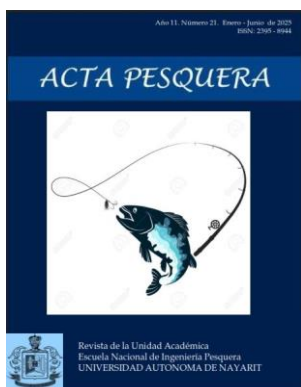




Revista ACTA PESQUERA.

Volumen 11 No. 21.

ISSN: 2395-8944

Periodo: Enero - Junio de 2025

San Blas, Nayarit. México

Pp. 40 - 54

Recibido: 20 de mayo de 2025

Aprobado: 29 de junio de 2025

DOI: 10.60113/ap.v11i21.149

Evaluación con modelos matemáticos de un sistema acuapónico con juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y tomate cherry (*Lycopersicum sculentum*) bajo recirculación continua y parcial de agua.

Evaluation using mathematical models of an aquaponic system with juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*), basil (*Ocimum basilicum*) and cherry tomatoes (*Lycopersicum sculentum*) under continuous and partial water recirculation.

Pacheco de la Torre, Yitzhak

ENIP-UAN.

YKPT@outlook.es,

<https://orcid.org/0009-0007-6985-6383>

Ruiz-Velazco, Javier M.J.

ENIP-UAN.

marcialj@uan.edu.mx,

<https://orcid.org/0000-0003-1193-2164>

Estrada-Perez, Nallely

ENIP-UAN.

nallely.estrada@uan.edu.mx,

<https://orcid.org/0000-0003-3343-3147>

Isiordia-Perez, Elifonso

ENIP-UAN

elifonso@uan.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6821-123X>

María Daniela Arvizu

ENIP-UAN

daniela.arvizu@uan.edu.mx,

<https://orcid.org/0009-0008-8404-2238>

Evaluación con modelos matemáticos de un sistema acuapónico con juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*), albahaca (*Ocimum basilicum*) y tomate cherry (*Lycopersicum sculentum*) bajo recirculación continua y parcial de agua.

Evaluation using mathematical models of an aquaponic system with juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*), basil (*Ocimum basilicum*) and cherry tomatoes (*Lycopersicum sculentum*) under continuous and partial water recirculation.

RESUMEN

La acuaponía es un modelo de cultivo sustentable para producción de peces y plantas. En este trabajo, se evaluó el rendimiento productivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)-albahaca (*Ocimum basilicum*) y tomate Cherry (*Lycopersicum sculentum*) utilizando dos tiempos de recirculación de agua: recirculación continúa (RC) y recirculación parcial (RP) de una hora por día, por seis semanas. Se utilizaron seis tanques con 70 peces cada uno, cuyos efluentes fueron derivados a canaletas con 15 plantas de tomate Cherry y 15 de Albahaca. Diariamente se midió el oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y pH; y semanalmente la longitud (cm) y el peso (g) del pez, así como la supervivencia (%) y el factor de conversión alimenticia (FCA). En las plantas, se evaluó la altura, largo, ancho (cm) y número de hojas. Adicionalmente, el crecimiento de los peces y de las plantas fue ajustado a modelos de crecimiento determinándose el peso final (W_f) y constante de crecimiento (k) para los peces y longitud final (L_f) y constante de crecimiento (k) para las plantas. Los mejores resultados se presentaron en el sistema con RP en tomate Cherry para el número de hojas (9.4 hojas ind⁻¹), largo y ancho de hoja (8.0 y 4.7 cm, respectivamente), pero para longitudes finales (L_f) de la planta la RC (23.6 cm). El mejor tratamiento para la Albahaca fue el de RP tanto para el número de hojas (17.4 hojas ind⁻¹), largo y ancho de la hoja (4.4 y 2.6 cm, respectivamente), así como para la longitud final (L_f) de la planta (16.54 cm). Los resultados pro-

ductivos en tilapia fueron: 45.37 g y FCA de 1.3 en RP; y en RC: 43.39 g y FCA de 1.2. Se concluye que, se obtuvo un mejor crecimiento de la planta en el sistema RC para el cultivo tilapia-tomate, mientras que, el tratamiento RP para el cultivo tilapia-albahaca.

PALABRAS CLAVE: Acuaponia, Recirculación continua, Recirculación parcial, Modelos de crecimiento

ABSTRACT

Aquaponics is a sustainable farming model for fish and plant production. In this study, the productive yield of tilapia (*Oreochromis niloticus*), basil (*Ocimum basilicum*) and cherry tomatoes (*Lycopersicum sculentum*) was evaluated using two water recirculation times: continuous recirculation (CR) and partial recirculation (PR) for one hour per day for six weeks. Six tanks were used, each containing 70 fish, whose effluents were diverted to channels with 15 cherry tomato plants and 15 basil plants. Dissolved oxygen (DO), temperature (T) and pH were measured daily, and the length (cm) and weight (g) of the fish, as well as survival (%) and feed conversion ratio (FCR) were measured weekly. The height, length, width (cm) and number of leaves of the plants were evaluated. In addition, the growth of the fish and plants was adjusted to growth models, determining the final weight (W_f) and growth constant (k) for the fish and final length (L_f) and growth constant (k) for the plants. The best results were obtained in the RP system in cherry tomatoes for the number of leaves (9.4 leaves ind⁻¹), leaf length and width (8.0 and 4.7 cm, respectively), but for final plant lengths (L_f), the RC (23.6 cm) was best. The best treatment for basil was RP for the number of leaves (17.4 leaves ind⁻¹), leaf length and width (4.4 and 2.6 cm, respectively), as well as for the final length (L_f) of the plant (16.54 cm). The production results for tilapia were: 45.37 g and FCA of 1.3 in RP; and in RC: 43.39 g and FCA of 1.2. It is concluded that better plant growth was obtained in

the RC system for the tilapia-tomato crop, while the RP treatment was better for the tilapia-basil crop.

KEYWORDS: Aquaponics, Continuous recirculation, Partial recirculation, Growth models

INTRODUCCIÓN

En 2022, la producción mundial de la pesca y la acuicultura alcanzó un máximo histórico de 223.2 millones de toneladas, por lo que, la acuicultura ha superado a la pesca de captura por primera vez, representando el 51% de la producción mundial de animales acuáticos (FAO, 2024). La tilapia es la segunda especie más importante en términos de la acuicultura (Baltazar, 2007; CONAPESCA, 2020), y México es considerado un productor muy importante.

