

Sistemas de recirculación acuapónicos

Aquaponic recirculation systems

Recibido 07-08-2012. Aceptado: 24-10-2012

MARIO ESTEBAN MUÑOZ GUTIÉRREZ¹

Resumen

El sistema de producción acuapónico es un sistema biointegrado que junta la acuicultura de recirculación y la producción hidropónica de plantas. Los nutrientes, que son excretados directamente por los organismos acuáticos o generados por las reacciones microbianas sobre los desechos orgánicos, son absorbidos por las plantas cultivadas hidropónicamente. El uso de sistemas acuapónicos tiene varias ventajas sobre los sistemas de recirculación en acuicultura y los sistemas hidropónicos que usan nutrientes inorgánicos. Una de ellas es el aprovechamiento de los desechos generados por los componentes acuáticos, los cuales constituyen un problema en todos los sistemas de producción. Al presentar Colombia un gran potencial de producción de peces y plantas, resulta indispensable y necesario fomentar la realización de proyectos que vinculen los dos sistemas de producción. La siguiente revisión tiene como objetivo describir, de forma general, los sistemas de recirculación acuapónicos.

Palabras clave: Acuaponía, acuicultura, hidroponía.

Abstract

The aquaponic production system is a bio-integrated system that brings together recirculation aquaculture and the hydroponic production of plants. These nutrients, which are excreted directly by aquatic organisms or generated by the microbial reactions on organic wastes are absorbed by the plants grown hydroponically. Using aquaponic systems has several advantages over recirculation systems in aquaculture and hydroponic systems that use inorganic nutrients. One of them is the utilization of wastes generated by the aquatic components, which are a problem in all production systems. Bearing in mind that Colombia has great potential for production of fish and plants, it is indispensable and necessary to promote projects that link the two production systems. Thus, the next review seeks to describe, in general terms, aquaponic recirculation systems.

Keywords: Aquaponics, aquaculture, hydroponics.

¹ Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. M.Sc., Acuicultura, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Grupo de investigación sobre Morfología de Organismos Acuáticos de la Facultad de Ciencias de la Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Bauru, asociado al Centro de Acuicultura de la UNESP, CAUNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Laboratorio de Reproducción de peces, Centro de Acuicultura de la UNESP, CAUNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Dirección: Calle 200 No. 60-00 PBX. 668 3360. E-mail: memunozg@fc.unesp.br, memunozg@unal.edu.co

Introducción

La acuicultura sigue creciendo más rápidamente que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal, con un incremento del suministro acuícola per cápita desde 0,7kg en 1970 hasta 7,8kg en 2008, lo que constituye un crecimiento medio anual del 6,6% (FAO, 2010). Se espera que en un futuro cercano, supere a la pesca de captura como fuente de pescado comestible. Mientras que a comienzos de la década de 1950 la producción acuícola (a excepción de las plantas acuáticas) era inferior a un millón de toneladas anuales, en 2008 ascendió a 52,5 millones de toneladas, con un valor de 98.400 millones de USD (FAO, 2010).

Sin embargo, este crecimiento tan acelerado del sector ha desencadenado una fuerte competencia por los recursos naturales (i.e. tierra y agua) y un incremento en el impacto ambiental (Naylor *et al.*, 2000; Dediú *et al.*, 2011), debido principalmente a la gran cantidad de desechos descargados en los cuerpos de agua, ya que la acuicultura como otros sectores de producción animal genera abundantes desechos (Piedrahita, 2003; Tacon y Forster, 2003; Pardo *et al.*, 2006; Amirkolaie, 2008). Tales desechos son responsables del deterioro en la calidad del agua dentro de un sistema de producción (Losordo *et al.*, 1998; Martins *et al.*, 2009) y en ocasiones su nivel es tan alto que puede llegar a niveles próximos a los manejados en las soluciones de nutrientes utilizadas en los sistemas de producción hidropónicos (Endut *et al.*, 2010).

De acuerdo con Ulloa *et al.* (2005), el sistema de recirculación acuapónico es una tecnología prometedora que puede definirse como un sistema de producción de alimentos que incorpora dos o más componentes (peces y vegetales o plantas) en un diseño basado en la recirculación de agua (Tyson *et al.*, 2004; 2007; Dediú *et al.*, 2012). En este sistema, los nutrientes que excretan directamente los organismos cultivados en la producción acuícola (peces, camarones, bivalvos) o que son generados por la descomposición microbiana de los desechos orgánicos, son absorbidos y utilizados como nutrientes por las plantas cultivadas hidropónicamente (Roosta y Hamidpour, 2011). Es así como este modelo sirve para una producción sostenible de alimentos, de acuerdo con los principios de reutilización de aguas residuales, la integración de sistemas acuícola-agrícola en un policultivo que incrementa la diversidad y producción final, y la posibilidad de obtener productos “más sanos” con importantes impactos socioeconómicos a nivel local (Diver, 2006; Graber y Junge, 2009).

