

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí¹.

Aquaponics systems for a sustainable development on rural areas of Manabí.

María Isabel Delgado Moreira², Wendy Virginia Alarcón Mendoza, Vladimir Isaías Caluguillín Caluguillín, Patricio Javier Noles Aguilar y Carlos Ricardo Delgado Villafuerte

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador
isazamar92@gmail.com

Recibido: 17/06/2019

Aceptado: 20/11/2019

Publicado: 27/12/2019

RESUMEN

La acuaponía es un sistema multitrófico integrado que combina elementos de recirculación de la acuicultura y la hidroponía. El objetivo de esta investigación es evaluar la producción de dos sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí. El primero construido fue el sistema de raíz flotante en una proporción 2:1 (dos plantas por pez), para el cual se cultivaron 60 plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) y 30 tilapias (*Oreochromis sp*). El segundo sistema fue de capa de nutrientes (NFT), con una proporción de 1:1, donde se cultivó lechuga y apio (*Apium graveolens*) (15 plantas de cada especie) y 30 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Se realizaron análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua en ambos sistemas, obteniéndose niveles adecuados para el desarrollo de los alimentos a producir (turbidez, color, pH, nitratos, amonio, calcio y dureza de carbonato); el oxígeno disuelto, nitritos y fosfatos presentaron niveles fuera de los rangos óptimos; sin embargo, se logró la supervivencia del 100% de los productos cultivados. Se calculó la tasa de crecimiento (TC) de las lechugas y de las tilapias. Se demuestra que los sistemas acuapónicos constituyen una práctica de producción sostenible, siendo el de raíz flotante el sistema con mejores resultados.

PALABRAS CLAVE: desarrollo sostenible, sistemas acuapónicos, tasa de crecimiento, tilapia.

ABSTRACT

The aquaponics is a multi-trophic system that combines recirculation elements from the aquaculture and hydroponics. The objective of this work is to evaluate the production of two aquaponics systems for the sustainable development of the Manabí rural zones. The first one built was the floating root in a 2:1 proportion (two plants every one fish), so we cultivate 60 plants of lettuce (*Lactuca sativa*) and 30 tilapia (*Oreochromis sp*). The second one was a nutrients layer (NFT), with a 1:1 proportion, we cultivate lettuce and celery (*Apium graveolens*) (15 plant of each one) and 30 tilapia from the Nile (*Oreochromis niloticus*). Analysis of the physiochemical parameters of the water was made on both systems, obtaining normal levels for the food development (color, ph, nitrates, ammonium, calcium, and carbonate hardness) the rest of parameters were out of the normal range; never the less, we achieved a 100%

¹ Segundo Premio en el IX Taller Estudiantil Internacional sobre Medio Ambiente (TEIMA 2019)

survival of the cultivate products. We calculate de growing rate (TC) of lettuce and tilapia. We demonstrate that aquaponics systems contribute to the sustainable production.

KEYWORDS: aquaponics systems, growing rate, sustainable development, tilapia.

INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema multitrófico integrado que combina elementos de recirculación de la acuicultura y la hidroponía (Cohen *et al.*, 2018; Reyes *et al.*, 2018), en donde el agua de los tanques de peces que está enriquecida en nutrientes se utiliza para el crecimiento de las plantas (Li *et al.*, 2019; Goddek *et al.*, 2015). Un estudio, realizado por Love *et al.* (2015), muestra que la acuaponía ha estado recibiendo un interés creciente. Lo que subraya su importancia para la sociedad como una respuesta innovadora para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible (Forchino *et al.*, 2018).

Si bien la misma parece ser un sistema de provisión moderno, puede aseverarse que desde épocas remotas era utilizado por los egipcios y los aztecas (Packer, 2014). En los años setenta la técnica retorna, colocándose en la mira de países como Australia, Colombia, Costa Rica y México, en donde se desarrollan investigaciones a nivel académico, e incluso se han incorporado en programas de responsabilidad social para mitigar el hambre (Ramírez, Jiménez y Hurtado, 2008).

