

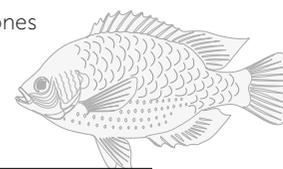
ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN DOS SISTEMAS DE ACUAPONÍA

TECHNICAL ANALYSIS OF TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AND LETTUCE (*Lactuca sativa*) PRODUCTION IN TWO AQUAPONICS SYSTEMS

Rodríguez-González, H.¹; Rubio-Cabrera, S.G.¹; García-Ulloa, M.¹; Montoya-Mejía, M.¹; Magallón-Barajas, F.J.^{2*}

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa (CIIDIR-SIN), Instituto Politécnico Nacional, Guasave, Sinaloa, México. ²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, B.C.S. 23096, México.

*Autor responsable: fmagallon04@cibnor.mx



RESUMEN

En México la acuicultura ha adquirido mayor importancia brindando beneficios sociales y económicos y una fuente de alimentación de elevado valor nutrimental. De todas las especies comerciales, la tilapia (*Oreochromis niloticus*) se cultiva en los 31 estados de la República Mexicana, y su producción para el año 2011 fue de 75,927 t. Sin embargo, el tema de la escasez mundial de agua dulce requiere que los sistemas de producción sean altamente eficientes. Se evaluó la producción semi-intensiva de tilapia (*O. niloticus*) y lechuga acropolis (*Lactuca sativa*) en dos sistemas acuapónicos, uno con biofiltración (SCB), y otro con recambio de agua (SRA). El tiempo de cultivo para la tilapia y lechuga fue de 160 y 30 días, respectivamente. La tilapia registró el mayor crecimiento promedio (364.64 ± 43.16 g) en el SCB, la lechuga creció mejor en el SRA (11.74 ± 1.63 g). Se observaron diferencias significativas con el control 100% tierra ($P < 0.05$). Las concentraciones más altas de nitritos (NO_2), amonio (NH_4) y fosfatos (PO_4) se obtuvieron en el SCB, mientras que la mayor concentración de nitratos (NO_3) se observó en el SRA ($P < 0.05$). El cultivo de *O. niloticus* y *L. sativa* en sistemas acuapónicos de biofiltración y/o riego directo, son una alternativa para la producción conjunta de estas especies, sin embargo, es necesario realizar control de la dinámica de nutrientes en el sistema para optimizar el aprovechamiento de la energía a través de todos sus componentes.

Palabras clave: Acuicultura, peces, hortalizas, dinámica de nutrientes

ABSTRACT

In Mexico, aquaculture has acquired great importance by providing social and economic benefits, as well as a source of food of high nutritional value. Of all the commercial species, tilapia (*Oreochromis niloticus*) is cultivated in the 31 states of the Mexican Republic, and its production for 2011 was 75,927 ton. However, the issue of global scarcity of fresh water requires that production systems be highly efficient. The semi-intensive production of tilapia (*O. niloticus*) and acropolis lettuce (*Lactuca sativa*) was evaluated in two aquaponics systems, one with biofiltration (SCB) and another with water replacement (SRA). The growth time for tilapia and lettuce was 160 and 30 days, respectively. The tilapia showed the highest average growth (364.64 ± 43.16 g) in SCB, and the lettuce grew better in SRA (11.74 ± 1.63 g). Significant differences were observed with the control of 100% soil ($P < 0.05$). The highest concentrations of nitrites (NO_2), ammonia (NH_4) and phosphates (PO_4) were obtained with SCB, while the highest concentration of nitrates (NO_3) was observed with SRA ($P < 0.05$). The cultivation of *O. niloticus* and *L. sativa* in aquaponics systems, biofiltration and/or direct irrigation, are an alternative for the joint production of these species; however, it is necessary to carry out a control of the nutrient dynamics in the system to optimize the use of energy throughout all its components.

Keywords: Aquaculture, fish, vegetables, nutrient dynamics.

