

Estudio de factibilidad de un policultivo acuapónico bajo invernadero

Samuel López-Tejeida¹, J. Josafat De león-Ramírez¹, Leticia Félix-Cuencas¹, Sergio Alonso Martínez-Ramos²

¹ Laboratorio de Bioingeniería. Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, El Marqués, Querétaro, México.

² Laboratorio de Diseño de Innovación Social. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

*Corresponding author, e-mail addresses: leonjrmz@gmail.com

Resumen

La acuaponía es cuestionada sobre su viabilidad en cuanto a la cantidad y calidad de los productos que permite generar. Es así que diversos estudios se centran en establecer las relaciones entre peces y plantas que permitan los mayores rendimientos, sin llegar a explorarse la opción de vincular más de una especie acuática y vegetal en cada ciclo de producción. Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la factibilidad de un policultivo acuapónico, integrado por tilapia-bagre y lechuga-espínaca. Se utilizaron tres tratamientos: tilapia con lechuga-espínaca (T₁), bagre con lechuga-espínaca (T₂) y tilapia-bagre con lechuga-espínaca (T₃). Se establecieron como variables de respuesta: tasa de crecimiento (TC), factor de conversión alimenticia (FCA), eficiencia proteica (EP) y tasa de sobrevivencia (TS) para el caso de los peces. Asimismo, se establecieron como variables en plantas: la tasa de crecimiento en planta (TCP), altura de plata (AP) y tasa de sobrevivencia de planta (TSP). Los resultados sugieren que los cultivos con una sola especie acuática contribuyen de mayor manera al crecimiento de la misma; sin embargo, la asociación de dos organismos acuáticos favorece el crecimiento de las plantas

Palabras clave: calidad de agua, desempeño productivo, policultivo, rendimiento

Abstract

Aquaponics is questioned about its viability in terms of the quantity and quality of the products that it allows to generate. Thus, various studies have focused on establishing the relationships between fish and plants that allow the highest performance; without even exploring the option of linking more than one aquatic and plant species in each production cycle. Therefore, the aim of this work is to determine the feasibility of an aquaponic polyculture, integrated by tilapia-catfish and lettuce-spinach. Three treatments were used: tilapia with lettuce-spinach (T₁), catfish with lettuce-spinach (T₂) and tilapia-catfish with lettuce-spinach (T₃). The response variables were established: growth rate (GR), feed conversion factor (FCF), protein efficiency (PE) and survival rate (SR) in the case of fish; Likewise, the plant growth rate (PGR), plant height (PH) and plant survival rate (PSR) were established as variables in plants. The results suggest that culture with a single aquatic species contributes more to its growth; however, the association of two aquatic organisms favors the growth of plants.

Keywords: Water quality, productive performance, polyculture, performance

Artículo arbitrado

Recibido:

15 de febrero de 2023

Aceptado:

27 de febrero de 2023

Introducción

La acuaponía hace referencia al cultivo de peces y plantas en un mismo sistema de producción; es decir es el resultado de la integración de la acuicultura y la hidroponía bajo un sistema de recirculación cerrado (Forchino et al., 2017). Los residuos generados a partir del crecimiento de los peces son aprovechados tras una conversión microbiana como nutrientes por las plantas involucradas, las cuales a su vez brindan una depuración y limpieza del agua requerida por los peces (Wongkiew et al., 2017).

La acuaponía es una alternativa ideal para solucionar la problemática para los acuicultores, para aprovechar el agua residual con altas concentraciones de nitrógeno (Gómez et al., 2022) y así, solventar el problema sobre el abastecimiento de nitrógeno para sus plantas (Lira-Saldivar et al., 2018). Es así que, la acuaponía es uno de los sistemas de producción agroalimentaria, que puede contribuir a la sustentabilidad (Forchino et al., 2017). Sin embargo, aún se tienen algunos desafíos por subsanar, derivados de la complejidad de integración y generación de condiciones propicias para el crecimiento y desarrollo de sus componentes biológicos (peces, plantas y bacterias nitrificantes), lo que impide obtener una alta productividad en los cultivos (Naspirán-Jojoa et al., 2022).

En este sentido, en estudios previos con sistemas acuapónicos se han evaluado las relaciones entre peces y plantas que permitan las mayores tasas de crecimiento. Por otro lado, se ha explorado la opción de vincular más de una especie acuática y vegetal en el mismo ciclo de producción, a pesar de que los policultivos en los sistemas acuapónicos podrían contribuir a un eficiente reciclado de nutrientes y a la integración de los procesos biológicos y químicos de los organismos involucrados en el sistema; todo lo anterior logra mantener la estabilidad en el medio.