Por otro lado, se ha observado que la demanda de tilapia ha ido en aumento, registrándose del período de 1994 a 2020 una tasa de crecimiento media anual de 1.75% (Urías-Sotomayor y Maeda-Martínez, 2023), a raíz de este crecimiento, se ha desencadenado una fuerte competencia por los recursos naturales (tierra y agua) y un incremento en el impacto ambiental (Nailor *et al.*, 2000; Dediu *et al.*, 2011). Existen diferentes técnicas de cultivo para disminuir el daño que se causa al ambiente producto de la acuicultura, como es el sistema biofloc y la acuaponia, ya que en este tipo sistema de producción, se obtiene un subproducto y mayores ganancias (Ornelas-Luna, 2017).

La acuaponia puede definirse como un sistema de recirculación acuícola (SRA) en combinación con la hidroponía, siendo un cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas (Ramírez *et al.*, 2008). Los desechos metabólicos disueltos en el agua son absorbidos por las plantas, lo que reduce la tasa de recambio de agua diario y su descarte hacia el ambiente; mientras que en el sistema de recirculación tradicional se trabaja con un recambio de agua del 5 al 10 % diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos (Caló, 2011).

Diversos modelos de producción han sido aplica-

dos a la acuicultura, particularmente a los cultivos de peces, moluscos y crustáceos para describir el crecimiento y la supervivencia, y determinar la biomasa. Para propósito de la presente investigación, el único trabajo que modela la producción de un sistema acuapónico es el de Estrada-Pérez *et al.* (2018) en el que se desarrolla un modelo de producción de tilapia, lechugas y pepinos en un sistema acuapónico con técnica de flujo de nutrientes (NFT).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la unidad de cultivos acuapónicos ubicado en la Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera (ENIP) de la Universidad Autónoma de Nayarit, el cual consistió en dos tratamientos hidropónicos: el tratamiento uno con recirculación continua (RC) como se muestra en la Figura 1a, y el tratamiento dos con recirculación parcial de una hora cada 24 horas (RP) como se muestra en la Figura 1b. Cada tratamiento estuvo integrado por tres repeticiones.

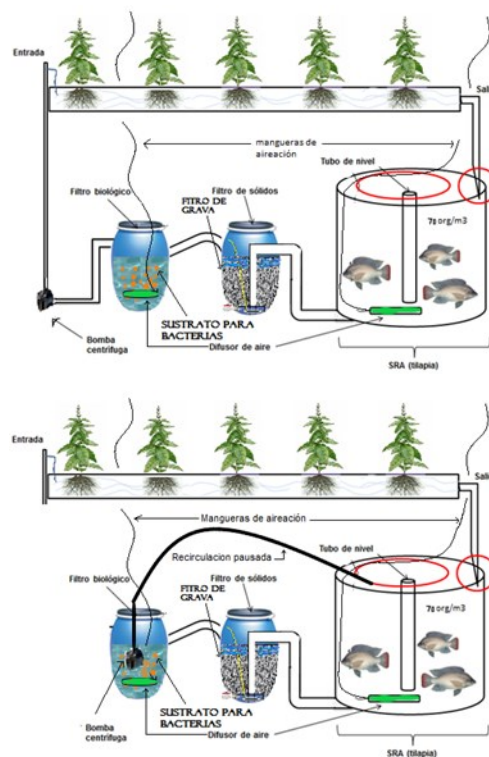


Figura 1. Diagrama del sistema acuapónico con recirculación continua (RC) (a) y recirculación parcial (RP) (b) empleado en el bioensayo (Castillo-Castellanos, 2016).

2.1. Tanque para peces

Se utilizaron tanques de material de polietileno color negro y fondo plano, mismos que fueron habilitados con un tubo de descarga de agua conectado a un sistema de filtración mecánica con capacidad de 250 L, éstos se habilitaron con un sustrato de grava para la remoción de sólidos, una manguera de aireación con un difusor de aire para favorecer la oxidación de los materiales orgánicos y la degasificación. En cada tanque se sembraron 70 tilapias (*Oreochromis niloticus*) de 7.2 gramos de peso y con una talla de aproximadamente 7 cm, en un volumen de 1000 L. Para los peces el tiempo de recirculación fue durante las 24 horas del día. El flujo de agua se realizó con una bomba centrífuga para cada sistema experimental.

2.2. Sistema hidropónico

El sistema hidropónico constó de seis canaletas de tubo de PVC hidráulico de 3.00 m de longitud y un diámetro de 10.16 cm (4"). A cada tubo se le hicieron cinco orificios con una separación de 54 cm entre ellos y con una distancia de 15 cm entre tubos para el cultivo de las plantas. Para la circular el agua a través de las canaletas se utilizó una bomba marca QUIET ONE, modelo 3000 con una carga dinámica de 1.8 m y caudal de 758 gal h⁻¹.

2.3. Filtro mecánico

El filtro mecánico se conectó al tanque de los peces por un tubo de PVC de 5.08 cm (2") de diámetro, éste se construyó con tubo de polietileno a una altura de 80 cm y una capacidad de 120 L. El filtro en su interior contenía grava gruesa y fina para la remoción de los sólidos y acoplado a una manguera de aireación con un difusor de aire para favorecer la oxidación de los materiales orgánicos y la degasificación.

2.4. Filtro biológico

El filtro biológico se construyó con un tanque de polietileno con fondo plano de 80 cm de altura y con una capacidad de 120 L. En su interior se rellenó con 2 kg de manguera naranja corrugada de 12.2

mm, cortada en trozos de un centímetro para la fijación de bacterias. El sistema de biofiltración permaneció con aireación durante todo el experimento y no se inocularon bacterias en el sistema.

2.5. Sistema de aireación

El sistema de aireación fue habilitado con un soplador de aire (Blower) con potencia de 1 Hp, el cual fue conectado a los estanques de peces, filtro mecánico y filtro biológico. La aireación fue conducida a través de una manguera transparente de un centímetro de diámetro con una terminal de manguera difusora de 15 cm tipo aerotubo. La aireación fue continua en el sistema durante el experimento

2.6. Maduración del sistema

Los tanques de cultivo se llenaron con agua de pozo previamente filtrada a un micrómetro. Una vez llenos los 6 tanques, se les agregó a cada uno 666.6 ml de hipoclorito de sodio (6 %). Transcurridas 6 horas se neutralizó el hipoclorito residual con 33.3 g de tiosulfato de sodio, utilizando aireación continua para facilitar la neutralización.