INTRODUCCIÓN

En México la acuicultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años brindando beneficios sociales y económicos, que a su vez, se han convertido en un fuente de alimentación con un elevado valor nutricional (Martínez-Cordero y Leung, 2004). De todas las especies comerciales, la tilapia (*Oreochromis niloticus*) se cultiva en los 31 estados de la República Mexicana, y su producción para el año 2011 fue de 75,927 t (CONAPESCA, 2012). Sin embargo, el tema de la escasez mundial de agua dulce requiere que los sistemas de producción sean altamente eficientes. Actualmente, el 70% de las reservas mundiales de agua potable se utilizan en la agricultura, por lo que innovaciones tecnológicas en esta área han sido implementadas, entre las que destacan la hidroponía, y la más reciente, la acuaponía (Graber y Junge, 2009; Jung-Yuan y Yew-Hu, 2013; Buzby y Lian-Shin, 2014). La acuaponía es un sistema simbiótico que combina las técnicas de acuicultura con el cultivo hidropónico de plantas. Esta tecnología está basada en el máximo aprovechamiento de la energía en forma de nutrientes por todos los componentes del cultivo (bacterias, peces y plantas), que además de producir biomasa, contribuyen a mantener limpio el ambiente acuático que los contiene. Los efluentes de los peces contienen metabolitos que son convertidos en virtud de la actividad microbiana, en nutrientes asimilables por las plantas, quienes además de aprovecharlos mantienen la calidad de agua adecuada para el desarrollo de los peces (Ednut *et al.*, 2010; Roosta y Hamidpour, 2011).

Para lograr la sostenibilidad en los cultivos acuícolas es necesario intensificarlos valiéndose de tecnología como los sistemas de recirculación y tratamiento del agua, optimizando su uso. La utilización de tecnología en el tratamiento del agua para la producción acuícola tiene varias ventajas: monitoreo y control constante de las variables físico-químicas y sanitarias del agua, reutilización del agua y producciones de altas densidades (Lyssenko y Wheaton, 2006; Davidson *et al.*, 2008). Por lo anterior, el interés del sector productivo por tecnologías de cultivo altamente eficientes ha generado la necesidad de producir mayor cantidad de biomasa en menor espacio y mayor eficiencia en el uso del agua. El objetivo de este estudio, evaluó la tecnología de producción para el cultivo de lechuga y tilapia en condiciones de acuaponía, comparando un

sistema de recirculación con un sistema con recambio de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistemas experimentales

El bioensayo se realizó en un invernadero del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Sinaloa), en el cual se montaron dos sistemas de producción:

Sistema con biofiltración (SCB)

Consistió en usar tres tinas de geomembrana de 7 m³ de capacidad, cada una ellas con sedimentador cónico y un biofiltro integrados. El biofiltro estaba compuesto con tres capas (arena, grava y láminas de PVC negro pegados en forma de bloque) de 20 cm cada una (Bio Strata, Aquatic Eco-Systems®; Figura 1). Con este sistema no se realizaron recambios de agua en todo el ensayo.

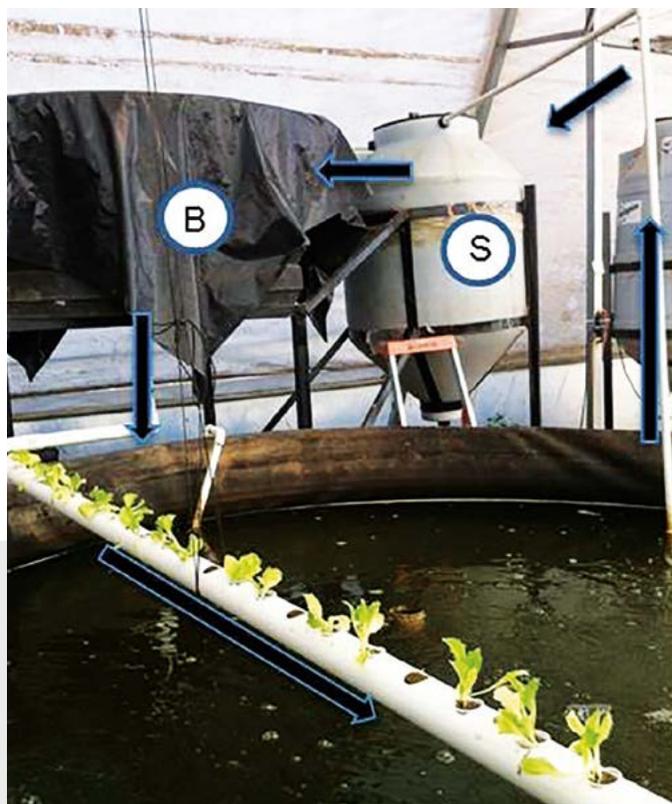


Figura 1. Funcionamiento del sistema de acuaponía con biofiltración (SCB), por pasos: a) El agua fue bombeada hacia el sedimentador (S); b) El sedimentador permitió atrapar partículas, heces, alimento no consumido y otros desechos; c) El agua que fue filtrada en el sedimentador fue conducida al biofiltro (B) Por gravedad, y a su vez, fue percolada en una cama de arena y grava; d) El agua fue filtrada y reincorporada al sistema a través del tubo.