A continuación se presentarán de forma general las principales características de los sistemas de recirculación de acuaponía.

Sistema de recirculación acuapónicos

Aunque las prácticas de piscicultura y de cultivos hidropónicos han sido realizadas desde la antigüedad, la combinación de los dos es relativamente reciente (Al-Hafedh *et al.*, 2008; Fox *et al.*, 2010). Los primeros pasos en este campo, comenzaron en la década de los setenta con investigaciones que buscaban desarrollar sistemas de cultivo de peces a pequeña escala (Rakocy y Hargreaves, 1993). Hasta la década de los ochenta, la mayoría de los intentos para integrar la hidroponía y la acuicultura tuvieron éxitos limitados; sin embargo, en 1986, gracias a las innovaciones en los sistemas de recirculación propuestas por McMurtry *et al.* (1993, 1997), fue creado el primer sistema acuapónico (llamado sistema acua-vegetativo) que utilizó los efluentes de tilapia dentro de un cultivo de tomate.

Comercialmente, los sistemas acuapónicos están en sus inicios pero como la tecnología se desarrolla y es redefinida cada día, estos sistemas tienen el gran potencial de ser un método más eficiente y sostenible para el cultivo de peces y vegetales (Adler *et al.*, 1996; McMurtry *et al.*, 1997; Rackoy *et al.*, 1992, 1997; Watten y Busch, 1984; Al-Hafedh *et al.*, 2008; Hollyer *et al.*, 2009; Villarroel *et al.*, 2011). En acuaponía, los efluentes ricos en nutrientes de los tanques de los peces son usados para fertilizar la producción hidropónica (Van Gorder, 2003; Martins *et al.*, 2005; Diver, 2006; Kotsen y Appelbaum, 2010). En este sistema, las raíces de las plantas y las rizobacterias remueven los nutrientes del agua. Estos nutrientes (constituidos principalmente por las heces de los peces, algas y la descomposición de los alimentos) son contaminantes que si no se retiran podrían alcanzar niveles tóxicos para los peces, pero dentro de un sistema acuapónico sirven como fertilizante líquido para el crecimiento de las plantas. A su vez, las camas hidropónicas funcionan como un biofiltro, que mejora la calidad del agua, que será recirculada nuevamente a los tanques de los peces (Mateus, 2009).

Nelson (2008) cita que en acuaponía el desecho de los peces funciona como una fuente de alimento para las plantas y éstas a su vez, actúan como un filtro natural del agua en la que viven los peces. Esto crea un miniecosistema en donde tanto las plantas como los peces pueden vivir y prosperar. La acuaponía es una alternativa ideal para solucionar el problema de los acuicultores para deshacerse del agua cargada de nitrógeno y, asimismo, contribuir a la solución del problema de los agricultores de cómo conseguir el nitrógeno para sus plantas (Mateus, 2009).

Diseño del sistema de recirculación acuapónico

En general, los elementos esenciales de un sistema acuapónico son: 1) Un tanque para mantener los peces (u otros organismos acuáticos) fácil de limpiar y accesible para el

momento de la cosecha. 2) Un clarificador para remover las partículas originadas a partir de los desechos de los peces, las algas y la comida no consumida. El clarificador puede ser un tanque de sedimentación o algún tipo de filtro de selección para que las raíces de las plantas se protejan del acumulo de los desechos orgánicos. 3) Un biofiltro para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato inofensivo, el cual es un buen alimento para las plantas. Tres cosas son necesarias para la óptima operación de un biofiltro: a) bacterias nitrificantes, las cuales se encuentran en los ambientes terrestres y acuáticos; b) un sustrato para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.) y c) oxígeno. 4) Un componente hidropónico. Éste se basa en camas hidropónicas o camas de crecimiento, donde las plantas flotan en el agua de cultivo, usando como aislamiento una espuma de poliestireno. En algunas ocasiones es posible colocar los peces y las plantas en el mismo tanque de cultivo; sin embargo, es necesario adicionar algún tipo de malla o red que proteja las raíces de las plantas para evitar que sean maltratadas o incluso comidas por los

organismos acuáticos del cultivo. 5) Un sumidero, donde el agua pueda ser recolectada para que sea direccionada de nuevo hacia el tanque de cultivo de peces (Rivara, 2000; Lennard y Leonard, 2006) (Figura 1).