Después de cinco días, se agregarán 20 ml de potasio y 20 de magnesio a cada tanque para mejorar la composición de iones en el sistema de cultivo. Durante este periodo el sistema fue operado para favorecer su maduración del mismo, y transcurridas dos semanas, se inició la siembra de peces y plantas.

2.7. Cultivo de peces

El cultivo de peces se inició con la pre-engorda de un lote de alevines previamente masculinizado. La alimentación de los peces se llevó a cabo con alimento comercial marca NUTRIPEC migaja con 40 % de proteína con cuatro raciones diarias durante la primera semana. Después de este periodo, los peces fueron alimentados tres veces al día con migaja de 1.5 mm y con una ración que equivale al 5 % del peso de los organismos.

Una vez que los peces alcanzaron una talla promedio de 7.2 gramos, se trasladaron a los sistemas acuapónicos a una densidad de siembra de 70 peces por tanque de 1000 L de capacidad c/u y se cambió el alimento por pellet de desarrollo de 2 mm, con 35 % de proteína.

Se determinó el crecimiento de los peces mediante muestreos semanales, al recolectar datos biométricos de 20 organismos de cada uno de los seis tanques con una red, la cual fue sanitizada en una cubeta conteniendo agua clorada al 0.1 %, y en otra con tiosulfato de sodio (2 g por 20 L de agua) para su neutralización y evitar la contaminación cruzada. Posteriormente, se registró el peso (g) con una báscula marca OHAUS (5200g/1g) y se determinó la ración de alimento a suministrar.

Para evaluar la eficiencia alimenticia, se determinó el Factor de Conversión Alimenticia (FCA). Este se determinó al final del experimento, de acuerdo a Costa, *et al.* (2017) (Ecuación 1):

$$FCA = \frac{\text{cantidad de alimento suministrado}}{\text{biomasa total}} \quad (1)$$

La supervivencia semanal se estimó por diferencia entre la población al inicio de cada semana y el número de organismos muertos a la conclusión de la misma.

2.8. Cultivo de plantas

El cultivo de plantas se inició con la siembra de las semillas en charolas de germinación con sustrato peet para germinar las plantas de tomate Cherry (*Lycopersicum sculentum*) y albahaca (*Ocinum basilicum*) las cuales fueron adquiridas en una casa comercial local. Las charolas de germinación contaron con riego en dos horarios: por la mañana y por la tarde, una vez germinadas las plantas y evidentes las primeras cuatro hojas verdaderas, las plántulas fueron trasplantadas con una espátula, para colocarlas en vasos de crecimiento, utilizando guata como sustrato.

Cada sistema fue instalado con 15 plantas de tomate Cherry y 15 de Albahaca para iniciar al experimen-

to. Durante el experimento se realizó una biometría semanal de plantas en ambas especies seleccionadas (6) al azar por cada sistema. Se midió la altura de la planta (cm), el largo y ancho de la hoja y se contabilizó el número de hojas.

2.9. Modelos matemáticos de crecimiento

2.9.1. Modelo de crecimiento de tilapia

El peso de los organismos (w_i) en la semana t , se calculó con el modelo desarrollado por Ruiz-Velazco *et al.* (2010a, b):

$$w_t = w_i + (w_f - w_i) [(1 - k^t)/(1 - k^c)]^3 \quad (2)$$

donde w_i es el peso inicial (g), w_f es el peso final, t es el número de semanas a la cual se calcula w_f , k (coeficiente de crecimiento) es la tasa a la cual el peso cambia de su valor inicial a su valor final y c es número total de semanas que dura el cultivo. Para estimar los parámetros de crecimiento para cada tanque se utilizó regresión no lineal mediante Statistica v.7.0.

2.9.2. Modelo de crecimiento de lechuga y pepino

Para el cálculo del crecimiento en longitud de las plantas, se utilizó el modelo propuesto por Serna-Gallo *et al.* (2014):

$$L_t = L_i + (L_f - L_i) \left(\frac{1 - k^t}{1 - k^c} \right) \quad (3)$$

donde L_i y L_f son las tallas (longitudes) inicial y final, k es la tasa a la cual cambia L_t desde su valor inicial hasta su valor final, t es el número de unidades de tiempo para las que se predice L_t (vgr. 5, si L_t se predice para la quinta semana) y c es t para la semana en que se realiza la cosecha. Para estimar los parámetros de crecimiento se utilizó regresión no lineal mediante Statistica v.7.0.

2.10. Variables ambientales de los sistemas

Los parámetros físico-químicos: oxígeno disuelto, temperatura y pH, se midieron cada doce horas en

horarios de 6:00 a.m. y 6:00 p.m., mediante el uso de un equipo portátil multiparámetro marca HANNA modelo 2030, y con un medidor de pH portátil marca HANNA modelo HI98128.

2.11. Análisis estadístico

Después de la recolecta de datos, se realizó la verificación de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianza (prueba de Levin). Para definir el tipo de prueba a utilizar, se realizaron las comparaciones de medias para dos muestras, de los atributos de crecimiento y variables abióticas también consideradas como de manejo o de calidad del agua. Se aplicó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía, donde se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia del 5 y 10 %, se aplicó la prueba *Post Hoc* Scheffe. Estos análisis se realizaron con el programa computacional STATISTICA 7.0.

3. RESULTADOS

3.1. Variables ambientales (calidad de agua)

Los valores de las variables de calidad del agua que se registraron en el tanque de peces y el módu-

lo hidropónico se muestran en la Tabla 1. Las diferentes variables evaluadas en este bioensayo correspondiente al tanque de peces y las plantas de tomate Cherry y Albahaca, no presentaron diferencias entre ambos sistemas de cultivo (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración promedio $\pm$ desviación estándar de las variables de calidad de agua registradas en los componentes del sistema.

	Recirculación continua (RC)	Recirculación parcial (RP)
Variables	Tanque de peces	
OD (mg L^{-1})	4.85 ± 0.09^a	4.72 ± 0.07^a
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	29.83 ± 0.20^a	30.46 ± 0.12^a
pH	8.07 ± 0.03^a	8.07 ± 0.03^a
	Tratamiento hidropónico	
OD (mg L^{-1})	5.10 ± 0.02^a	4.56 ± 0.02^a
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	30.55 ± 0.23^a	30.42 ± 0.03^a
pH	8.16 ± 0.02^a	8.07 ± 0.00^a

3.2. Cultivo de peces

Crecimiento

Los datos obtenidos en el bioensayo mostraron un crecimiento de los organismos constante, manteniéndose así hasta el final del experimento. Podemos observar en los resultados que no hay una diferencia significativa ($P > 0.05$) en supervivencia, FCA y peso de las tilapias cultivadas con sistemas hidropónicos con RC y RP (Tabla 2).

