveles óptimos para que estas especies se desarrollen adecuadamente, debido a que estas variables tienen una relación directa en el crecimiento y en la supervivencia de los organismos (Saavedra-Martínez, 2006; Martínez-Porchas et al., 2009; Bautista-Covarrubias y Ruiz-Velazco, 2011). Puesto que el oxígeno disuelto está relacionado con el metabolismo oxidativo de los nutrientes en los organismos, es recomendable mantener concentraciones $>3 \text{ mg L}^{-1}$ para que no se reduzca el crecimiento incluso hasta $>5 \text{ mg L}^{-1}$ (Timmos et al., 2002). La concentración promedio que se encontró en este estudio tanto para acuaponía como el sistema RAS, es semejante a lo recomendado ($>3 \text{ mg L}^{-1}$), lo que indica que los cultivos se mantuvieron en condiciones apropiadas de oxígeno disuelto. Por lo tanto, se vio que los niveles más altos de oxígeno se encontraron en las primeras semanas de cultivo y las mínimas al término del experimento. Martínez-Porchas et al. (2009) mencionan que conforme se va desarrollando el organismo incrementa el consumo de oxígeno, debido a que necesita más nutrientes y para ello los nutrientes tienen que ser oxidados para que los organismos puedan aumentar su masa corporal.

Otro de los factores limitantes para el desarrollo de los organismos es la temperatura; Saavedra-Martínez (2006) establece que la temperatura debe mantenerse en los intervalos de 25 a 30 °C para que los organismos tengan un buen desarrollo, en caso de que los intervalos no se mantengan en estos niveles, los procesos fisiológicos de los organismos son afectados directamente, especialmente la tasa de respiración, la reproducción y la eficiencia de asimilación de alimento (Timmons et al., 2002). Asimismo, Somerville et al. (2014) mencionan que los intervalos ideales para peces de aguas cálidas en sistemas acuapónicos son de 22 a 32 °C, en este estudio los intervalos fluctuaron entre 23.3 y 29.6 °C lo cual son cifras que están dentro de los intervalos indicados. En este caso, conforme fue avanzado el tiempo, se observó un incremento en la temperatura; fue algo parecido con las indicaciones de Campos-Pulido (2013) ya que este autor menciona que este parámetro está influenciado por la temperatura ambiente.

El pH también es una de las variables que interviene en el crecimiento de las tilapias debido a que está muy relacionado con la excreción de amonio, por lo general las tilapias se desarrollan mejor en pH neutro o ligeramente alcalino 6 a 8.5 (Somerville et al., 2014; Timmons et al., 2002); las cifras que se encontraron en la presente investigación fue en un pH ligeramente arriba del neutro, lo que indica que los organismos se mantuvieron en condiciones adecuadas.

Otros factores, como la salinidad y la conductividad eléctrica son relativamente estables debido a que están en función del cuerpo de agua. La tilapia suele adaptarse a salinidades muy bajas e incluso hasta concentraciones de 24 UPS sin ninguna alteración fisiológica (Saavedra-Martínez, 2006), sin embargo, las concentraciones de salinidad que se indican en los sistemas acuapónicos normalmente se encuentran en valores < 5 UPS (Somerville et al., 2014), puesto que en estas concentraciones las tres especies se desarrollan adecuadamente plantas, peces y bacterias (Rakocy et al., 2006). Las concentraciones de salinidad que se encontraron en este experimento se mantuvieron en los intervalos señalados.

Rendimiento de peces

En términos estadísticos los resultados fueron similares en los dos tratamientos, especialmente en la producción y en el crecimiento de tilapias. En el sistema de recirculación acuícola se observó un crecimiento promedio de 4.56 ± 1.89 g de peso diario con un FCA de 1.17 ± 0.01 , y se obtuvo una producción total de 30.04 ± 1.3 kg m⁻³. Asimismo, en el sistema acuapónico el crecimiento diario encontrado fue de 4.55 ± 2.55 g con un FCA de 1.28 ± 0.04 , y una producción total de 28.3 ± 2.7 kg m⁻³. Sin embargo, hubo variaciones en la supervivencia debido a que se encontraron cifras superiores en RAS 96.96 ± 3.78 % comparado con el sistema acuapónico 90.90 ± 5.45 % (Tabla 2).