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2009), la secuencia de los elementos es la siguiente: Todos los dispositivos se conectan de tal forma que el agua rica en nutrientes pasa del tanque de peces al clarificador donde se eliminan la mayor parte de partículas disueltas, tanto grandes como pequeñas (Lennard, 2004). Después de pasar por el clarificador, el flujo sigue al biofiltro, el cual tiene una gran superficie que le permite alojar una gran cantidad de bacterias que convierten el amonio en nitrato, y otras que convierten el nitrato en nitrato (Walsh, 1998; Rakocy, 2007). A continuación, el líquido pasa a las camas de crecimiento que pueden tener grava de capa delgada o camas flotantes. El agua puede ser enviada directamente de regreso al tanque de peces o pasar primero por un sifón o sumidero que colecta el agua proveniente de todas las camas de crecimiento, para luego ser llevada nuevamente al tanque de peces y reiniciar el ciclo (Rakocy, 2007), (Figura. 2).

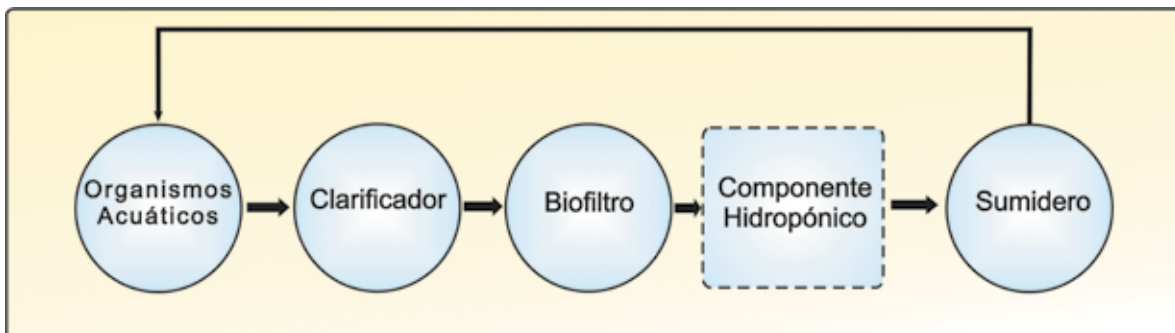


Figura 1. Arreglo de los componentes en un sistema de recirculación de acuaponía (Rakocy *et al.*, 2006).

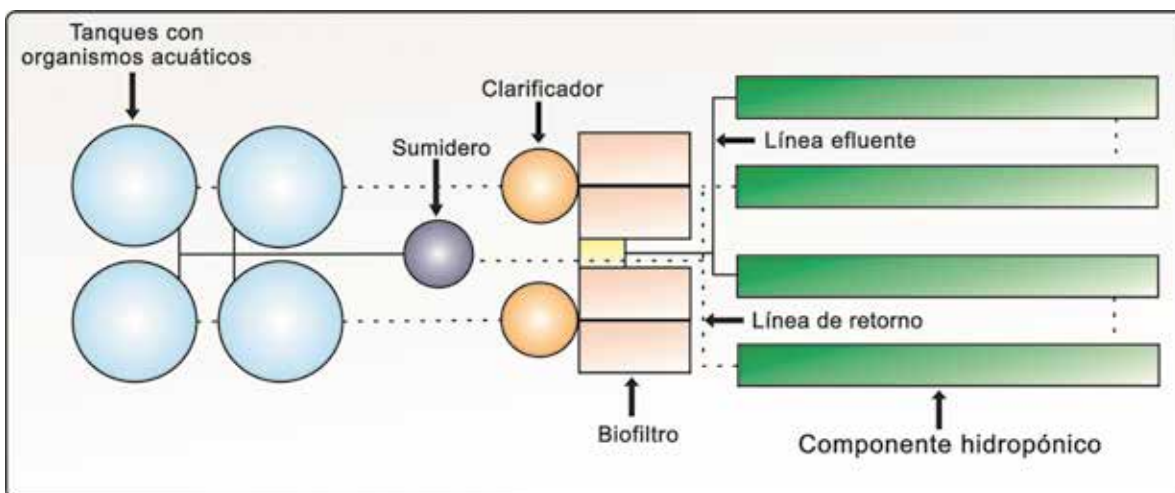


Figura 2. Disposición de un sistema de recirculación de acuaponía (Rakocy *et al.*, 2006).