Tabla 2. Valores biométricos de los peces <i>O. niloticus</i> en cada tratamiento del sistema hidropónico (promedio $\pm$ error estándar).		
Variable	Tratamiento hidropónico	
	Recirculación Continua (RC)	Recirculación Parcial (RP)
Días de cultivo	42	42
Supervivencia (%)	99.50 $\pm$ 0.57 ^a	100 $\pm$ 0.0 ^a
Peso inicial (g)	7.26 $\pm$ 0.15 ^a	7.26 $\pm$ 0.15 ^a
Peso final (g)	43.39 $\pm$ 5.63 ^a	45.37 $\pm$ 9.14 ^a
Longitud inicial (cm)	7.08 $\pm$ 0.08 ^a	7.08 $\pm$ 0.08 ^a
Longitud final (cm)	13.36 $\pm$ 0.78 ^a	13.25 $\pm$ 1.11 ^a
FCA	1.2 $\pm$ 0.4 ^a	1.3 $\pm$ 0.1 ^a

3.3. Cultivo de plantas

3.3.1. Tomate Cherry

Los datos biométricos obtenidos de las hojas de las plantas mostraron mayor crecimiento en el sistema con recirculación continua (RC) comparado con el sistema de recirculación parcial (RP), ya que mostró mayor crecimiento promedio en el largo y el ancho de las hojas (Tabla 3). Sin embargo, el sistema de recirculación parcial mostró mayor número de hojas al final del cultivo comparado con el sistema de recirculación continua. De acuerdo a los resultados anteriores, al final del cultivo, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los dos tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza de datos biométricos de las plantas de tomate *cherry* en cada tratamiento del sistema hidropónico.

Tratamien tos	No. hojas	Largo hoja (cm)	Ancho hoja (cm)
	7.5 $\pm$		
RC	1.8 ^a	10.3 $\pm$ 2.1 ^a	5.8 $\pm$ 1.2 ^a
	9.4 $\pm$		
RP	3.8 ^a	8.0 $\pm$ 2.4 ^a	4.7 $\pm$ 0.9 ^a

Nota: Media $\pm$ EE que comparten al menos un superíndice no son significativamente diferentes.

3.3.2. Albahaca

En el cultivo de albahaca, se muestra que el sistema con recirculación parcial (RP) fue el que obtuvo mejor desarrollo en cuanto a número y largo de la hoja con respecto al tratamiento con RC; coincidiendo los dos tratamientos (RC y RP) con el tamaño del ancho de la hoja (Tabla 4). El análisis de varianza al final del cultivo, no mostró diferencia significativa entre tratamientos en el número de hojas, largo y ancho de la hoja ($P > 0.05$), en los dos tratamientos.

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza de datos biométricos de las plantas de albahaca en cada tratamiento del sistema hidropónico.

Tratamien tos	No. hojas	Largo hoja (cm)	Ancho hoja (cm)
	12.6 $\pm$		
RC	6.3 ^a	3.5 $\pm$ 0.9 ^a	2.6 $\pm$ 0.5 ^a
	17.4 $\pm$		
RP	6.1 ^a	4.4 $\pm$ 0.2 ^a	2.6 $\pm$ 0.1 ^a

Nota: Media $\pm$ EE que comparten al menos un superíndice no son significativamente diferentes.

3.4. Modelos de crecimiento

3.4.1. Tilapia

El modelo utilizado para describir el crecimiento de la tilapia tuvo un ajuste significativo en todos los casos ($P < 0.05$), en términos del análisis de varianza de la regresión (Figura 3).

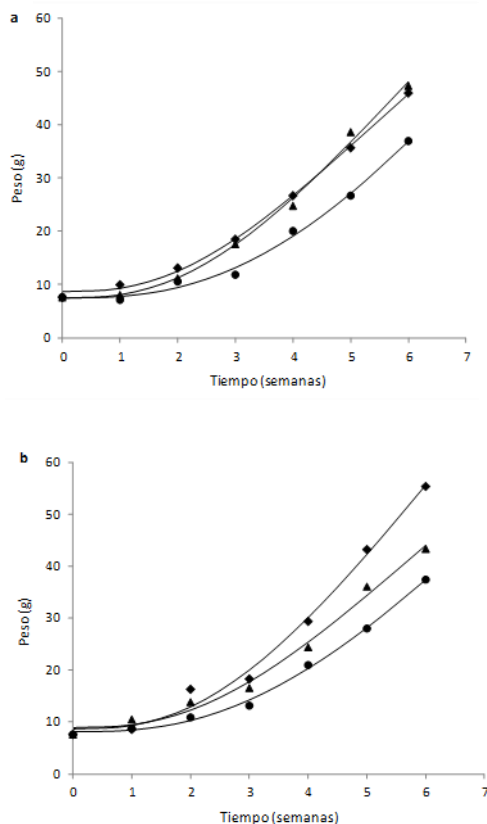


Figura 3. Curvas de crecimiento de tilapias ajustadas a los dos tratamientos de recirculación continua (a) y parcial (b) del efluente hidropónico.

Se observó que los peces alcanzaron mayor peso final promedio (45.37 g) cuando la recirculación del agua del efluente fue parcial (RP) en el sistema hidropónico (Figura 3). De igual manera en este sistema se obtuvo el mayor peso final a la semana seis (55.35 g).

Los parámetros del modelo de crecimiento (W_f , peso final; k , constante de crecimiento) no mostraron diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los dos tratamientos del sistema hidropónico (RC y RP) con respecto al crecimiento en peso de las tilapias.

3.4.2. Plantas

El modelo de crecimiento en función de la longitud de la planta de tomate y albahaca describió adecuadamente las curvas observadas en la base de datos, y se obtuvieron ajustes significativos en

términos del análisis de variancia de la regresión en todos los casos de RC (Figura 4a) y RP (Figura 4b) ($P < 0.05$).