Tabla 2. Valor promedio $\pm$ desviación estándar (DS) de los variables evaluados para ambos tratamientos.

Variables	Tratamiento	Media $\pm$ DS
Peso inicial (g)	Acuaponía	51.86 ± 6.22
	RAS	51.79 ± 2.05
Peso final (g)	Acuaponía	562.53 ± 86.12
	RAS	562.68 ± 34.44
Supervivencia (%)	Acuaponía	90.90 ± 5.45
	RAS	96.96 ± 3.78

Ganancia de peso diario (g/día)	Acuaponía	4.55 ± 2.55
	RAS	4.56 ± 1.89
Talla inicial (cm)	Acuaponía	14.78 ± 0.81
	RAS	14.28 ± 0.17
Talla final (cm)	Acuaponía	29.31 ± 1.39
	RAS	29.09 ± 1.04
Peso ganado final (g)	Acuaponía	425.55 ± 17.87
	RAS	425.74 ± 13.29

En la comparación del crecimiento de la tilapia en peso y talla, en los dos tratamientos los datos fueron homogéneos y se distribuyeron normalmente ($P>0.05$), y no se encontraron diferencias significativas, estadísticamente ($P>0.05$) (Figura 1).

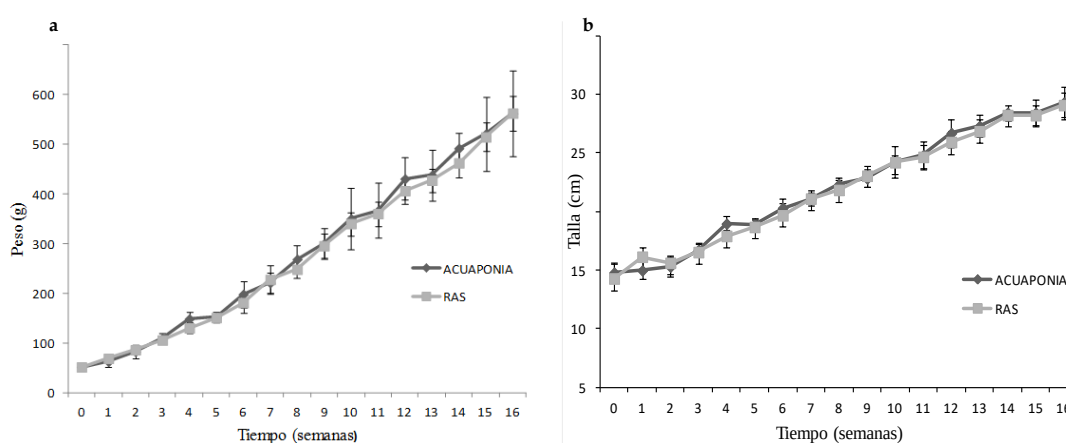


Figura 1. Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en peso (a) y en talla (b).

Diversos autores señalan que en los sistemas de recirculación se puede cultivar a altas densidades de organismos y producir cantidades superiores a los cultivos tradicionales (González-Hermoso y Segovia, 2017). Shnel et al. (2002) produjeron un total de 81.1 kg m⁻³ con una tasa de crecimiento de 1.42 g y un FCA de 2.03 durante 331 días de cultivo. Asimismo, Rakocy et al. (2005) obtuvieron una producción de 61.5 kg m⁻³ de tilapia (*O. niloticus*) con una tasa de crecimiento de 1.7 g, a una densidad de 77 peces m⁻³ durante 164 días de cultivo, las cifras que mencionan estos autores son mayores a las encontradas en la presente investigación; incluso también los resultados señalados por Estrada-Perez et al. (2014), donde encontraron un rendimiento productivo de tilapia (*O. niloticus*) de 33.76 kg m⁻³ con un peso promedio de 592.26 ± 25.45 g y una supervivencia de 94.9 % durante catorce semanas de cultivo. Sin embargo, Campos-Pulido (2013) señala un FCA de 1.27 y una ganancia de peso de 206.1 kg pez⁻¹ con una supervivencia de 91.10 % durante 120 días, lo cual concuerda con esta investigación que tuvo la misma duración de cultivo, además encontró resultados similares especialmente en la supervivencia y el FCA.