La integración de sistemas de policultivo acuapónico puede repercutir en la diversificación de la producción, con una disminución sustancial al impacto ambiental e incrementar las ganancias

económicas. Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la factibilidad de implementar un policultivo acuapónico a partir de su rendimiento y balance económico.

Metodología

Sistema de cultivo

Se establecieron tres sistemas acuapónicos, cada uno de los cuales estuvo integrado por un estanque de geomembrana con capacidad máxima de 500 litros (manteniendo un volumen de 350 L), un filtro tipo canister y dos bandejas plásticas con placa de poliestileno para el cultivo de las plantas (raíz flotante) cada una de 0.5 m² de área (Figura 1). Para la recirculación, cada sistema contó con una bomba sumergible de 65 W, con una tasa de flujo de 18 L/min.

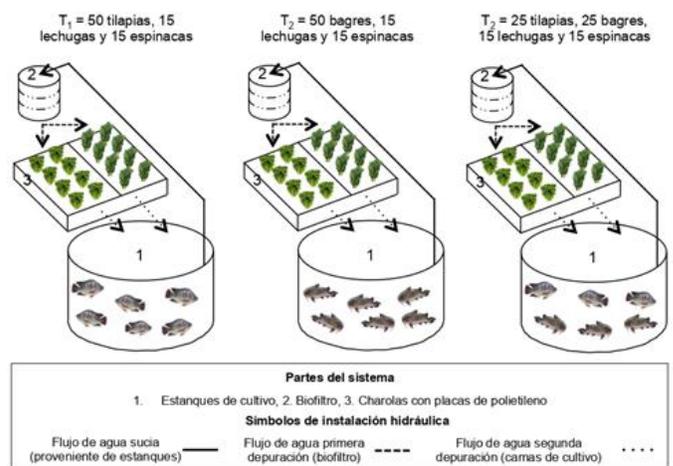


Figura 1. Esquema general de los sistemas acuapónicos empleados. Fuente: Elaboración propia.

Para el estudio, se emplearon 90 plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) con una altura inicial media de 5.27 ± 0.21 mm y 90 plantas de espinaca (*Spinacia oleracea*) con una altura inicial media de 5.27 ± 0.21 mm. Durante el periodo experimental, se llevaron a cabo dos ciclos de producción de las plantas (cada uno de 60 días), en los que se usaron 45 plantas por especie, para lo cual fueron repartidos 15 plantas por tratamiento.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental fue de 50 individuos, los cuales fueron alimentados con una dieta de la marca Malta-Cleyton® (Tabla 1). Los tratamientos estuvieron constituidos de la siguiente manera: T₁ (50 alevines de tilapia), T₂ (50 alevines de bagre) y T₃ (25 alevines de tilapia junto con 25 de bagre); en cada uno de los tratamientos se colocaron además 15 plantas de lechuga y 15 de espinaca.

Rango de peso por pez	Porcentaje de alimento	Horarios de alimentación
5 – 20 g	8 %	9:00 am (30 %)
20 – 50 g	5 %	2:00 pm (40 %)
50 – 200 g	4 %	6:00 pm (30 %)

Tabla 1. Descripción del plan alimenticio empleado durante el período experimental (recomendación por parte de la marca Malta-Cleyton®). La cantidad de alimento suministrado fue ajustada a partir de biometrías realizadas semanalmente.

Parámetros de calidad de agua

El agua de los tanques fue monitoreada diariamente en las variables de temperatura, pH y oxígeno disuelto, usando el equipo Hach HQ40d®. Asimismo, se monitorearon semanalmente las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio y fosfato mediante el equipo Hach DR6000® bajo el método 8039, 8057, 8038 y 8180 respectivamente.

Desempeño productivo

Para evaluar la factibilidad de implementar un policultivo acuapónico entre tilapia-bagre y lechuga-espinaca sobre el desempeño productivo se establecieron como variables de respuesta en los peces: la tasa de crecimiento (TC), el factor de conversión alimenticia (TCA), la eficiencia proteica (EP) y la tasa de sobrevivencia (TS):

$$TC (g) = \text{Peso final (g)} - \text{peso inicial (g)} \quad (1)$$

$$FCA (\%) = \frac{\text{gramos de alimento consumido}}{\text{gramos de incremento en peso}} \quad (2)$$

$$EP (\%) = \frac{\text{incremento en peso}}{\text{gramos de proteína ingerida}} \quad (3)$$

$$TS (\%) = \frac{\text{Cantidad final de individuos}}{\text{Cantidad inicial de individuos}} \times 100 \quad (4)$$