Sistema con recambio de agua (SRA)

Este sistema de producción consistió en la instalación de tres tinas de geomembrana de 7 m³ de capacidad, a las que se les realizaron recambios parciales de agua a razón de 20% del volumen total por semana (Figura 2).

Cada estanque de los dos sistemas contó con aireación constante suministrada mediante un soplador eléctrico de 5 hp de potencia. Además, los sistemas fueron integrados con componentes hidropónicos (en cada tina), que consistieron en tubos de PVC de 2" de diámetro y 3 metros de largo, perforados con 20 agujeros a una distancia de 10 cm cada uno (Figuras 1, 2).

Cultivo de tilapia

Las tilapias del género *O. nilotica* fueron sembradas a una densidad inicial de 240 organismos m³⁻¹ y un peso de 0.2±0.05 g. Cada 40 días se realizó un desdoble para quedar con una densidad final para engorde de 30 organismos m³⁻¹. El tiempo de cultivo de las tilapia fue de 160 días. Durante los primeros 40 días, los juveniles fueron alimentados con una dieta comercial conteniendo 50% de proteína (Nutripec Migaja, Purina®), posteriormente, se alimentaron con una dieta comercial con un contenido de proteína de 35% (Nutripec 3.5 mm, Purina®) hasta los 80 días de cultivo, y hacia el final del cultivo, la proteína fue reducida hasta 32% (Nutripec 4.8 mm, Purina®). La ración alimenticia se ajustó a saciedad semanalmente de acuerdo al peso promedio de los or-

ganismos, realizando una biometría a 40 organismos. La alimentación fue otorgada en tres raciones al día (10:00, 13:00 y 16:00 h). Los valores de oxígeno (O₂), nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄) de cada unidad de producción de tilapia, se determinaron semanalmente mediante las técnicas descritas por Strickland y Parsons (1972).

Cultivo de lechuga (acuaponía)

Después de 130 días de cultivo con las tilapias, se instaló un sistema hidropónico de la lechuga acrópolis (*L. sativa*) a razón de 20 plántulas por tina (60 plántulas por tratamiento) en cada unidad de producción de los peces. Además, se colocaron con cinco réplicas, tres macetas (grupos control) para el crecimiento de las lechugas: 100% tierra, 100% sustrato inerte (Peat moss) y 50% tierra y 50% sustrato inerte (Peat moss), las cuales fueron irrigadas con agua proveniente de pozo. El periodo de cultivo de las lechugas fue de 30 días. Al final del cultivo se determinó el peso promedio de las lechugas. Se tomaron muestras de agua a la entrada y salida del sistema de hidroponía para determinar el contenido de NO₃, NO₂, NH₄ y PO₄.

Análisis estadísticos

Los datos de las diferentes variables y parámetros se sometieron a una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (P>0.05). Debido a que los datos cumplieron con los preceptos de un análisis de varianza paramétrico se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA; P<0.05) para identificar diferencias entre tratamientos y controles. Cuando existan diferencias significativas, se utilizó la prueba de Tukey (P<0.05), mediante el programa STATISTICA® Versión 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1, muestra que las tilapias del sistema SCB presentaron el mayor peso promedio (364.64±25.1 g, P<0.05).

En general, el crecimiento de las tilapias durante el experimento fue menor comparado con otros reportes (Rakocy, 2005). Entre algunas posibles causas destaca la alta densidad de siembra y/o la capacidad de carga

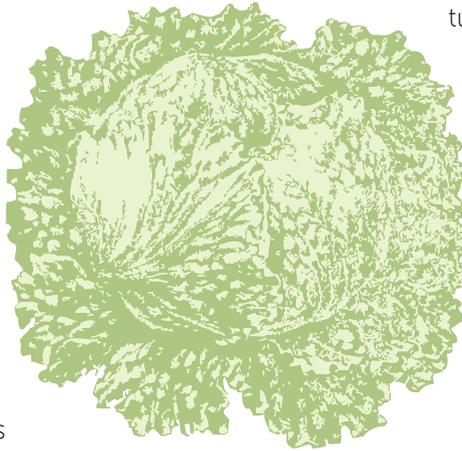


Figura 2. Sistema de acuaponía sin recirculación con recambio parcial de agua (SRA).