3.4.2.1. Tomate cherry

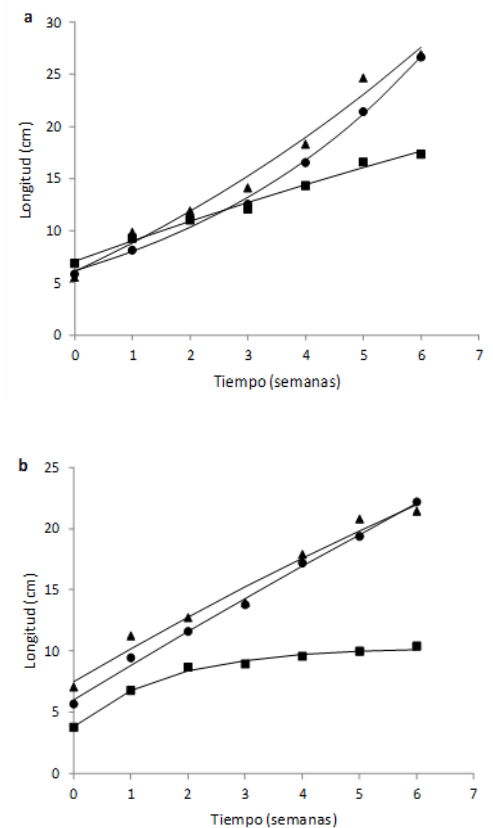


Figura 4. Curvas ajustadas de crecimiento de plantas de tomate cherry correspondientes a recirculación continua (a) y parcial (b).

Los resultados mostraron que las plantas de tomate Cherry alcanzan mayores longitudes (23.6 cm) cuando la recirculación del agua del efluente fue continua en el módulo hidropónico, en comparación con la recirculación parcial, cuyas longitudes alcanzaron en promedio 18 cm (Figura 5).

Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en la longitud final (L_f) y el coeficiente de crecimiento (k) ($P < 0.1$) que es la tasa a la cual el peso cambia de su valor inicial a su valor final, entre los dos tratamientos del sistema hidropónico (RC y RP) (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de los parámetros de crecimiento de las plantas de tomate cherry en cada tratamiento del sistema hidropónico.

Tratamiento			
os	L_f	k	P
RC	27.12 ± 0.62^a	1.17 ± 0.1^a	0.0073
RP	21.97 ± 0.09^b	0.97 ± 0.02^b	0.0957

Nota: Media $\pm$ EE que comparten al menos un superíndice no son significativamente diferentes.

3.4.2.2. Albahaca

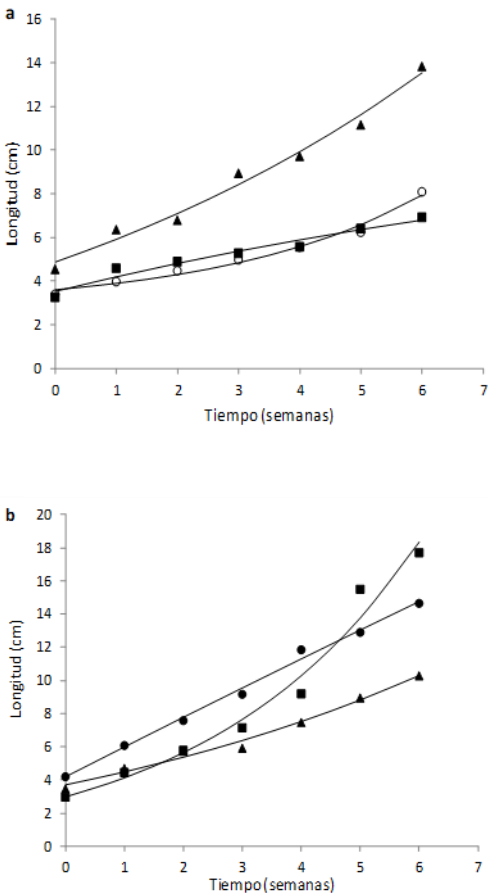


Figura 5. Curvas ajustadas de crecimiento de plantas de albahaca correspondientes a recirculación continua (a) y parcial (b).

Los resultados mostraron que las plantas de Albahaca alcanzan mayores longitudes (14.2 cm)

cuando la recirculación del agua del efluente es parcial en el módulo hidropónico, en comparación con la recirculación continua, cuyas longitudes alcanzaron en promedio 9.6 cm (Figura 5). Se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la longitud final (L_f) entre los dos tratamientos del sistema hidropónico (RC y RP) (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de los parámetros de crecimiento de las plantas de albahaca en cada tratamiento del sistema hidropónico.

Tratamiento			
os	L_f	k	P
RC	7.36 ± 0.8^a	1.14 ± 0.31^a	0.0396
RP	16.54 ± 2.5^b	1.15 ± 0.23^a	0.9563

Nota: Media $\pm$ EE que comparten al menos un superíndice no son significativamente diferentes.

4. DISCUSIÓN

Wallace-springer y colaboradores (2022), argumentan que los tiempos de circulación no afectan de manera significativa la concentración o el aumento del pH, la conductividad eléctrica y la temperatura. En su experimento, evaluó el efecto de los tiempos de retención de 4, 8, 12 y 16 días. En este trabajo, las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos se presentaron a lo largo del tiempo, habiendo cambios en el pH. En esta investigación, en ninguno de los aspectos del cultivo (calidad de agua), los tiempos de retención hidráulica tuvieron un efecto significativo, dicho resultado concuerda con lo reportado por Espinosa-Moya *et al.* (2016), quien establece que independientemente del flujo que se aplica, sus tratamientos obtuvieron resultados muy parecidos. En la acuaponía, las plantas juegan un papel preponderante en el mantenimiento de la calidad del agua, así como en la remoción de los nutrientes del sistema y disminuir los efectos negativos en el medio ambiente (Espinosa-Moya *et al.*, 2016).

El oxígeno es esencial para los tres organismos que participan en acuaponía; plantas, peces y bacterias nitrificantes, además para cubrir la demanda bioquímica en los procesos (Lezama-Cervantes *et al.*, 2010). El oxígeno disuelto (OD) es esencial para las bacterias nitrificantes que necesitan un nivel adecuado para crecer de forma saludable y mantener altos niveles de productividad, siendo los óptimos de 4-8 mg L⁻¹. Por otra parte, sin una suficiente concentración de OD (por debajo de 2 mg L⁻¹), la nitrificación no se produce y otro tipo de bacterias puede crecer, las cuales convertirían los nitratos a nitrógeno molecular en un proceso anaeróbico conocido como nitrificación muy perjudicial para el medio (Delgado-Gavilano, 2020).