La aplicación de sistemas acuapónicos surge como una solución para la producción de alimentos, pues permite cultivar dos o más productos sin afectar sistemas como los cuerpos de agua o deteriorar el suelo; además, por su versatilidad, puede ser instalado en lugares que pueden estar más cerca de los consumidores, lo cual puede reducir costos de transporte, y la contaminación generada por el mismo (Packer, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas (2019) sostiene que el desarrollo sostenible abarca las dimensiones económica, social, ambiental y cultural; de acuerdo a esta definición, los sistemas acuapónicos abarcan estos ejes; por ende, el propósito de esta investigación es construir dos sistemas acuapónicos y evaluar la producción de alimentos en ambos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

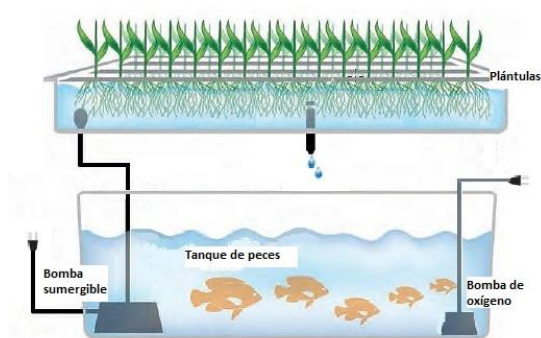
Construcción de dos sistemas acuapónicos.

Los dos sistemas acuapónicos se construyeron en el área de investigación del vivero de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Se diseñó un sistema de raíz flotante con una proporción 2:1 (dos plantas por pez) y se cultivaron 20 plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) por m² (60 plantas en total), según lo sugerido por Somerville *et al.* (2014); se usó como sustrato fibra de coco (75%) y compost (25%).

Se cultivaron tilapias con un peso inicial de 40 g y una longitud de 5 cm (en promedio). La alimentación de las tilapias (*Oreochromis sp*) se realizó con tres raciones de 40 g de balanceado (32% de proteína) otorgadas a las 7h30, 13h30 y 16h30, pues Somerville *et al.* (2014) recomiendan 40 g de alimento por m² de cultivo de plantas verdes frondosas.

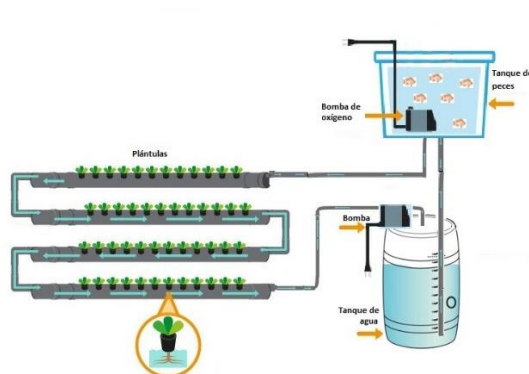
Figura 1. Esquema del diseño del sistema de raíz flotante.



Fuente: Elaboración propia.

El otro sistema creado fue de capa de nutrientes (NFT) aplicando la metodología de Lennard (2010), en este sistema se cultivó lechuga y apio (*Apium graveolens*), 15 plantas de cada especie y 30 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*), con una longitud inicial de 3 cm y un peso de 25 g. La proporción utilizado fue 1:1 y el proceso de alimentación fue igual al del sistema de raíz flotante.

Figura 2. Esquema de diseño del sistema NFT.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron análisis de los siguientes parámetros físicos del agua: Turbidez, oxígeno disuelto (OD) y color; y los parámetros químicos: pH, nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_3), amonio (NH_4), calcio (Ca), y dureza de carbonato (KH); los cuales se determinaron diariamente durante los meses de diciembre y enero. Los resultados de ambos sistemas fueron promediados semanalmente.

No se utilizó ninguna clase de producto químico (fertilizante o fitosanitario) en la producción de los alimentos.

Determinación del rendimiento de los sistemas mediante la producción obtenida.

Para evaluar el rendimiento de los sistemas se calculó la tasa de crecimiento (TC) de las lechugas y de las tilapias, utilizando la fórmula empleada por Moreno y Zafra (2014).

$$TC \text{ (cm/día)} = \frac{(\text{longitud final} - \text{longitud inicial})}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Socialización de los sistemas acuapónicos con moradores de la comunidad Balsa en Medio.