Mientras que, las variables de respuesta establecidas para las lechugas y espinacas fueron: la tasa de crecimiento en planta (TCP), la altura de la planta (AP) y la tasa de sobrevivencia de planta (TSP) usando las siguientes formulas:

$$TCP (g) = \text{Peso final (g)} - \text{peso inicial (g)} \quad (5)$$

$$AP (mm) = \text{Altura final} - \text{Altura inicial} \quad (6)$$

$$TSP (\%) = \frac{\text{Cantidad final de plantas}}{\text{Cantidad inicial de plantas}} \times 100 \quad (7)$$

Rendimiento del cultivo

Como rendimiento de un cultivo, se consideró la cantidad de biomasa generada por unidad experimental; el rendimiento de peces (RPE) y de plantas (RPL), se determinó a partir de la siguiente fórmula:

$$RPE = \frac{\text{Kilogramos de peces}}{\text{metro cúbico}} \quad (8)$$

$$RPL = \frac{\text{Kilogramos de plantas}}{\text{metro cuadrado}} \quad (9)$$

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante el *software* JMP® (9.0.1). Los datos recolectados para cada una de las variables se sometieron 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

Calidad de agua

Durante los 120 días de experimentación (considerando dos ciclos de producción de lechuga y acelga), los resultados de los parámetros de calidad de agua estuvieron dentro de los rangos de tolerancia para el cultivo de *O. niloticus* (Tabla 2); por lo que se considera que la calidad de agua se mantuvo por la acción del biofiltro y la absorción de las raíces de plantas.

Variable	T ₁ Tilapia	T ₂ Bagre	T ₃ Tilapia - bagre
Temperatura (°C)	23.4 ± 1.6 ^a	22.6 ± 1.8 ^a	23.1 ± 1.4 ^a
pH	7.5 ± 0.3 ^a	6.4 ± 0.4 ^b	6.9 ± 0.4 ^{ab}
Oxígeno Disuelto (mg/l)	6.73 ± 0.75 ^a	6.82 ± 0.62 ^a	6.84 ± 0.78 ^a
Nitratos (mg/l)	39.17 ± 4.93 ^a	32.08 ± 3.65 ^{ab}	24.05 ± 4.59 ^b
Nitritos (mg/l)	1.26 ± 0.14 ^a	1.17 ± 0.16 ^a	1.03 ± 0.15 ^a
Amonio (mg/l)	1.09 ± 0.14 ^a	0.76 ± 0.16 ^b	0.81 ± 0.13 ^b
Fosfato (mg/l)	0.42 ± 0.05 ^b	0.55 ± 0.06 ^a	0.52 ± 0.06 ^{ab}

Tabla 2. Calidad del agua durante el período experimental. Los valores se presentan como media ± desviación estándar de las muestras recolectadas. Valores con diferentes superíndices presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los valores de referencia para cultivo de tilapia y bagre corresponden a Temperatura 20 – 32 °C, pH 5 – 9, Oxígeno 4 – 9, nitratos < 300, nitritos < 5, amonio < 2 y fosfato < 1.4

Desempeño productivo

En el caso de las tilapias, el desempeño productivo presentó diferencias significativas (Tabla 3). La TC de las tilapias en T₁ fue significativamente superior a las presentes en T₃; sin embargo, presentaron menor FCA y EP. Por su parte, los bagres tuvieron una TC similar entre tratamientos. Los valores de FCA y EP de los bagres de T₃ fueron significativamente superiores a los de T₂. Finalmente, la TS de ambas

especies (tilapias y bagres) no presentó diferencias entre tratamientos.

Variable	T ₁ Tilapia	T ₃ Tilapia
	Peso inicial (g)	5.21 ± 0.13
Peso final (g)	137.92 ± 4.68	123.14 ± 3.38
TC (g)	132.71 ± 3.65 ^a	117.81 ± 2.97 ^b
FCA	1.94 ± 0.06 ^a	1.61 ± 0.05 ^b
EP	1.14 ± 0.02 ^b	1.37 ± 0.03 ^a
TS (%)	76 ± 2 ^a	76 ± 2 ^a
Variable	T ₂ Bagre	T ₃ Bagre
	Peso inicial (g)	9.72 ± 0.35
Peso final (g)	121.09 ± 4.09	118.14 ± 3.75
TC (g)	108.37 ± 3.83 ^a	111.29 ± 2.44 ^a
FCA	1.89 ± 0.05 ^a	1.67 ± 0.02 ^b
EP	1.17 ± 0.02 ^b	1.41 ± 0.03 ^a
TS (%)	78 ± 2 ^a	76 ± 2 ^a