Por otro lado Costa et al. (2007) recomiendan tener cuidado en la densidad de cultivo, volumen de agua a utilizar y en el manejo del sistema; así como también las variables ambientales como la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad eléctrica, pH, y el nitrógeno amoniacal total (Perdomo-Carrillo et al., 2012), debido a que son factores que marcan el éxito o el fracaso del cultivo. Considerando lo anterior, deben mantenerse en

niveles óptimos estas variables para que los cultivos alcancen resultados satisfactorios (Timmons et al., 2002; Rakocy et al., 2006; Bautista-Covarrubias y Ruiz-Velazco, 2011).

Por otro lado, el rendimiento productivo, la supervivencia y el crecimiento de las tilapias se encontraron en intervalos que se consideran viables para la crianza de tilapias (Rakocy et al., 2004; Somerville et al., 2014).

Rendimiento de las plantas

Durante diez semanas de cultivo, las plantas alcanzaron un tallo de 63.86 ± 3.51 cm con una tasa de crecimiento diario de 0.82 ± 0.67 cm. Al término del experimento se obtuvo una supervivencia de 93.3 ± 3.33 % con un rendimiento productivo de 51 g por planta, equivalente a 2.35 toneladas por hectárea. En promedio, los frutos alcanzaron un diámetro de 2.1 ± 0.24 cm y 4.29 ± 0.83 g por pieza.

La mayoría de los investigadores consideran que las plantas que no producen frutos y tienen un crecimiento limitado son más eficientes en los cultivos acuapónicos, debido a que en estos sistemas no se generan todos los nutrientes requeridos por las plantas o a veces están disponibles en cantidades muy bajas (Somerville et al., 2014), por lo tanto, no se ha tenido mucho éxito en el cultivo de tomate (Ortega-López et al., 2015). Por otra parte, el componente hidropónico tipo NFT es muy susceptible por cambios bruscos de variables hidrológicas, generalmente en lugares de gran variación de temperatura ambiente, de ese modo se afecta el bienestar de las plantas (Caló, 2011). No obstante, Estrada-Perez et al. (2018) encontró resultados positivos en un subsistema tipo NFT con el cultivo de pepino y lechuga. Asimismo, Mariscal et al. (2012) mencionan que mientras la planta alcance una talla mayor, asimila más nitrógeno y fósforo, por lo cual la calidad del agua se mantiene limpia en un largo tiempo.

En esta investigación, los cultivos de tomate alcanzaron un tallo promedio de 63.86 ± 3.5 cm, por lo cual son cifras menores comparado con los resultados de Reyes et al. (2016), ya que lograron un crecimiento promedio de 264.8 cm de *Solanum Lycopersicum L.* con un rendimiento productivo de $1.16 \text{ kg planta}^{-1}$ durante 103 días de cultivo. Asimismo, Suhl et al. (2016) produjeron 29.38 kg m^{-2} de tomate durante 197 días y muestran que no se encontraron diferencias significativas comparado con el tratamiento hidropónico (31.64 kg m^{-2}). Además Mariscal et al. (2012) trabajaron con éxito en el cultivo de tomate *Lycopersicum esculentum L.* integrado con camarón *Litopenaeus vannamei* donde produjeron 33.3 ± 2.1 kg por 45 plantas, lo cual sus resultados fueron comparables con las plantas que fueron regadas con solución nutritiva 35.7 ± 1.7 kg por 45 plantas. Puesto que en esta investigación el rendimiento productivo de tomate fue bajo 51 g por planta, equivalente a 2.38 toneladas por hectárea, se encontró una supervivencia 93.3 % presumiblemente alto comparado con la investigación de Ortega et al. (2015) y la de Reyes et al. (2016).

