

Rendimiento productivo de un sistema acuapónico: análisis comparativo entre modalidad escalonada y por lotes

Jesús Josafat De León-Ramírez^{1*}, Juan Fernando García-Trejo¹, Carlos Francisco Sosa-Ferreira², Leticia Félix-Cuencas¹ y Samuel López-Tejeida¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, El Marqués, Querétaro, México.

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina, Querétaro, México.

*Autor de correspondencia: leonjjrmz@gmail.com

Palabras clave:

cultivo escalonado, cultivo por lotes, desempeño productivo, sistemas acuapónicos.

Enfoques Transdisciplinarios:
Ciencia y Sociedad, 3(1), 191-203.
ISSN. 3061-709X. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14712769>

Recibido: 17 de agosto 2024
Revisado: 11 de noviembre 2024
Aceptado: 29 de noviembre 2024
Publicado: 21 de enero 2025



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Resumen

Este estudio determinó el rendimiento productivo de un sistema acuapónico intensivo de tilapia (*O. niloticus*) y tomate (*S. lycopersicum*) operado bajo las modalidades por lotes (SAL) y escalonado (SAE) durante un ciclo productivo de 180 días. Se establecieron las siguientes variables de respuesta: en las plantas, peso seco (PS), tasa de crecimiento relativo (RGR), tasa de crecimiento del cultivo (CGR), tasa de supervivencia (SR) y producción por planta (PP). Para los peces las variables fueron: tasa de crecimiento (GR), factor de conversión alimenticia (FCR), tasa de eficiencia proteica (PER) y tasa de supervivencia (FSR). Los resultados mostraron que ambos sistemas mantienen condiciones adecuadas para el cultivo, pero el sistema escalonado (SAE) demostró un eficiencia productiva mayor en 35%. Estos hallazgos destacan la importancia del manejo adecuado en la acuaponía para maximizar el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo.

Introducción

La acuaponía se refiere al cultivo de peces y plantas en un mismo sistema de producción, en donde los residuos generados de la alimentación y metabolismo de los peces se transforman mediante conversión microbiana en nutrientes para las plantas, las cuales a su vez depuran y limpian el agua para los peces (Liang & Chien, 2013; Wongkiew et al., 2017; Li et al., 2018). Lo anterior resulta en el aprovechamiento integral de los recursos, con



una mínima liberación de nutrientes y aguas residuales. Con lo cual la acuaponía se posiciona como una alternativa de interés para la producción de alimentos en áreas con recursos limitados (Cerozi & Fitzsimmons, 2017).

Al interior de su sistema de cultivo acuapónico existen diversos factores que inciden directamente sobre el rendimiento del sistema, entre ellos, las variables fisicoquímicas del agua, tales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la concentración de compuestos nitrogenados (Sace & Fitzsimmons, 2013; Knaus & Palm, 2017). Asimismo, la selección de especies de peces y plantas, la densidad de cultivo y la calidad de los alimentos proporcionados son factores determinantes en la productividad del sistema (Yavuzcan et al., 2017; Estim et al., 2018). Por lo tanto, un manejo adecuado de estos factores es fundamental para mantener un equilibrio en el sistema y, a su vez, asegurar una buena producción.

En la acuaponía, al igual que en la acuicultura, los sistemas pueden ser operados bajo dos modalidades; por lotes, donde la producción se organiza en ciclos definidos y escalonada, en la que la producción se desarrolla de manera continua. La modalidad por lotes es la más mayormente utilizada debido a su simplicidad en cuanto a manejo y planificación. Sin embargo, esta modalidad puede presentar fluctuaciones en la calidad del agua y las concentraciones de nutrientes, lo que impacta en la productividad del sistema (Rakocy et al., 2003; Calone et al., 2019; Félix-Cuencas et al., 2021).