Cuadro 1. Crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada con dos sistemas de producción: biofiltración (SCB) y recambio de agua (SRA), durante 160 días.

Tratamiento	Peso inicial (g)	Peso (g)			
		Días de cultivo			
		40	80	120	160
SCB	1.13±0.10	6.41±1.7a	46.79±11.9a	149.29±46.1a	364.64±25.1a
SRA	1.10±0.09	5.72±1.3b	32.02±6.4b	135.07±34.6b	270.07±17.1b

del sistema. Cabrera *et al.* (1998), obtuvieron 150 kg de tilapia en una cosecha después de 120 días de cultivo (peso promedio=136.5 g), con una densidad de siembra de 4.2 organismos m²-1, esto es similar con la capacidad de carga obtenida en este experimento, pero registrando una menor talla de los organismos debido a la alta densidad de siembra (para SCB=102.81 g; y para SRA=92.90 g). Por otro lado, la biomasa final fue superior en el SCB (8.48 kg m³). El valor registrado es mayor a lo reportado por Siddiqui y Ak-Harbi (1999), quienes evaluaron el crecimiento de la tilapia nilótica a una densidad de 1, 5, 10 y 15 kg m³, obteniendo mayor incremento en peso en 1 y 5 kg m³. Es posible que la mayor concentración de NH₄ durante el experimento en el sistema con recambio (SRA), haya generado una disminución en el crecimiento de los peces y consecuentemente, obtuvieron menor biomasa final. El

amonio sin ionizar es altamente tóxico para los peces y la vida acuática (Davidson *et al.*, 2014). Pero el uso de biofiltros permite el control constante de las variables físico-químicas de los sistemas de producción (Malone y Pfeiffer, 2006).

En el sistema de acuaponía, las lechugas presentaron mayor crecimiento con el SRA, sin embargo, solo se observó mayor tamaño que las cultivadas en 100% tierra (P<0.05). Las lechugas con mejor crecimiento fueron producidas en 100% con Peat moss y 50% Tierra-50% Peatmoss (Cuadro 2).

En cuanto al peso promedio final de todos los grupos experimentales de lechuga, fue menor al comparado con otros trabajos. Garzón-López *et al.* (2006) evaluaron tres variedades en un periodo de 36 días después de trasplante, obteniendo un peso promedio final de 167 g para la variedad Paris, 72 g para la variedad Vulcan y 52 g para la variedad Verónica, mientras que en el presente estudio, los mayores pesos se obtuvieron en el SRA (11.74 g). Es importante considerar que en el experimento con lechugas realizado por Garzón-López *et al.* (2006), se les adicionó una solución nutritiva que aportó los nutrientes que requiere la planta y sirve como fertilizante, y en el caso particular de este experimento, no se le adicionó nada a la planta. Durante el cultivo de las lechugas y tilapias, los niveles de NO₂, NH₄ y PO₄ fueron mayores en el SCB, mientras que el nivel de NO₃ fue mayor en SRA (P<0.05; Cuadro 3).

Cuadro 2. Peso final (g) de la lechuga acrópilis (*Lactuca sativa*) cultivada en hidroponía por 30 días de cultivo, con agua proveniente de dos sistemas de producción de tilapia (SCB y SRA), y 3 controles (100% tierra, 100% Peat Moss y 50% tierra- 50% Peat Moss).

Tratamiento	Peso promedio
SCB	5.34 ± 8.54
SRA	11.74 ± 1.63
100% tierra	6.36 ± 3.91
100% Peat Moss	23.52 ± 2.53
50% tierra -50% Peat Moss	20.98 ± 2.87

Cuadro 3. Concentración de nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻), amonio (NH₄⁺) y fosfatos (PO₄⁻), en el sistema de acuaponía, con agua de dos sistemas de producción de tilapia (SCB y SRA).