Ambos sistemas se socializaron con moradores de la comunidad rural Balsa en Medio; debido a la distancia existente desde la comunidad hasta el área de investigación del vivero de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, solo asistieron 20 moradores. Se aplicó una entrevista verbal a cada uno de ellos para confirmar su interés en la aplicación de estos sistemas en sus propiedades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Construcción de dos sistemas acuapónicos.

El sistema de raíz flotante permitió un mejor manejo de los alimentos y de los componentes del sistema en general. Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua realizados en los sistemas acuapónicos se muestran en la *tabla 1*.

Tabla 1. Resultados de los parámetros analizados (promedios semanales).

Parámetros	Unidades	Promedio semanal							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Físicos									
Turbidez	FNU	5.62	3.88	4.07	5.56	8.68	6.71	5.55	7.18
OD	mgL ⁻¹	5.40	3.50	3.80	3.94	4.1	5	3	3.50
Color	H _z	161	65.68	144	72	85.61	208.50	126.75	116.5
Químicos									
pH		7	7	6.91	7.01	6.83	7	6.90	6.90
NO ₂	mgL ⁻¹	0.25	0	0.13	0	1.50	0.31	0.50	1
NO ₃	mgL ⁻¹	6	7.20	12.50	2.33	2.83	6	10.25	10.50
PO ₃	mgL ⁻¹	1.50	1.40	5	1.67	2	0.75	0.63	1
NH ₄	mgL ⁻¹	0.75	1	0.50	1.00	0.83	0.50	0.75	0.75
Ca	mgL ⁻¹	140	168	200	120	126.67	136.25	170	100
KH	mgL ⁻¹	80.55	128.58	98.45	41.76	71.9	120.83	36.23	35.65

Fuente: Elaboración propia.

La *turbidez* en las primeras semanas se mantuvo en valores bajos, sin embargo, durante la semana cinco se obtuvo el valor más alto 8.65 FNU (*tabla 1*), lo que se puede asociar a la falta de limpieza del tanque de peces. La turbidez no se considera un parámetro determinante en el funcionamiento de los sistemas acuapónicos (Moreno y Zafra, 2014; Campos *et al*, 2013).

Durante la primera semana hubo un buen nivel de *oxígeno* 5.40 mgL⁻¹, mientras que de la semana dos a la cuatro se redujo a menos de 4 mgL⁻¹; en la semana seis aumentó a 5 mgL⁻¹ pero disminuyó en las semanas siete y ocho a menos de 4 mgL⁻¹ (*tabla 1*). Campos *et al*. (2013) obtuvieron una media de 4.49 mgL⁻¹ que se encuentra en el nivel óptimo (4 mgL⁻¹). La variación en el nivel de este parámetro se debe a que el agua usada en los sistemas proviene de pozo y a la degradación de la materia orgánica. El mínimo de este parámetro fue 3 mgL⁻¹ (*tabla 1*) afirmando la gran tolerancia de la tilapia a bajos niveles de OD; sin embargo, los bajos niveles podrían haber intervenido en el lento crecimiento de las tilapias.

En el parámetro *color* existió una fluctuación variada, en la semana seis se obtuvo el nivel más alto 208.5 Hazen (*tabla 1*). El color no es considerado un parámetro determinante en el

funcionamiento de los sistemas acuapónicos (Moreno y Zafra, 2014; Campos *et al.*, 2013). Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color (Coronel y Chamba 2014), por lo tanto, esta característica del agua puede atribuirse a la descomposición de la materia orgánica en los sistemas.

El rango del *pH* se mantuvo en nivel cercano a 7 (*tabla 1*). Campos *et al.* (2013) obtuvieron un valor de *pH* de 6.81, el cual está en el intervalo óptimo (6.7 a 8.4) para el cultivo de tilapia. Para Moreno y Zafra (2014) el *pH* presentó oscilaciones entre 7.5 y 8.0. Este parámetro es de los más importantes en cultivos acuapónicos, pues afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la nitrificación, un *pH* de 7 garantiza un funcionamiento correcto para cualquier sistema acuapónico (Moreno y Zafra, 2014). Asimismo, se ha indicado que la nitrificación puede ocurrir en rangos de 6 a 9 de *pH* para el crecimiento de las bacterias nitrificantes (Coronel y Chamaba, 2014; Moreno y Zafra, 2014); en este estudio el *pH* se mantuvo dentro del rango óptimo.