Por otro lado, la modalidad escalonada proporciona un flujo constante de nutrientes y una reduce la variación en la calidad del agua (Rakocy et al., 2003; Goddek et al., 2019). Pese a ello, esta modalidad ha sido menos abordada resultando en la carencia de estudios que analicen las diferencias en cuanto al rendimiento entre las dos estrategias de manejo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar el rendimiento productivo de un sistema acuapónico intensivo de tomate (*S. lycopersicum*) y tilapia (*O. niloticus*) operado bajo las modalidades escalonada y por lotes.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en la unidad acuícola del campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, en un área de 100 m² ubicada dentro de una estructura de invernadero (calibre 720), durante el período comprendido entre mayo y octubre.

Sistemas de cultivo

Se utilizaron seis sistemas acuapónicos, cada uno de ellos conformado por seis estanques de geomembrana con capacidad de 100 litros, un biofiltro tipo canasta, un reservorio de agua de 10 litros (para riego de las plantas) y cuatro camas de sustrato (fibra de coco) de 5.0 x 0.25 m cada una, con una superficie total de 5 m² (Figura 1).

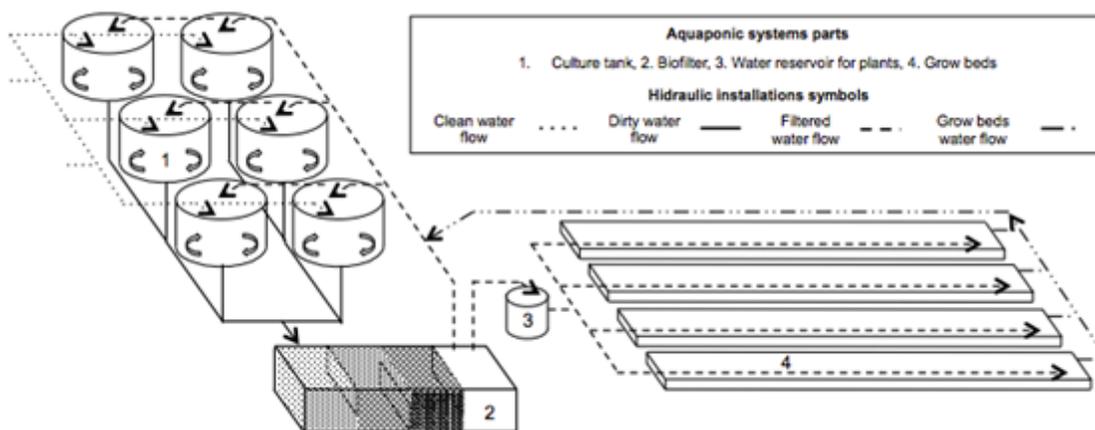


Figura 1. Esquema general de los sistemas acuapónicos utilizados
Fuente: elaboración propia

Material biológico

Se utilizaron 240 plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var. rio grande) de 40 días de germinación con una altura media inicial de $26,85 \pm 2.63$ centímetros. Asimismo, se utilizaron 432 alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con un peso medio inicial de $4,81 \pm 0,06$ gramos; 144 juveniles con un peso medio inicial de $50,85 \pm 0,04$ gramos y finalmente 144 adultos con un peso medio inicial de $150,85 \pm 0,04$ gramos. Durante el periodo experimental (180 días), las plantas de tomate fueron regadas tres veces al día, variando el volumen total de acuerdo con el estadio fisiológico (Tabla 1). Por su parte, los ejemplares de tilapia fueron alimentados tres veces al día con una dieta comercial y plan de alimentación de la marca MaltaCleyton® (Tabla 2).

Tabla 1. Descripción del manejo de la planta durante el periodo experimental

Etapa	Volumen de riego por planta	Horarios y ración de riego	Acciones particulares por etapa
Vegetativa	1.5 L	10:00 am (30 %)	Inicio de tutorero
Floración	2.4 L	14:00 pm (40 %)	Poda de hojas y brotes axiales
Fructificación	3.6 L		Clareo de frutos (6 por racimo)
Maduración	2.4 L	16:00 pm (30 %)	Corte de frutos (madurez 4)

Fuente: Mercado-Luna, 2007



Tabla 2. Descripción del plan de alimentación utilizado, la cantidad de alimento suministrado se ajustó en función de los datos biométricos semanales