Tratamiento		NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	PO ₄ ⁻ (mg/L)
SCB	Entrada	2.43±1.3a	4.92±1.9b	3.41±0.5a	11.47±3.0a
	Salida	1.92±1.1a	3.23±1.5b	3.50±1.0a	10.85±3.9a
SRA	Entrada	0.69±0.7b	16.23±5.5a	0.93±1.3b	5.11±1.7b
	Salida	0.71±0.8b	15.55±5.6a	0.97±1.3b	5.27±1.8b

Uno de los principales problemas en la acuicultura son los efluentes vertidos al ambiente, debido a que no se tiene control de los mismos. En este estudio, se obtuvo una reducción de los compuestos nitrogenados en el sistema con la utilización del sistema acuapónico y recirculación (biofiltros), lo que contribuyó a que los niveles de amonio, nitritos y nitratos fueran reutilizados y aprovechados por las plantas de lechuga, favoreciendo así a un uso más eficiente y sustentable del agua, de infraestructura y recursos. Comparándolo con un estudio previo realizado por Segovia (2008) en el cual se evaluó un cultivo de fresa (*Fragaria* sp.) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y obtuvieron una reducción del 0.11% de los nitritos en el sistema de biofiltro y 57.86% en el sistema de acuaponía, los resultados del presente reporte apuntaron a una reducción de 21.25% del contenido de nitritos en el sistema SCB y 2.42% en el SRA.

CONCLUSIONES

Las tilapias mostraron mayor crecimiento en el SCB, con un peso final de 364.64 ± 43.16 g ($P < 0.05$). Para las lechugas se obtuvo mayor crecimiento en el SRA, sin embargo, solo se observaron diferencias significativas con el control 100% tierra ($P < 0.05$). Durante, el cultivo de las lechugas y tilapias, los niveles de NO_2 , NH_4 y PO_4 fueron mayores en el SCB, mientras que el nivel de NO_3 fue mayor en SRA ($P < 0.05$), lo que pudo afectar el crecimiento de las lechugas. En el sistema de acuaponía, el mayor crecimiento de las lechugas se obtuvo cuando se utilizó riego directo (SRA). En el sistema SRA se desechó un total de 115,000 litros de agua aproximadamente, con concentraciones de compuestos nitrogenados al ambiente debido a los recambios parciales de agua, mientras que en el SCB no se vertieron efluentes, permitiendo así un sistema de producción más sustentable. El cultivo de tilapia y lechuga en sistemas acuapónicos son una alternativa para el cultivo de las mismas, sin embargo, es indispensable el control de los nutrimentos en el sistema.

LITERATURA CITADA

- Buzby K.M., Lian-Shin L. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*; 63:39-44.
- Cabrera T., Millán J., Rosas J. 1998. Tres experiencias de cultivo de tilapias en la Isla de Margarita, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 16(1):127-145.
- CONAPESCA. 2012. Anuario Estadístico 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2012_zip
- Davidson J., Good C., Welsh C., Summerfelt S.T., 2014. Comparing the effects of high vs. low nitrate on the health, performance, and welfare of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* within water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 59: 30-40.
- Davidson J., Helwig N., Summerfelt ST. 2008. Fluidized sand biofilters used to remove ammonia, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, and suspended solids from an intensive aquaculture effluent. *Aquacultural Engineering*, 39: 6-15.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.B., Hassan A. 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101:1511-1517
- Garzón-López S.S. 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. Tesis de Licenciatura. Universidad Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 37 pp.
- Graber A., Junge R. 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246: 147-156.
- Jung-Yuan L., Yew-Hu C. 2013. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics. *International Biodeterioration and Biodegradation*; 85:693-700.
- Lyssenko C., Wheaton F. 2006. Impact of positive ramp short-term operating disturbances on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 35:26-37.
- Malone R.F., Pfeiffer T.J. 2006. Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 34: 389-402.
- Martínez-Cordero F.J., Leung P.S. 2004. Sustainable aquaculture and producer performance: measurement of environmentally adjusted productivity and efficiency of a sample of shrimp farms in Mexico. *Aquaculture*, 241: 249-268.
- Rakocy J.E. 2005. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Oreochromis niloticus*. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en
- Roosta H.R., Hamidpour M. 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Horticulturae* 129:396-402.
- Segovia Q.M. 2008. Cultivo de frutas y hortalizas mediante acuaponía. 2000 Agro. *Revista Industrial del Campo*. 27-30.
- Sididiqui A.Q., Al-Harbi A.H. 1999. Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. *Aquaculture*, 170: 245-252.
- Strickland J.D.H., Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Second Edition, Bulletin 167. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