Los niveles máximos de nitritos fueron de 1.5 mgL⁻¹ durante la semana cinco; y 1 mgL⁻¹ durante la semana ocho. Las restantes se mantuvieron en un nivel adecuado (*tabla 1*). Niveles superiores a 0.75 mgL⁻¹ en el agua pueden provocar estrés en los peces (Coronel y Chamaba, 2014). Se evidencia la gran tolerancia de la tilapia a niveles elevados de nitritos, aunque su presencia se asocia al lento crecimiento de las tilapias.

Los nitratos, productos finales de la actividad biológica, representan la forma nitrogenada más utilizada por las plantas (Coronel y Chamaba, 2014). Se registró una variación mínima de nitratos en este estudio (*tabla 1*), con un máximo de 12.50 mgL⁻¹; manteniéndose en el rango óptimo, pues niveles de nitrato entre 0 y 40 mgL⁻¹ son generalmente seguros para los peces (Coronel y Chamaba, 2014).

El nivel máximo de fosfato fue de 5 mgL⁻¹ (*tabla 1*) y según Coronel y Chamba (2014) el rango óptimo es de 0.6 a 1.5 mgL⁻¹. Aunque, el principal riesgo que podrían presentar niveles elevados de fosfato es la eutrofización del agua.

Los valores de amonio en el agua para *Oreochromis sp* deben estar entre 0.01 a 0.1 mgL⁻¹, siendo niveles mayores a 2 mgL⁻¹ letales (Coronel y Chamaba, 2014). En este estudio el amonio se mantuvo dentro del rango óptimo (*tabla 1*). En el estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2015) las concentraciones de amonio no ionizado (NH₃-N) rebasaron ligeramente la concentración estándar límite para peces 0.0125 mgL⁻¹; lo cual indica la tolerancia de la tilapia a este compuesto nitrogenado.

Durante la semana tres se obtuvo el valor más alto de calcio 200 mgL⁻¹ (*tabla 1*). A niveles por debajo de 60 mgL⁻¹ de calcio iónico, los cultivos están muy expuestos o son sujetos al famoso proceso de mortalidad masiva por el ataque del virus de la mancha blanca; por lo tanto, 60 mgL⁻¹ de Ca es considerado el umbral del calcio en un cultivo de tilapia (Coronel y Chamaba, 2014). En este estudio el mínimo de calcio desde 100 mgL⁻¹ (*gráfico 1*) se mantuvo en el nivel óptimo.

La dureza ayuda a contrarrestar la acidez de los procesos de nitrificación (Coronel y Chamaba, 2014). Esta se debe balancear para mantener un *pH* adecuado y evitar estrés en peces y plantas; el nivel adecuado fluctúa entre 60-140 mgL⁻¹. En este estudio, a pesar de que durante las semanas cuatro, siete y ocho se obtuvieron niveles de KH inferiores a 60 mgL⁻¹ (*tabla 1*), no se observaron efectos adversos en los alimentos cultivados.

Determinación del rendimiento de los sistemas mediante la producción obtenida.

En ambos sistemas se logró la supervivencia del 100 % de los productos cultivados.

En el sistema de raíz flotante se obtuvieron dos producciones de lechuga; cada una tardó seis semanas en alcanzar una longitud de 30 cm en follaje, con una tasa de crecimiento de 0.65 cm/día; valor elevado comparado con la tasa de crecimiento de 0.15 cm/día en follaje, obtenida por Moreno y Zafra (2014), quienes produjeron 50 lechugas/m² trabajando también con tilapia, a proporción 1:1.

De acuerdo a la longitud de las lechugas, podría inferirse que la proporción 1:2 genera mejores resultados que la proporción 1:1. Las tilapias ganaron 49.5 g de peso y duplicaron su longitud (en 90 días) con una tasa de crecimiento de 0.08 cm/día, valor mínimo, probablemente debido a que no se realizó una alimentación acorde a la biomasa. Rodríguez *et al.* (2015) alcanzaron un peso de 364.64 g en 120 días, realizando la alimentación acorde a la biomasa y a la etapa de desarrollo de las tilapias.