Etapa	Rango de peso por pez	Porcentaje diario de alimento	Horarios de alimentación
Alevín	5 – 20 g	8 %	8:00 am (30 %)
Alevín	20 – 50 g	5 %	13:00 pm (40 %)
Juvenil	50 – 150 g	4 %	
Adulto	150 – 300 g	2 %	18:00 pm (30 %)

Fuente: MaltaCleyton®

Diseño experimental

Se contemplaron dos tratamientos con tres repeticiones: SAL = sistema acuapónico por lotes y SAE = sistema acuapónico escalonado (Tabla 3). En el tratamiento de manejo por lotes (SAL) y sus repeticiones se introdujeron 16 alevines en cada estanque del sistema (288 individuos en total). Para el inicio del tratamiento escalonado (SAE) y sus repeticiones se introdujeron 48 alevines en un estanque de cada sistema (144 totales), 24 tilapias juveniles en dos estanques por sistema (144 totales) y 16 tilapias adultas en tres estanques de cada sistema (144 individuos en total). Cada tratamiento (SAL y SAE) y sus repeticiones contaron con 10 plantas en cada cama de sustrato para un total de 40 plantas por sistema.

Tabla 3. Descripción del manejo de los peces en los tratamientos experimentales AB y AS, así como los controles utilizados

Acciones particulares por tratamiento	
SAL	SAE
Los peces de cada estanque (16) permanecieron en el mismo hasta el momento de la cosecha (180 días).	Cambios realizados a los 60 y 120 días del experimento 1. Los peces adultos fueron cosechados. 2. Los juveniles se redistribuyeron en los tres estanques para la etapa adulta. 3. Los alevines se redistribuyeron en los dos estanques para la etapa juvenil. 4. En el estanque para alevines se ingresaron nuevamente 48 individuos.

SAL: sistema acuapónico por lotes y SAE: sistema acuapónico escalonado.

Fuente: elaboración propia

Calidad del agua

El agua presente en los estanques fue monitoreada para las variables de temperatura, oxígeno disuelto y pH mediante un equipo Hach HQ40d®. Asimismo, se monitorearon las concentraciones de nitratos, nitritos y amoníaco no ionizado, los cuales fueron determinados mediante el espectrofotómetro Hach DR6000® bajo el método 8039, 8057 y 8038 respectivamente. Por otro lado, el agua destinada al riego de plantas fue monitoreada para las variables de oxígeno disuelto y pH con un equipo Hach HQ40d®. Cuando fue requerido, el pH fue ajustado a un valor



de 6 con ácido cítrico (Kang et al., 2011; Suárez-Cáceres et al., 2021); finalmente la conductividad eléctrica se monitoreó con el equipo Hanna® HI 98130.

Desempeño productivo

Para evaluar el efecto de la modalidad de cultivo acuapónico sobre el desempeño productivo de *S. lycopersicum*, se establecieron las siguientes variables de respuesta: peso seco (PS), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de supervivencia (TS) y producción por planta (PP). Mientras que, para *O. niloticus*, las variables de respuesta consideradas fueron: tasa de crecimiento (TC), factor de conversión alimenticia (FCA), eficiencia proteica (EP) y tasa de supervivencia (TSP). Finalmente, se realizó una relación costo-beneficio (RCB) para cada tratamiento.

$$\text{Peso seco (PS)} = \text{peso en gramos de la planta traa deshidratación a } 70 \text{ }^\circ\text{C durante } 72 \quad (1)$$

$$\text{Tasa de crecimiento relativo (TCR)} = \frac{(\ln PS_f - \ln PS_i)}{t} \quad (2)$$

$$\text{Tasa del crecimiento del cultivo (TCC)} = \frac{(1)(PS_f - PS_i)}{(SS)(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

Donde: PS_f es el peso seco final, PS_i peso inicial de la planta, SS es la superficie del suelo en cm² y T₂, T₁ tiempo en días.