No obstante, como en todos los sistemas de producción, hay varias posibilidades para adecuar el mejor sistema de recirculación en acuaponía. Un modelo muy exitoso utilizado en el cultivo de African catfish (*Clarias gariepinus*) y la espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*) se muestra en la Figura 3. En este sistema, el agua del cultivo de peces pasa directamente del componente hidropónico al de producción vegetal (Endut *et al.*, 2010).

Mantenimiento

Para la manutención del sistema y del funcionamiento general, de acuerdo con Ramírez *et al.* (2008), es necesario considerar algunas recomendaciones:

- Se deben realizar revisiones semanales del comportamiento de las variables fisicoquímicas, en especial el pH y los compuestos nitrogenados presentes en el agua. Por otra parte, el control de la oxigenación es fundamental y para esto se puede utilizar un oxímetro, pero si se carece de uno existen ciertas pistas que pueden ayudar a definir si hay una buena oxigenación en el agua del sistema: si los peces suben a la superficie y toman bocanadas de aire, se asume que hay una oxigenación deficiente, así como si al alimentar a los peces, estos no ingieren la comida o no existe ningún interés de ellos hacia el alimento.
- Las tuberías deben revisarse y repararse en caso de poseer bloqueos. La periodicidad depende de la utilización de las mismas. Al diseñar el sistema, tener en cuenta la ubicación de válvulas y de espacios adecuados

para que puedan ser desarmadas y realizarles mantenimiento.

- En el caso de las bombas y oxigenadores, la principal actividad de mantenimiento es conservar limpias las partes y en el caso de las bombas, mantenerlas libres de residuos que queden atrapados dentro de los filtros.
- Según sea el tipo de sistema escogido, el mantenimiento en las camas de crecimiento de plantas puede ser muy sencillo o laborioso. Por ejemplo, en sistemas de camas flotantes el mantenimiento es muy poco, comparado con sistemas con camas de grava, donde es necesario revisar si la grava está muy cargada de sedimentos y además realizar una limpieza.
- También se debe constatar si las plantas o los peces presentan síntomas de ataques de parásitos o enfermedades. Por esto, deben las personas que están a cargo de los sistemas poseer conocimientos sobre ambos problemas.

Especies a ser cultivadas

Esta decisión debe ser principalmente tecno-dirigida. Esto es, determinar qué peces y plantas crecen bien juntos.

Plantas adaptadas al sistema de recirculación acuapónico

La selección de especies vegetales adaptadas a los cultivos hidropónicos está directamente relacionada con la densidad de población en los tanques de peces y la concentración de nutrientes de los efluentes acuícolas. Más de 30