Tabla 3. Rendimientos productivos de los organismos acuáticos. Se presentan las medias ± desviación estándar de la tasa de crecimiento (TC), la tasa de supervivencia (TS), la tasa de conversión alimenticia (FCA), la tasa de eficiencia proteica (EP) y tasa de sobrevivencia (TS) tras 120 días de experimentación. Los datos referentes a las tilapias se contrastan solo entre T₁ y T₃; mientras que, en lo que concierne a los bagres, se toman sólo los datos entre T₂ y T₃. Valores con diferentes superíndices presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Por otra parte, las plantas en T₂ y T₃ tuvieron un crecimiento similar, donde fue superior al observado en T₁, que para las variables de TCP, mientras que AP generó los valores más bajos. Por último, la TSP de las acelgas en T₃ fue significativamente superior a las presentes en T₁ y T₂; mientras que las lechugas no mostraron diferencias entre tratamientos (Tabla 4).

Variable	T ₁	T ₂	T ₃
	lechuga	lechuga	lechuga
Peso inicial (g)	11.54 ± 0.12	11.33 ± 0.06	11.46 ± 0.08
Peso final (g)	338.27 ± 14.37	357.63 ± 10.19	366.87 ± 13.57
TCP (g)	326.73 ± 9.62 ^b	346.11 ± 7.36 ^a	355.41 ± 6.84 ^a
AP (mm)	154.78 ± 5.36 ^b	179.34 ± 4.92 ^a	183.45 ± 5.13 ^a
TSP (%)	76.6 ± 3 ^a	80.0 ± 2 ^a	80.0 ± 2 ^a
Variable	T ₁	T ₂	T ₃
	espinaca	espinaca	espinaca
Peso inicial (g)	7.21 ± 0.10	7.17 ± 0.09	7.25 ± 0.12
Peso final (g)	267.63 ± 8.79	281.84 ± 11.93	295.32 ± 9.65
TCP (g)	260.42 ± 12.39 ^b	274.67 ± 9.87 ^{ab}	288.07 ± 10.03 ^a
AP (mm)	187.31 ± 7.98 ^b	193.14 ± 10.43 ^{ab}	221.79 ± 8.25 ^a
TSP (%)	73.3 ± 5 ^b	76.6 ± 3 ^b	86.6 ± 2 ^a

Tabla 4. Rendimientos productivos de ambas especies vegetales. Se presentan las medias ± desviación estándar de la tasa de crecimiento en planta (TCP), la altura de la planta (AP) y la tasa sobrevivencia de planta (TSP). Valores con diferentes superíndices presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Rendimiento del cultivo

La mayor generación de biomasa para el caso de los peces se obtuvo en T₁ representado 10 y 13 % más del rendimiento obtenido en T₂ y T₃ respectivamente. Por otra parte, el rendimiento de las plantas mostró el comportamiento contrario, donde T₁ y T₂ estuvieron un 23 y 13 % respectivamente por debajo de la biomasa generada en T₃ (Tabla 5).

Variable	T ₁	T ₂	T ₃
Kg de peces/ m ³	15.74	14.17	13.84
Kg de plantas/ m ²	13.58	15.31	17.77
Insumos	\$ 886.1	\$ 853.4	\$ 875.9
Ingresos por producto generado	\$ 1743.2	\$ 1754.4	\$ 1692.3
Balance económico	\$ 857.1	\$ 901.0	\$ 819.4

Tabla 5. Rendimiento productivo e ingresos por tratamiento. El ingreso se calculó con base en precios del 30/enero/23 (tilapia \$ 80, bagre \$ 85, lechuga \$ 10 y espinaca \$ 12). Fuente: <http://www.economia-sniim.gob.mx>.

Discusión

Calidad de agua

La concentración de oxígeno disuelto presentó una disminución a través de los 120 días de experimentación, lo cual se relaciona con el incremento de la biomasa total en los estanques conlleva a mayor consumo de oxígeno (Núñez et al., 2021).

Los mayores valores de compuestos nitrogenados registrados en T₁ se vinculan con el metabolismo de las tilapias, las cuales excretan mayores cantidades de amonio en relación a los bagres (Obirikorang et al., 2020; Freitas et al., 2021). En este sentido, mayor concentración de amonio conlleva a mayor presencia de nitritos y nitratos (Morales-Morales et al., 2019).