$$\text{Tasa de sobrevivencia (TS)} = \frac{\text{Numero final de plantas}}{\text{Numero inicial de plantas}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Producción por planta (PP)} = \frac{\text{kilogramos de tomate}}{\text{m}^2} \quad (5)$$

$$\text{Tasa de crecimiento (TC)} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)} \quad (6)$$

$$\text{Factor de conversión alimenticia (FCA)} \% = \frac{\text{gramos de alimento consumido}}{\text{gramos de incremento en peso}} \quad (7)$$

$$\text{Eficiencia proteica (EP)} \% = \frac{\text{gramos de incremento en peso}}{\text{gramos de protein consumidos}} \quad (8)$$

$$\text{Tasa de sobrevivencia en peces (TSP)} = \frac{\text{Numero final de peces}}{\text{Numero inicial de peces}} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{Relación costo-beneficio (RCB)} = \frac{\text{Beneficios totales}}{\text{Costos totales}} \quad (10)$$



Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante el software JMP® (9.0.1). Los datos recolectados para cada una de las variables fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) expresando los resultados como media \pm desviación estándar. Asimismo, se realizó la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, utilizando un nivel de significancia $P < 0,05$.

Resultados y Discusión

Calidad del agua

Durante los 180 días de experimentación, los valores obtenidos en el monitoreo de la calidad del agua de los estanques se encontraron dentro de los rangos de tolerancia para el cultivo de *O. niloticus* (Tabla 4). Las variables de temperatura y pH en el agua de los peces no mostraron diferencias significativas, descartándose su interferencia sobre el comportamiento de los tratamientos. Por otra parte, la diferencia en la concentración de oxígeno disuelto está relacionada con el número de organismos en cada tratamiento. Siendo que la distribución escalonada implica un mayor número de individuos en el sistema y con ello mayor consumo de oxígeno (Tomalá et al., 2014). A pesar de lo anterior, los valores de oxígeno disuelto se mantuvieron dentro del rango de cultivo (Timmons & Ebeling, 2010), por lo que se infiere que dicha variable no limitó el crecimiento de los peces.

Tabla 4. Calidad del agua en los estanques durante el período experimental

Variable	Valores de referencia	SAL	SAE
Temperatura (°C)	20 - 32	24.4 \pm 1.3 ^a	24.2 \pm 1.2 ^a
pH	5 - 9	7.8 \pm 0.4 ^a	7.9 \pm 0.6 ^a
Oxígeno disuelto (mg/l)	4 - 9	6.95 \pm 0.45 ^a	5.31 \pm 0.52 ^b
Nitratos (mg/l)	< 300	39.32 \pm 3.65 ^a	28.37 \pm 2.96 ^b
Nitritos (mg/l)	< 5	1.96 \pm 0.26 ^a	1.17 \pm 0.21 ^b
Amonio no ionizado (mg/l)	< 2	1.18 \pm 0.14 ^a	0.76 \pm 0.09 ^b

Los valores se presentan como media \pm desviación estándar de las muestras colectadas. Valores con superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). SAL: sistema acuapónico por lotes y SAE: sistema acuapónico escalonado.

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la concentración de nitratos son comparables a los reportados por Roosta & Hamidpour (2011) y Yang & Kim (2019) en cultivos acuapónicos de tilapia-tomate, donde se obtuvieron concentraciones de 34.6 mg/L y 32.5 mg/L, respectivamente. En este estudio el valor presente en SAE ligeramente menor frente a SAL podría estar relacionado con una mayor tasa de absorción por parte de las plantas, lo que reduciría la acumulación de este compuesto en el agua del sistema (Reyes-Flores et al., 2017). Esto también podría explicar el mayor rendimiento obte-



nido, siendo que los nitratos son cruciales para el desarrollo vegetal siendo superior en 56 % y 95 % respectivamente de los trabajos mencionados.