Las fluctuaciones de oxígeno se mantuvieron constantes y no se presentó un aumento en la demanda de oxígeno por parte de los organismos en ambos sistemas. El valor promedio de oxígeno fue de 4.8 unidades, el cuál es muy cercano al óptimo tanto para peces, bacterias y plantas. Según Somerville *et al.* (2022), para un sistema acuícola en peces la concentración óptima de oxígeno es de 5 mg L⁻¹, por lo que creemos que esta variable no afectó ninguno de los resultados aquí mostrados.

La temperatura óptima para el cultivo de tilapia según Ornelas-Luna *et al.* (2017) es de 20 °C a 30 °C. Sin embargo, Lopez-Farfan y Martínez-Yáñez (2017) mencionan que el intervalo de temperatura para el desarrollo normal, reproducción y crecimiento de la tilapia está entre 20 y 35 °C. Los valores promedios obtenidos en este bioensayo (30 °C), están dentro del intervalo de los datos ya mencionados, la temperatura se mantuvo constante y no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ambos tratamientos. Por los antecedentes antes descritos, la temperatura no afectó el crecimiento de la tilapia.

Por otro lado, se establece que la temperatura es un factor limitante en el cultivo de Tomate Cherry, mencionando que la temperatura ideal es de 25 °C, sin embargo, el tomate tiene un intervalo óptimo

de 21-27 °C (Abdul-Baki y Stommel, 1995; Mazuela *et al.*, 2010; Sato *et al.*, 2000). Aunque en este trabajo no se evaluó la temperatura como variable de respuesta, se tuvieron temperaturas superiores a lo recomendado para tomate Cherry (30 °C), lo que sugiere que existe una alta probabilidad que el crecimiento hubiera sido afectado. Adicionalmente, Requejo-López (2008) menciona que, se debe mantener una humedad relativa del 60 % en el ambiente de esta especie de tomate, desafortunadamente en este bioensayo no fue evaluada esta variable. Sin embargo, se recomienda su medición para posteriores trabajos de investigación.

En el caso de la albahaca, la temperatura promedio registrada en este trabajo fue de 29.55 °C, no teniendo efecto en el crecimiento de la planta, ya que de acuerdo con Castro (2005), el desarrollo óptimo de la albahaca en un sistema hidropónico en invernadero, se requieren temperaturas de 24 a 30 °C durante el día y por la noche de 16 a 20 °C. Mientras que Jaramillo *et al.* (2017) establecen que la temperatura óptima está entre 21° y 27 °C, aún teniendo un promedio en el máximo intervalo (30 °C) no hay un efecto negativo en el crecimiento de la albahaca.

En el caso del pH, Rakocy *et al.* (2006) mencionan que el intervalo óptimo se encuentra entre 7 y 9 para sistemas acuapónicos. En el caso de este bioensayo, se mantuvo con valores máximos y mínimos de 7.9 a 8.4, dichos valores se consideran óptimos para un sistema acuapónico según lo mencionado anteriormente. El sistema que presentó valores de pH bajos fue el de recirculación continua, esto debido a la mayor absorción de los compuestos nitrogenados por parte de las plantas y las bacterias, la nitrificación produce ácido y el pH disminuye (Rakocy, 1994). Por su parte, el tratamiento con recirculación parcial, presentó el valor promedio más alto de pH (8.4), lo que sugiere una menor actividad microbiana respecto al sistema con recirculación continua (RC),

cuya variable está involucrada en los proceso de nitrificación y la generación de protones (H^+), acidificando el agua en los cultivos (Tyson *et al.*, 2008)

De acuerdo a los resultados del bioensayo, utilizando los parámetros del modelos de crecimiento de Ruiz-Velazco *et al.* (2010a,b) se puede observar que no hay una diferencia significativa ($P > 0.05$) en el peso final en los peces mantenidos en ambos tratamientos a lo largo del cultivo. Los resultados de este trabajo fueron similares a lo reportado por Endut *et al.* (2010), quienes evaluaron la tasa de carga hidráulica óptima en un sistema acuapónico con bagre africano (*Clarias gariepinus*) y la espinaca de agua (*Ipomoea aquatica*), no obteniendo diferencias significativas en el crecimiento del bagre africano por los tiempos de circulación (Endut *et al.*, 2010). Las buenas condiciones que prevalecieron en ambos sistemas durante el biosayo, permitió un crecimiento de los peces de manera similar.

Estos resultados muestran una alta supervivencia en las tilapias mantenidas en estos cultivos. De acuerdo a Sutthi *et al.* (2018), en cultivos con *O. niloticus* lograron supervivencias superiores al 90 % en el doble del tiempo aquí evaluado. Adicionalmente, Colorado-Gómez y Ospina-Correa (2019), lograron una supervivencia de 99 % en esta especie, lo que demuestra la resistencia o adaptabilidad de esta especie. El flujo de nutrientes generado en los tanques de cultivo de tilapia, aporta los requerimientos nutrimentales que son removidos por las raíces de las plantas, evitando la acumulación de estos compuestos en las unidades de cultivo (Rahmatullah *et al.*, 2010), estos aspectos sumados a la composición de oxígeno y temperatura, favorecen los parámetros productivos en las tilapias (Acevedo y Villamizar, 2020).

De acuerdo con Orozco y Velázquez (1988), establecen que el factor de conversión alimenticia (FCA) oscila entre 1.4 y 2.7 para el cultivo de tilapia. En el caso de este bioensayo, en ambos tratamientos, se obtuvieron valores que están por debajo de lo reportado por estos autores para un sistema de producción acuícola, pero que son muy similares a los

reportados por Aguilar (2020) en su bioensayo, quien evaluó la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) obteniendo un FCA de 1.2.

De acuerdo a la FAO (2005), en la nutrición y alimentación de los peces, algunos de los factores determinantes para obtener un buen FCA son las condiciones ambientales del estanque como la temperatura, el oxígeno, el pH, la salinidad y otros parámetros del agua que influyen en el metabolismo. Por lo anterior, un ambiente óptimo favorece un mayor consumo y aprovechamiento del alimento, repercutiendo en un menor FCA. Otros antecedentes muestran que para el caso de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), es una de las de mayor resistencia a variaciones ambientales, con pH 6 a 9 (Amal y Zamri-Saad, 2011), salinidad de 0 a 20 UPS, con problemas renales en salinidades superiores (Ali *et al.*, 2022) y temperaturas de 30-36 °C (El-Sherif y El-Feky, 2009). No obstante, los datos ambientales obtenidos en este trabajo fueron favorables para la tilapia.