Desempeño productivo

Los datos de crecimiento en peces sugieren que la presencia exclusiva de una sola especie acuática conlleva a generar mayor biomasa con respecto a la vinculado con dos especies. Sin embargo, el cultivo asociado de dos especies de organismos favorece la conversión alimenticia y eficiencia proteica. Esto coincide con la vinculación de dos especies de organismos acuáticos reportados por Pereira et al. (2018) y Hisano et al. (2019). Lo anterior podría

relacionarse con el consumo de alimento no aprovechado por las tilapias por parte de los bagres derivado de su distribución espacial: las tilapias se ubican mayoritariamente en la columna de agua, mientras que el bagre se ubica en el fondo del estanque.

Por su parte, ambas especies vegetales cultivadas en T₃ coinciden con los valores sobresalientes respecto de los otros tratamientos. Lo anterior pudiera asociarse a la presencia de amonio, del que se reportó que a mayor concentración de dicho compuesto se afecta negativamente el crecimiento de estos organismos (Lara-Izaguirre et al., 2019; Riaño-Castillo et al., 2019).

Rendimiento del cultivo

El rendimiento en cuanto a los productos acuáticos sugeriría el empleo de solo una especie, lo que deriva en la mayor productividad, principalmente en el caso de la tilapia. No obstante, la diversificación de productos permitiría contar con mayor cobertura de mercado, cuestión que en algún momento podría contribuir en la fluctuación de precios de los productos resultantes.

Conclusión

En esta investigación se determinó la factibilidad de implementar un policultivo acuapónico tilapia-bagre y lechuga-espínaca. Con base en los resultados, se concluye que la vinculación de dos especies acuáticas repercute positivamente en el mantenimiento de calidad de agua. Por otro lado, se propicia una mayor producción de las especies vegetales; sin embargo, de manera general el balance económico es ligeramente menor (5 % para este caso) al obtenido mediante un cultivo con solo una especie acuática. El estudio aporta información que permite considerar el establecimiento de sistemas acuapónicos en la modalidad de policultivo, con la finalidad de diversificar los productos obtenidos en cada ciclo de cultivo. Con esto, se permitirá potenciar la utilización de la acuaponía como una opción para la generación de alimento.

Referencias

- Forchino, A. A., Lourguioui, H., Brigolin, D., & Pastres, R. (2017). Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*, 77, 80-88.
- Freitas, L. E. L. D., Silva, T. S. D. C., & Fracalossi, D. M. (2021). Protein to energy ratios and cost, performance, and ammonia excretion in juvenile jundiá (*Rhamdia quelen*), South American catfish. *Scientia Agricola*, 78.
- Gómez, M. A. C., Marchena, M. H., González, J. A. L., Buitrago, I. D. L., Bernal, R. A. B., & Pombo, J. R. (2022). Los sistemas acuapónicos como fuente de alimento con la implementación de nuevas tecnologías. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 2(1), 245-256.
- Hisano, H., Barbosa, P. T., Hayd, L. A., & Mattioli, C. C. (2019). Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *International Aquatic Research*, 11(4), 335-346.
- Lara-Izaguirre, A. Y., Rojas-Velázquez, A. N., Romero-Méndez, M. J., Ramírez-Tobías, H. M., Cruz-Crespo, E., Alcalá-Jáuregui, J. A., & Loredó-Ostí, C. (2019). Crecimiento y acumulación de NO₃-en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(1), 21-29
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.
- Morales-Morales, E. J., Rubí-Arriaga, M., López-Sandoval, J. A., Martínez-Campos, Á. R., & Morales-Rosales, E. J. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1875-1886.
- Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrofica integrada (IMTA): una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 75-97.
- Núñez, H., Vargas, R., Guerra, I., & Ramos, E. (2021). Efecto de la temperatura sobre el consumo de oxígeno en tilapias del Nilo con diferentes fenotipos de comportamiento. *Centros: Revista Científica Universitaria*, 10(2), 1-18.
- Obirikorang, K. A., Gyamfi, S., Goode, M. E., Amisah, S., Edziyie, R. E., Quagraine, K., ... & Frimpong, E. (2020). Effect of soybean meal diets on the growth performance, ammonia excretion rates, gut histology and feed cost of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture Research*, 51(9), 3520-3532.
- Pereira, F. A., Ha, N., Gonçalves, A. F. N., Antunes, H., Valenti, W. C., & El Hadi Perez Fabregat, T. (2018). Can the polyculture with South American catfish improve the feeding efficiency of rainbow trout culture?. *Aquaculture International*, 26, 487-493.

- Riaño-Castillo, E. R., Caicedo-Gegén, L., Torres-Mesa, A., Hurtado-Giraldo, H., & Gómez-Ramírez, E. (2019). Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), para su futura aplicación en acuaponía. *Orinoquia*, 23(1), 73-84.
- 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.