En cuanto a los nitritos, el valor presente en SAL podría indicar un proceso de nitrificación menos eficiente, donde los nitritos no fueron convertidos adecuadamente en nitratos (Schmautz et al., 2016). Con respecto al amonio no ionizado, el comportamiento fue el mismo, siendo SAL el tratamiento con mayor concentración. Este resultado podría relacionarse a una mayor acumulación del compuesto en el sistema proveniente desde la etapa de alevín (Rakocy et al., 2003; Félix-Cuencas et al., 2021). Sin embargo, al igual que en los demás compuestos nitrogenados pese a las discrepancias, los niveles se mantuvieron dentro de rangos seguros para la tilapia (Timmons & Ebeling, 2010).

Los valores en los reservorios de agua para el riego de plantas se mantuvieron en el rango adecuado para el cultivo de *S. lycopersicum* (Tabla 5), lo que excluye la calidad del agua como un factor de intervención negativa sobre el objetivo del experimento. Los valores de pH en ambos sistemas estuvieron ligeramente por debajo del valor óptimo; no obstante, se encuentran en el rango que permite la correcta absorción de nutrientes (Sonneveld & Voogt, 2009). Los valores de conductividad eléctrica presentaron diferencias significativas a favor de SAE, lo que podría relacionarse con la presencia de peces en diferentes etapas de desarrollo. Esta variación implica una alimentación diversa, que contribuye de forma distinta a la producción de desechos nitrogenados, los cuales son transformados en nutrientes para las plantas (Goddek et al., 2020).

Tabla 5. Calidad del agua en los tanques para riego de plantas durante el período experimental

Variable	Valores de referencia	SAL	SAE
pH	5.5 - 6.5	5.7 ± 0.2 ^a	5.9 ± 0.3 ^a
Oxígeno disuelto (mg/l)	5 - 8	4.65 ± 0.34 ^a	4.82 ± 0.26 ^a
Conductividad eléctrica (mS)	1.5 - 2.5	1.8 ± 0.1 ^b	2.2 ± 0.2 ^a

Los valores se presentan como media ± desviación estándar de las muestras colectadas. Valores con superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). SAL: sistema acuapónico por lotes y SAE: sistema acuapónico escalonado.

Fuente: elaboración propia

Desempeño productivo

Los datos de desempeño productivo en las plantas presentaron diferencias significativas (Tabla 6). Los valores sobresalientes para las variables de PS, TCR, TCC y PP se generaron en SAE; mientras que la variable de sobrevivencia (TS) no mostró diferencia entre tratamientos ($P < 0,05$). El peso seco de las plantas en SAE fue significativamente mayor pudiendo relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes en el sistema. La tasa de crecimiento relativo y del cultivo presentó el mismo comportamiento que el PS, lo que concuerda con lo reportado por Wongkiew et al. (2017) donde mencionan que el manejo escalonado favorece al rendimiento



del cultivo. La producción por planta fue significativamente mayor en SAE. Esto destaca la eficiencia del manejo escalonado para optimizar la producción vegetal, lo que coincide con lo mencionado por Kloas et al. (2015), quienes observaron un incremento en la productividad de las plantas regadas con agua proveniente de peces de diferentes tamaños.

Tabla 6. Comportamiento productivo de *S. lycopersicum*. Los valores se presentan como media \pm desviación estándar del peso seco (PS), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de supervivencia (TS) y producción por planta (PP) al final de los 180 días de experimentación

Variable	SAL	SAE
PS (g)	285.24 \pm 15.34 ^b	314.67 \pm 13.62 ^a
TCR	0.0413 \pm 0.0005 ^b	0.0423 \pm 0.0004 ^a
TCC	0.0354 \pm 0.0003 ^b	0.0381 \pm 0.0002 ^a
TS (%)	70.2 \pm 4.7 ^a	74.1 \pm 6.1 ^a
PP (g)	627.64 \pm 31.54 ^b	783.23 \pm 22.87 ^a

Los valores se presentan como media \pm desviación estándar de las muestras colectadas. Valores con superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). SAL: sistema acuapónico por lotes y SAE: sistema acuapónico escalonado.