Rakocy et al. (2006) mencionan que, de manera prioritaria, el componente hidropónico tipo NFT debe tener un flujo de 2 L min^{-1} en dimensiones de 20 cm de ancho y 15 m de longitud, para permitir que las plantas tengan oxígeno, agua y nutrientes. Por otro lado, no se debe permitir el ingreso de los sólidos debido a que tienden a acumularse en las raíces de las plantas impidiendo la absorción de otros nutrientes, lo cual pueden ser un problema en el crecimiento y en la supervivencia de las plantas (Somerville et al., 2014). En este estudio no se pudieron controlar los sólidos, lo que pudo ser una razón del limitado crecimiento de las plantas de tomate como se establece normalmente (Barraza et al., 2004), aún cuando se mantuvieron en condiciones adecuadas en cuanto a los factores ambientales ($\text{pH} = 7.74 \pm$

0.13; OD = 3.77 ± 0.64 mg L⁻¹; T = 27.06 ± 2.32 °C), ya que los intervalos señalados para el cultivo de plantas en sistemas acuapónicos fluctúan en: temperatura 16-30 °C, Oxígeno disuelto >3 mg L⁻¹ y pH de 5.5-7.5 (Somerville et al., 2014).

CONCLUSIONES

Se concluye que, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de los peces en los tratamientos, sistemas de recirculación acuapónico y sistema de recirculación tradicional. La producción vegetal puede ser una utilidad adicional en el sistema acuapónico; por lo tanto, un análisis económico es recomendable para establecer ganancias potenciales en dicho sistema.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

"No aplicable"

CONFLICTO DE INTERESES

"Los autores declaran que no tienen intereses en competencia"

LITERATURA CITADA

- Barraza, F. V., Fischer, G., & Cardona, C. E. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90.
- Bautista-Covarrubias, J.C. & Ruíz-Velazco, J.M.J. (2011). Calidad del agua para el cultivo de tilapia en estanques de geomembrana. *Revista Fuente*, 3(8), 10-14.
- Campos-Pulido, R. (2013). Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas cultivadas en acuaponía usando el efluente del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en condicones salobres. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz, 87 pp.
- Castillo-Castellanos, D., Zavala-Leal, I., Ruiz-Velazco, J. M. J., Radilla-García, A., Nieto-Navarro, J. T., Romero-Bañuelos, C. A., & González-Hernández, J. (2016). Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. *Aquaculture international*, 24(2), 637-646. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9954-z>
- Costa, L. D. F., Souza, N. H., Siqueira, A., & Melillo, F. J. (2007). Calidad del agua en la acuicultura. *Revista de Acuicultura*, 15(4), 327-360.
- Caló, P. (2011). Introducción a la acuaponía. *Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*. Argentina.
- Chaves, P. A., Laird, L. M., Sutherland, R., & Beltrao, J. (2000). Assessment of fish culture water improvement through the integration of hydroponically grown lettuce. *Water science and technology*, 42(1-2), 43-47. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0289>
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1-4), 1-14.
- da Rocha, A. F., Biazetti Filho, M., Stech, M., & Paz da Silva, R. (2017). Lettuce production in aquaponic and biofloc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*. *Bol Inst Pesca*, 43, 64. 10.20950/1678-2305.2017.64.73
- Estrada-Perez, N., Hernandez-Llamas, A., Ruiz-Velazco, J.M.J., Zavala-Leal, I., Romero-Bañuelos, C. A., Cruz-Crespo, E., ... & Campos-Mendoza, A. (2018). Stochastic modelling of aquaponic production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) with lettuce (*Lactuca sativa*) and cucumber (*Cucumis sativus*). *Aquaculture research*, 49(12), 3723-3734. <https://doi.org/10.1111/are.13840>
- Falcón E. 2010. Más vida en el desierto. *Revista Día Siete*, 11, 502, 40-47.
- FAO. (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. 278 p. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>
- González-Hermoso, J.P., & Segovia, M. (2017). Efecto de cuatro pretratamientos en la digestión anaeróbica y la remoción de nutrientes de efluentes, de un sistema de recirculación acuícola. *Latin american journal of aquatic research*, 45(2), 276-292.
- Hanson, A., Yabes, J., & Primavera, L.P. (2008). Cultivation of lemon basil, *Ocimum americanum*, in two different hydroponic configurations supplemented with various concentrations of tilapia aquaculture green water. *Bios*, 79(3), 92-102. [https://doi.org/10.1893/0005-3155\(2008\)79\[92:COLBOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1893/0005-3155(2008)79[92:COLBOA]2.0.CO;2)
- INAPESCA. (2013). Programa Institucional del INAPESCA 2013-2018. Disponible en línea: http://dolf.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=53563318 (consultado 14 de mayo del 2020).
- INIFAP. (2016). Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en línea: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=36379> (consultado 2 de mayo del 2020).
- Mariscal, L.M., Páez, O.F., Esquer, M.J., Guerrero, M.I., Romo, V.A., & Félix, G.R. 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill) with low salinity