En el sistema NFT la TC de las tilapias fue de 0.05; y la TC de los vegetales fue de 0.25 cm/día. Se comprueba una menor TC (en ambos productos) en este sistema, al existir una diferencia de 0.03 cm/día en peces y 0.40 cm/día en vegetales; lo cual evidencia que la proporción 2:1 genera mejores resultados.

Moreno y Zafra (2014) sólo evaluaron la producción de lechugas, pues estos dos productos no alcanzan su nivel óptimo de cosecha en el mismo intervalo de tiempo. Se debería considerar reemplazar el balanceado por alimentos de tipo orgánico y comparar la TC de los peces con este tipo de alimento.

Socialización de los sistemas acuapónicos con moradores de la comunidad Balsa en Medio.

Mediante una entrevista verbal aplicada a los moradores de Balsa en Medio se obtuvo que el 100% de los entrevistados aplicaría sistemas acuapónicos para la producción de alimentos en sus propiedades, por la versatilidad de estos sistemas; en la presentación se promovió la implementación de sistemas acuapónicos como alternativa de desarrollo sostenible en comunidades rurales.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que los sistemas acuapónicos permiten el cultivo de dos o más tipos de alimentos y constituyen una práctica de producción sostenible. Los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en la producción se mostraron en intervalos adecuados para la supervivencia de los componentes bióticos del sistema (bacterias, plantas y peces), lo cual demuestra que la aplicación de sistemas acuapónicos es viable.

Los sistemas acuapónicos presentan una amplia versatilidad que permite obtener un máximo aprovechamiento de recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campos, R., Alonso, A., Avalos, D., Asiain, A. y Reta, J. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(Especial), 939-950. <https://cutt.ly/RyK7mAn>

- Cohen, A., Malone, S., Morris, Z., Weissburg, M. y Bras, B. (2018). Combined Fish and Lettuce Cultivation: An Aquaponics Life Cycle Assessment. *Procedia CIRP*,69, 551–556. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.029>
- Coronel, M. y Chamba, D.F. (2014). *Compración de rendimientos de cultivos de fresa (Fragaria ananassa) bajo los sistemas de hidroponía y acuaponía* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/11140>
- Forchino, A., Gennotte, V., Maiolo, S., Brigolin, D., Mélard, C., y Pastres, R. (2018). Eco-designing Aquaponics: a case study of an experimental production system in Belgium. *Procedia CIRP*,69, 546–550. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.064>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., y Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability*,7(4), 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Lennard, W. (2010). A new look at NFT aquaponics. *Aquaponics Journal*, (56), 16-19. <https://cutt.ly/dyK7InT>
- Li, C., Zhang, B., Luo, P., Shi, H., Li, L., Gao, Y., Lee, C., Zhang, Z. y Wu, W. (2019). 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>
- Love, D., Fry, J., Li, X., Hill, E., Genello, L., Semmens, K., y Thompson, R. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>
- Moreno, E. y Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista de Investigación Científica REBIOL*, 34(2), 60-72. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/index>
- Organización de las Naciones Unidas (2019). *Desarrollo sostenible*. Recuperada el 12 de febrero de 2019 de: <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Packer, B. (2014). *Aquaponics System. A Practical Guide To Building And Maintaining Your Own Backyard Aquaponics*. Kindle Edition.
- Ramírez, D., Jiménez, P. y Hurtado, H. (2013). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*,4(1-2), 32-51. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>
- Reyes, D., Geelen, C., Cappon, H., Rijnaarts, H., Baganz, D., Kloas, W., Karimanzira, D. y Keesman, K. (2018). Model-based management strategy for resource efficient design and operation of an aquaponic system. *Aquacultural Engineering*,38, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.07.001>
- Rodríguez, H., Rubio, S., Gracia, M., Montoya, M. y Magallón, F. (2015). Análisis técnico de la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agroproductividad*,8(3), 15-19. <https://cutt.ly/hyK7KeO>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>