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, en el comportamiento productivo de los peces (Tabla 7), la TC en alevines fue significativamente mayor en SAL. Esta diferencia puede explicarse por la densidad de peces en cada sistema (Ani et al., 2022). La menor densidad en SAL pudo influir en la competencia por los recursos; situación contraria a SAE donde la competencia también pudo generar un entorno de estrés, lo que podría mermar la tasa de crecimiento (Wu et al., 2015; Yavuzcan et al., 2017). Los resultados de las variables FCA, EP y TS también reflejan el impacto de la densidad de peces; en el tratamiento SAL, una menor cantidad de peces permitió un entorno con menos competencia y menor estrés, lo que facilitó una conversión alimenticia más eficiente mediante un mejor aprovechamiento de las proteínas del alimento. En contraste, los factores asociados a una mayor densidad en SAE pueden haber incrementado la mortalidad de los peces (Wu et al., 2015; Setiadi et al., 2018).

Tabla 7. Comportamiento productivo de *O. niloticus*. Los valores se presentan como media \pm desviación estándar de la tasa de crecimiento (TC), factor de conversión alimenticia (FCA), eficiencia proteica (EP) y tasa de supervivencia (TSP), al final de la etapa de alevín, juvenil y adulto (60, 120 y 180 días respectivamente).

Variable	SAL			SAE		
	Alevín	Juvenil	Adulto	Alevín	Juvenil	Adulto
TC (g)	59.32 \pm 4.09 ^a	91.46 \pm 3.89 ^b	102.15 \pm 6.27 ^b	48.77 \pm 4.11 ^b	99.79 \pm 4.23 ^a	118.45 \pm 4.92 ^a
FCA	1.95 \pm 0.06 ^b	1.85 \pm 0.07 ^a	1.79 \pm 0.08 ^a	2.13 \pm 0.07 ^a	1.74 \pm 0.09 ^a	1.56 \pm 0.08 ^b
EP	1.26 \pm 0.03 ^a	1.57 \pm 0.05 ^b	1.73 \pm 0.07 ^b	1.17 \pm 0.05 ^b	1.64 \pm 0.06 ^a	1.85 \pm 0.05 ^a
TSP (%)	91.8 \pm 4.2 ^a	93.3 \pm 2.8 ^a	95.2 \pm 2.1 ^b	83.6 \pm 3.8 ^b	94.3 \pm 3.3 ^a	98.5 \pm 1.1 ^a

Los valores se presentan como media \pm desviación estándar de las muestras colectadas. Valores con superíndices diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$). * Variables adimensionales; SAL: sistema acuapónico por lotes y SAE: sistema acuapónico escalonado.

Fuente: elaboración propia



En la etapa juvenil el valor de TC favoreció el tratamiento escalonado (SAE), esto pese a contar con mayor densidad de organismos, por lo cual el resultado podría deberse al menor contenido de compuestos nitrogenados en este tratamiento con respecto a SAL, donde la mayor concentración de estos compuestos podría haber mermado ligeramente el crecimiento (Grabner & Junge, 2009; Goddek et al., 2015). El valor de FCA fue similar entre los tratamientos; sin embargo, la mayor eficiencia proteica (EP) se presentó en SAE, indicando una mejor asimilación de las proteínas en el alimento. Esto coincide con lo mencionado por Rakocy et al. (2006), donde se reporta una mejora en la eficiencia proteica con una mayor densidad de peces al ser acompañada de valores cercanos al óptimo en las condiciones fisicoquímicas del agua (temperatura 28 °C, pH 6, oxígeno disuelto 6 mg/l). Finalmente, las tasas de sobrevivencia no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, puesto que ambos sistemas mantuvieron la calidad de agua dentro de los valores de referencia para el desarrollo de los juveniles (Tabla 4).

En la etapa de adulto, la tasa de crecimiento (TC) fue significativamente mayor en SAE, este resultado puede estar relacionado con una menor acumulación de compuestos nitrogenados en el agua de dicho sistema, lo que favoreció el crecimiento de los peces (Ibrahim & Naggar, 2010). De igual manera, los valores de FCA y EP fueron superiores en el tratamiento escalonado (SAE). Además, la tasa de sobrevivencia también favoreció a SAE, lo que puede atribuirse a las condiciones de agua más estables y con ello menores factores de estrés en este sistema, lo cual ha sido reportado como un punto crucial para mejorar la supervivencia en sistemas acuapónicos (Yavuzcan et al., 2017).