La aplicación foliar de algunos macro y micronutrientes en plantas de tomate en sistemas acuapónicos tienen un efecto positivo. Roosta y Hamidpour (2011), establecen que el manejo de un cultivo de tomate en los sistemas acuapónicos es más difícil que los cultivos de hoja, porque las demandas de nutrientes de la planta cambian durante las diferentes etapas del crecimiento. Desde la germinación hasta el desarrollo de las primeras flores (aproximadamente 6 semanas), las necesidades de la planta son constantes. Una vez que la planta comienza a dar frutos, requiere más Ca, Mg y K (Nelson, 2008). En este trabajo, utilizando los parámetros del modelo de Serna-Gallo *et al.* (2014) en el caso del tomate Cherry, el sistema que presentó un mayor crecimiento fue el de recirculación continua, dado que obtuvo un mejor crecimiento final en

altura y largo de la hoja, en general, las plantas tuvieron un suministro constante de nutrientes por la continuidad de recirculación de agua. Shete *et al.* (2013), en su bioensayo sobre la optimización del período de circulación de agua para el cultivo de Goldfish con espinaca, señalan que las plantas con tiempos de retención hidráulica corta (de 4 a 8 días) están expuestas a un mayor suministro de nutrientes esenciales, comparados con tiempos de retención hidráulica más larga (Shete *et al.*, 2013).

En este estudio, utilizando los parámetros del modelo de crecimiento en longitud de Serna-Gallo *et al.* 2014, el sistema con recirculación parcial presentó mayor crecimiento de la planta de Albahaca, esto debido a una buena nitrificación que se generó por la presencia de nutrientes en el sistema. De acuerdo a Merlín y Martínez (2015), dos grupos bacterianos son relevantes para este tipo de cultivos y para estas especies (*Nitrosomonas* spp. y *Nitrobacter* spp.), las cuales se pudieron fijar a las raíces de la albahaca y ayudar en la mineralización de los nutrientes. De acuerdo a los resultados de amonio, sumado a las condiciones aeróbicas del sistema, se realizaron los procesos de nitrificación adecuadamente (Ortiz, 2011). La concentración de nutrientes en sus diferentes formas generadas a partir de la etapa de cultivo de peces, sugiere que fueron suficientes para cubrir los requerimientos de la albahaca. Para mayores densidades de plantas, se tendría que evaluar los requerimientos específicos de la planta de acuerdo a su etapa de desarrollo. Se concluye que los modelos utilizados para describir el crecimiento de la tilapia, del tomate Cherry y de la Albahaca, fueron satisfactorios para ambos tratamientos y que la Albahaca tuvo un mejor desarrollo en el sistema con recirculación parcial (RP) contrario al crecimiento del tomate Cherry que se

vio favorecido de mejor manera por un protocolo de recirculación continua (RC).

5. LITERATURA CITADA

- Abdul-Baki, A.A. y Stommel, J.R. (1995). Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum and high temperature regimes. *Hort Science*. 30:115-117. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.115>
- Acevedo, J. y Villamizar, C. (2020). Plan De Negocio Para Producción De Tilapia Roja En Estanques De Geomembrana Bajo Parámetros De Ambiente Controlado En El Municipio De La Mesa De Los Santos. Universidad Cooperativa de Colombia, Bucaramanga. 62 pp.
- Aguilar, A. (2020). Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Monografía Ing. Acuicultor. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Nicaragua. 58 pp.
- Ali, A., Azom, M.G., Sarker, B.S., Rani, H., Alam, M.S. y Islam, M.S. (2022). Repercussion of salinity on hematological parameters and tissue morphology of gill and kidney at early life of tilapia. *Aquaculture and Fisheries*. 9(2): 256-264. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.04.006>
- Amal, M.N.A. y Zamri-Saad, M. (2011). Streptococcosis in tilapia (*Oreochromis niloticus*): a review. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 34(2): 195-206.
- Baltazar, Paúl M. (2007). La Tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Revista Peruana de Biología*. 13(3): 267-273.
- Caló, P. (2011). Introducción a la acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. Consultado el 15 de septiembre 2023. <https://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Castillo-Castellanos, D., Zavala-Leal, I., Ruiz-Velazco, J.M.J., Radilla-García, A., Nieto-Navarro, J.T., Romero-Bañuelos, C.A. y González-Hernández, J. (2016). Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. *Aquaculture International*. 24(2): 637-646.
- Castro, R. (2005). Algunas notas sobre el cultivo de albahaca en un sistema hidropónico bajo invernadero, California USA. En: Hierbas Aromáticas culinarias para exportación en fresco. Curso de extensión. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Proyecto Hierbas Aromáticas. 15 pp.
- Colorado-Gómez, M.A. y Ospina-Correa, M. (2019). La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz. Centro de Biotecnología Agropecuaria. Colombia. 63 pp. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5555/acuaponia_como_herramienta_de_formaci%F3n.pdf?sequence=3
- CONAPESCA (2020). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2020. Consultado el 20 de enero 2024. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- Costa, A.P., Roubach, R., Dallago, B.S., Bueno, G.W., McManus, C. y Bernal, F.E. 2017. Influence of stocking density on growth performance and welfare of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cages. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 69 (1): 243-251.
- Dediu, L., Cristea, V., Docan, A., y Vasilean, I. (2011). Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standard and aquaponic system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 4(4): 495.
- Delgado-Gavilano, N. (2020). Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de Tilapia (*Oreochromis* sp.) en Acuaponía. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 144 p.
- El-Sherif, M.S. y El-Feky, A.M.I. (2009). Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. II. Influence of different water temperatures. *Int. J. Agric. Biol.* 11(3): 1814-9596.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W.W. y Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource technology*. 101(5): 1511-1517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>
- Espinosa-Moya, E.A., Angel Sahagún, C.A., Mendoza Carrillo, J.M., Albertos Alpuche, P.J., Álvarez-González, C.A. y Martínez-Yáñez, R. (2016). Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. *Aquacult. Res.* 47(6): 1716-1726.