- groundwater: management and production. *Aquaculture*, 366: 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L. R., & Ramos-Enríquez, R. (2009). Dinámica de crecimiento de peces y crustáceos. REDVET. *Revista electrónica de Veterinaria*, 10(10), 1-16.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1012. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>
- Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Alonso-López, A., & Salazar-Ortiz, J. (2015). Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema acuapónico abierto. *Agro Productividad*, 8(3), 20-25. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.352371>
- Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1(1), 21-31.
- Palm, H.W., Bissa, K., & Knaus, U. (2014). Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 7(3), 162-175.
- Paudel, S.R. (2020). Nitrogen transformation in engineered aquaponics with water celery (*Oenanthe javanica*) and koi carp (*Cyprinus carpio*): Effects of plant to fish biomass ratio. *Aquaculture*, 520, 734971. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734971>
- Perdomo Carrillo, D. A., Corredor, Z., & Ramírez-Iglesia, L. (2012). Características físico-químicas y morfométricas en la crianza por fases de la tilapia roja (*Oreochromis* spp.) en una zona cálida tropical. *Zootecnia Tropical*, 30(1), 099-108.
- Rakocy, J., Shultz, R. C., Bailey, D. S., & Thoman, E. S. (2003). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In *South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC* 648 (pp. 63-69).
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In *New dimensions on farmed Tilapia: proceedings of the sixth international symposium on Tilapia in Aquaculture, held September* (pp. 12-16).
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., & Losordo, T.M. (2006). Resirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. *Southern Regional Aquaculture Center*, VI (454), 1-16.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Giraldo, H. H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1-2), 32-51.
- Reyes, F. M., Sandoval, V. M., Rodríguez, M. N., Trejo, T. L. I., Sánchez, E. J. & Reta, M. J. (2016). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para la producción de *Salanum Lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3529-3542.
- Roosta, H.R. (2014). Comparison of the vegetative growth, eco-physiological characteristics and mineral nutrient content of basil plants in different irrigation ratios of hydroponic: aquaponic solutions. *J. Plant Nutr*, 37(11), 1782-1803. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.890220>
- Saavedra-Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. *Nicaragua, BIDEAUSAID*, 1-22.
- Savidov, N. A., Hutchings, E., & Rakocy, J. E. (2005). Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. In *International Conference and Exhibition on Soilless Culture: ICESC 2005* 742 (pp. 209-221). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.742.28>
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., & van Rijn, J. (2002). Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural engineering*, 26(3), 191-203.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (589), I.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G. y Schmidt, U. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. convetional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178, 135-344. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., & Vinci, B.J. (2002). *Recirculating aquaculture systems*. Ithaca, NY: USDA, 748 pp.
- Tyson, R. V., Simonne, E. H., Treadwell, D. D., White, J. M., & Simonne, A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience*, 43(3), 719-724. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.719>
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., & Simonne, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *HortTechnology*, 21(1), 6-13.