Para la relación costo-beneficio (RCB), se consideró como “costo” únicamente los gastos operativos durante el ciclo productivo de 180 días; mientras que, como “beneficio”, se tomó en cuenta el ingreso por venta de los productos obtenidos en cada sistema (Tabla 8). El valor de RCB obtenido en el cultivo por lotes (SAL) es ligeramente menor al valor de referencia 1, siendo esto negativo para su viabilidad económica. En cambio, el valor de RCB en SAE indica su viabilidad económica; no obstante, con mejoras en ambos sistemas, la relación costo-beneficio podría incrementarse. De igual manera se destaca que bajo el manejo escalonado se obtienen mayores rendimientos en ambas especies, con un aumento del 48 % en tilapia y 16 % en tomate.

Tabla 8. Relación costo-beneficio de los tratamientos

	SAL	SAE
Costo (instalación y operativos)		
Alimento	\$ 720	\$ 685
Electricidad	\$ 1180	\$ 1180
Agua	\$ 360	\$ 360



Ácido cítrico (ajuste de pH)	\$ 212	\$ 229
Alevines / plántulas	\$ 500	\$ 1350
Costo total	\$ 2952	\$ 3804
<hr/>		
Beneficio (ingresos por ventas)		
<hr/>		
Tilapia	\$ 2170 *	\$ 4130 **
Tomate	\$ 717	\$ 865
Beneficio total	\$ 2887	\$ 4995
<hr/>		
Relación costo - beneficio	0.97	1.31

* El monto corresponde a la única cosecha realizada. ** El 80 % del monto corresponde a las tres cosechas realizadas, mientras que el porcentaje restante corresponde a los peces que permanecen en el sistema. Los montos fueron calculados con base al precio promedio por kilo del 16 - 31 de julio 2024 (\$27 jitomate y \$100 tilapia).

Fuente: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (2024) <http://www.economia-sniim.gob.mx/>

Conclusión

El estudio demuestra que ambos sistemas acuapónicos (SAL y SAE), operando con una densidad intensiva de peces (40 kg/m³), son capaces de mantener condiciones óptimas para el cultivo de *O. niloticus* y *S. lycopersicum*. Sin embargo, el sistema escalonado (SAE) destacó sobre el cultivo por lotes SAL por su mayor eficiencia tanto en términos productivos (52% más de biomasa) como económicos (35% más de utilidad), ubicándose como una opción más viable para su aplicación en el ámbito comercial; ya que este sistema no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también maximiza el aprovechamiento de los recursos en al menos un 20%, haciéndolo más competitivo. Por otro lado, aunque el sistema SAL es funcional, necesita mejoras para incrementar su viabilidad económica.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo para su realización.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada al primer autor.

Referencias

Ani, J. S., Manyala, J. O., Masese, F. O., & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries*, 7(3), 328-335. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>



- Calone, R., Pennisi, G., Morgenstern, R., Sanyé-Mengual, E., Lorleberg, W., Dapprich, P., ... & Gianquinto, G. (2019). Improving water management in European catfish recirculating aquaculture systems through catfish-lettuce aquaponics. *Science of the total environment*, 687, 759-767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.167>
- Cerozi, B. S., & Fitzsimmons, K. (2017). Phosphorus dynamics modeling and mass balance in an aquaponics system. *Agricultural systems*, 153, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.020>
- Estim, A., Saufie, S., Mustafa, S., (2018). Water quality remediation using aquaponics sub- systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100566. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.02.001>
- Félix-Cuencas, L., García-Trejo, J. F., López-Tejeda, S., León-Ramírez, J. J. D., & Soto-Zarazúa, G. M. (2021). Effect of three productive stages of tilapia (*Oreochromis niloticus*) under hyper-intensive recirculation aquaculture system on the growth of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(5), 689-701. <http://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue5-fulltext-2620>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R., (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Goddek, S., & Keesman, K. J. (2020). Improving nutrient and water use efficiencies in multi-loop aquaponics systems. *Aquaculture International*, 28(6), 2481-2490. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00600-6>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>
- Ibrahim, N., & Naggar, G. E. (2010). Water quality, fish production and economics of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus*, monoculture and polycultures. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(4), 574-582. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00397.x>
- Kang, Y. I., Park, J. M., Kim, S. H., Kang, N. J., Park, K. S., Lee, S. Y., & Jeong, B. R. (2011). Effects of root zone pH and nutrient concentration on the growth and nutrient uptake of tomato seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 34(5), 640-652. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.540621>
- Knaus, U., & Palm, H. W. (2017). Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring- summer conditions in northern Germany (Mecklen-