- Estrada-Perez, N., Hernandez-Llamas, A., MJ Ruiz-Velazco, 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.
- FAO. (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas mundiales de los manglares-Preguntas frecuentes sobre la reciente evaluación de los manglares. Consultado el 22 de agosto 2023. <http://www.fao.org/forestry/mangrove/statistics/13547/es/>
- FAO. (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. 278 pp.
- García-Trujillo, Z.M. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. Sanitario, Universidad Nacional De Ingeniería, Perú. 282 p.
- Gutierrez-Wing, M.T. y Malone, R.F. (2006). Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*. 34(3): 163-171.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Gil, L., García, M., Clímaco, J., Quevedo, D., Sánchez, G., Aguilar, P., Pinzón, L., Zapata, M., Restrepo, J. y Guzmán, M. (2017). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria: Corpoica. 482 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13320>
- Lennard, W.A. y Leonard, B.V. (2004). A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 12: 539-553.
- Lewis, W.M., Yopp, J.H., Schramm, H.L. y Brandenburg, A.M. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Trans Am Fish Soc*. 107(1): 92-99.
- Lezama-Cervantes, C., Paniagua-Michel, J.D.J. y Zamora-Castro, J. (2010). Biorremediación de los efluentes de cultivo del camarón *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) utilizando tapetes microbianos en un sistema de recirculación. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 38(1): 129-142. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue1-fulltext-12>
- López-Farfán, D.E. y Martínez-Yáñez, R. (2017). Determinación del TRH para el crecimiento de lechugas en sistemas acuapónicos, resultados preliminares. *Jóvenes en la ciencia*. 2(1): 1439-1443
- Makri, O. y Kintzios, S. (2008). *Ocimum* sp. (Basil): Botany, Cultivation, Pharmaceutical Properties, and Biotechnology. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*. 13(3): 123-150.
- Mazuela, P., Acuña, L., Álvarez, M. y Fuentes, Á. (2010). Producción y calidad de un tomate cherry en dos tipos de invernadero en cultivo sin suelo. *Idesia (Arica)*. 28(2): 97-100. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000200012>
- Merlín, C. y Martínez, Y. (2015). Capacidad de absorción de nitratos de plantas acuáticas cultivadas en acuaponía. *Revista de Divulgación Científica*. 1(2): 1-5.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., and Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405:1017-1024
- Nelson, R.L. (2008). *Aquaponic Food Production*. Nelson and Pade Inc. Press, Montello, WI, USA, 218 p.
- Ornelas-Luna, R., Aguilar Palomino, B., Hernández Díaz, A., Hinojosa Larios, J.Á. y Godínez Siordia, D.E. (2017). A sustainable approach to tilapia aquaculture. *Acta Universitaria*. 27(5): 19-25.
- Orozco, C. y Velázquez, M. L. (1988). Perfiles de la alimentación de peces y crustáceos en los centros y unidades de producción acuícola en México. *Secretaría de Pesca*. 522p. <https://www.fao.org/3/AB460S/AB460S00.htm#TOC>
- Ortiz, I.S. (2011). Sistemas de Recirculación Intensivos y con bajo Recambio: Factores Limitantes y Opciones de Solución. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 5(5).
- Pérez, J.E. (1996). Mejoramiento genético en acuicultura. Editorial Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 178 p.
- Rahmatullah, R., Das, M. y Rahmatullah, S.M. (2010). Suitable stocking density of tilapia in an aquaponic system. *Bangladesh. Fisheries Research*. 14(1-2): 29-35.
- Rakocy, J.E. (1994). Aquaponics: the integration of fish and vegetable culture in recirculating systems. 30 Thirtieth Annual Meeting 1994. Vol XXX. DOI: 10.22004/ag.econ.258746

- Rakocy, J.E., Masser, M.P. y Losordo, T.M. (2006). Recirculación de sistemas de producción de tanques de acuicultura: cultivo de peces y plantas integradores de acuaponia. Publicación de SRAC. 454: 1-16.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P. y Giraldo, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Revista Facultad de Ciencias Básicas. 4(1-2): 32-51.
- Requejo-López, R. (2008). Acondicionamiento nutricional de plántulas y optimización de sustratos en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 164 p.
- Roosta, H. R. y 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.
- Ruiz-Velazco, J. M., Hernández-Llamas, A., & Gomez-Muñoz, V. M. (2010). Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquacultural Engineering. 43(3): 114-119.
- Ruiz-Velazco, J. M., Hernández-Llamas, A., Gomez-Muñoz, V. M., & Magallon, F. J. (2010). Dynamics of intensive production of shrimp *Litopenaeus vannamei* affected by white spot disease. Aquaculture. 300(1-4): 113-119.
- Sato, S., Peet, M. y Thomas, J.F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. Plan Cell Environ. 23: 719-726. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00589.x>
- Serna-Gallo, I., Ruíz-Velazco, J. M., Acosta-Salmón, H., Peña-Messina, E., Torres-Zepeda, G., & Saucedo, P. E. (2014). Growth and reproduction patterns of the winged pearl oyster, *Pteria sterna* cultivated in tropical environments of Mexico: implications for pearl farming. Ciencias Marinas. 40(2): 75-88.
- Shete, A.P., Verma, A.K., Tandel, R.S., Prakash, C., Tiwari, V.K. y Hussain, T. (2013). Optimization of water circulation period for the culture of goldfish with spinach in aquaponic system. Journal of Agricultural Science. 5(4): 26.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2022). Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589. FAO, Roma. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Sutthi, N., Thaimuangphol, W., Rodmongkoldee, M., Leelapatra, W. y Panase, P. (2018). Growth performances, survival rate, and biochemical parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in water treated with probiotic. Comparative Clinical Pathology. 27: 597-603.
- Tyson, R.V., Simonne, E.H., Treadwell, D.D., White, J.M. y Simonne, A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite bio-filters. HortScience. 43(3): 719-724. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.719>
- Urias-Sotomayor, R., & Maeda-Martínez, A.N. (2023). La producción de tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) en México como una alternativa para fortalecer la seguridad alimentaria nacional. Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional. 33(62).
- Wallace-Springer, N., Wells, D.E., Pickens, J.M., Ayipio, E. y Kemble, J. (2022). Effects of Hydraulic Retention Time of Aquaculture Effluent on Nutrient Film Technique Lettuce Productivity. Agronomy. 6-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102570>
- Yang, H., Fang, Y. y Chen, Z. (2003). Sistemas integrados de cultivo de peces en pastizales en China (p. 159). FAO/ICLARM/IIRR (Ed.). Agroacuicultura integrada: Manual básico. Roma: FAO. 407 p.