- burg Western Pomerania). *Aquaculture*, 473, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.020>
- Kloas, W., Groß, R., Baganz, D., Graupner, J., Monsees, H., Schmidt, U., ... & Renert, B. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts. *Aquaculture Environment Interactions*, 7(2), 179-192. <https://doi.org/10.3354/aei00146>
- Li, C., Zhang, B., Luo, P., Shi, H., Li, L., Gao, Y., ... & Wu, W. M. (2018). Performance of a pilot scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control. *Journal of Cleaner Production*. 208, 274-284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.170>
- Liang, J. Y., & Chien, Y. H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 693- 700. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.03.029>
- Mercado-Luna, A. (2007). *Manual de producción de jitomate (Lycopersicon esculentum) en variedades de crecimiento indeterminado bajo invernadero*. Universidad Autónoma de Querétaro
- 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. *ISHS Acta Horticulturae*, 648, 63-69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). *Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture (publication no. 454)*. Southern Regional Aquaculture Center. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant_culture
- Reyes-Flores, M., M. Sandoval-Villa., M. N. Rodríguez-Mendoza., L. I. Trejo-Téllez., J. Sánchez- Escudero y J. Reta-Mendiola. (2017). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3529-3542. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5884041>
- Roosta, H. R., & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 396-402. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.006>
- Sace, C.F. & Fitzsimmons, K.M., (2013). Vegetable production in a recirculating aquaponics using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with and without freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Academia Journal of Agricultural Research*. 1(12), 236–250. <https://doi.org/full/10.5555/20143125738>



- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Griessler Bulc, T., & Junge, R. (2016). Tomato productivity and quality in aquaponics: comparison of three hydroponic methods. *Water*, 8(11), 533. <https://doi.org/10.3390/w8110533>
- Setiadi, E., Widyastuti, Y. R., & Prihadi, T. H. (2018). Water Quality, Survival, and Growth of Red Tilapia, *Oreochromis niloticus* Cultured In Aquaponics System. *E3S Web of Conferences*, 47, 02006. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/20184702006>
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. (2024). *Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados*. Secretaría de Economía. Recuperado de <http://www.economia-sniim.gob.mx/>
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Nutrient solutions for soilless cultures. En C. Sonneveld & W. Voogt (eds.), *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 257-275). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6_12
- Suárez-Cáceres, G. P., Pérez-Urrestarazu, L., Avilés, M., Borrero, C., Eguíbar, J. R. L., & Fernández-Cabanás, V. M. (2021). Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. aquaponics systems. *Aquaculture*, 544, 737093. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093>
- Tomalá, D., Chavarría, J., & Escobar, B. E. (2014). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno de *Colossoma macropomum* en relación al peso corporal y temperatura del agua. *Latin American Journal Aquatic Reserch*, 42(5), 971-979. <http://dx.doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-4>
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). *Recirculating aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>
- Wu, H., Aoki, A., Arimoto, T., Nakano, T., Ohnuki, H., Murata, M., ... & Endo, H. (2015). Fish stress become visible: A new attempt to use biosensor for real-time monitoring fish stress. *Biosensors and Bioelectronics*, 67, 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.09.015>
- Yang, T., & Kim, H. J. (2019). Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae*, 256, 108619. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108619>
- Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/w9010013>