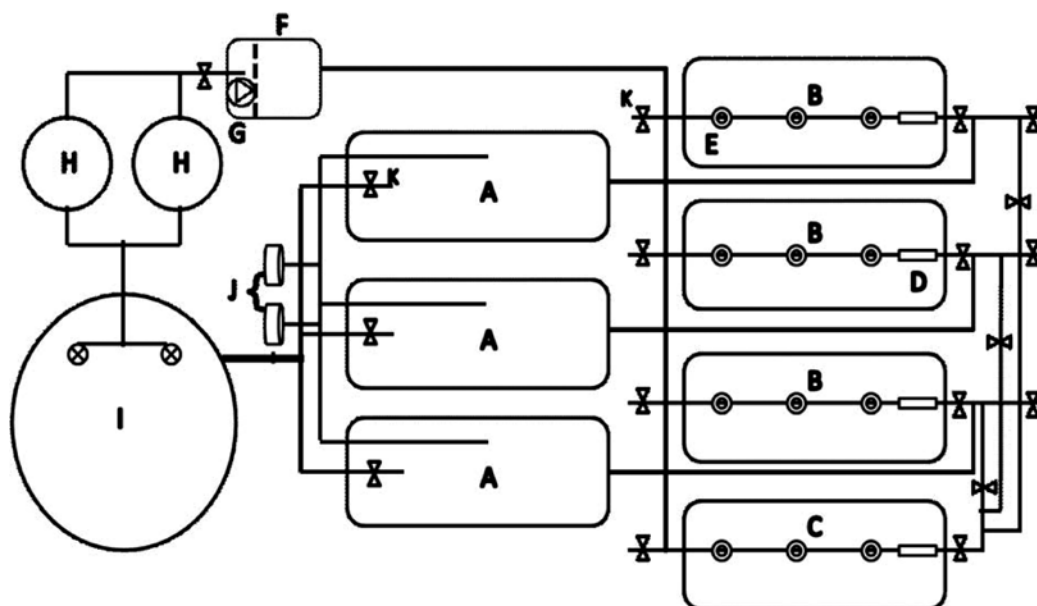


Figura 3. Sistema de recirculación de acuaponía usado en el cultivo de *African catfish* y la espinaca acuática. A: tanque de cultivo; B: sendero hidropónico (camas de plantas); C: sendero hidropónico (camas de control); D: filtro; E: rociador; F: sumidero; G: bomba; H: filtro de arena; I: tanque almacenador de agua; J: bomba de aire; K: Válvulas (Endut *et al.*, 2010).

tipos vegetales han sido cultivados en sistemas integrados con bases experimentales (Rakocy *et al.*, 1992). La lechuga, la espinaca, las cebolletas y la albahaca (entre otras), tienen bajos a medios requerimientos nutricionales y están bien adaptadas a los sistemas de recirculación de acuaponía. Por su parte, las plantas que producen frutos como los tomates, los pimientos y los pepinos, tienen una mayor demanda nutricional y se desarrollan mejor en sistemas acuapónicos más complejos (Diver, 1996; Masser, 2002).

Peces adaptados al sistema de recirculación acuapónico

Una gran cantidad de especies de peces dulceacuícolas, tanto de agua fría como templada, están adaptadas a los sistemas de recirculación acuapónicos. Entre estas se incluyen: tilapia (*Oreochromis niloticus*); híbridos de tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum* X *Oreochromis mosambicus*); carpa (*Cyprinus carpio*); híbridos de carpa (*Ctenopharyngodon idella* X *Aristichthys nobilis*); goldfish (*Carassius sp.*) (Sellock, 2003) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) (Adler *et al.*, 2000). También se han utilizados algunas especies de crustáceos como *Cherax quadricarinatus* (Diver, 2006). No obstante, la tilapia es un género más comúnmente usado en los sistemas de acuaponía debido a que es una especie que crece muy bien en tanques de recirculación y además tolera las condiciones fluctuantes del agua, tales como el pH, la temperatura, el oxígeno y los sólidos disueltos (Turkmen y Guner, 2010).

Ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación de acuaponía

Varios autores han mencionado las ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación de acuaponía (Rakocy y Bailey, 2003; Verdegem *et al.*, 2006; Diver, 2006; Pantanella, 2008; Grab y Junge, 2009; Martins *et al.*, 2010). Entre las ventajas se encuentran:

- Los sistemas de recirculación acuapónicos son un medio eficaz para reducir y aprovechar los residuos que normalmente son vertidos al ambiente.
- Debido a que las plantas recuperan un porcentaje sustancial de los nutrientes disueltos, la tasa de intercambio de agua se puede disminuir. Esto reduce los costos de operación en los sistemas acuapónicos en los climas áridos y los invernaderos con calefacción donde el agua representa un gasto importante.
- La rentabilidad es una de las principales preocupaciones cuando se considera el uso de un sistema de recirculación. A menudo estos sistemas son caros de construir y de operar. Sin embargo, mediante la incorporación de un cultivo secundario de plantas, que recibe la mayoría de los nutrientes necesarios sin costo adicional, el beneficio del sistema de cultivo puede mejorar.

- Las plantas utilizadas en el sistema acuapónico purifican el agua de cultivo y, con un adecuado diseño, pueden eliminar la necesidad de biofiltros separados y costosos. Es así como en sistemas de acuaponía, el componente hidropónico puede proporcionar biofiltración suficiente para el cultivo de organismos acuáticos y por lo tanto evitar el costo de compra y operación de un biofiltro separado.

Entre las desventajas hallamos:

- La más obvia de ellas es la proporción entre el área de cultivo de plantas y el área superficial para la cría de los organismos acuáticos. La gran proporción para el cultivo de las plantas se necesita para lograr un sistema equilibrado donde los niveles de nutrientes se mantienen relativamente constantes.
- En esencia, los sistemas de acuaponía hacen énfasis en el cultivo de plantas; sin embargo, es importante tener en cuenta que hay dos tipos de producciones, la vegetal y la animal. Por esta razón, es indispensable que se tengan conocimientos suficientes en las áreas de acuicultura y horticultura para poder ofrecer soluciones y mejoras a los sistemas de producción.
- Por último, los sistemas de producción acuapónica deben utilizar métodos de control biológico en lugar de pesticidas para proteger las plantas de plagas y enfermedades. Esto se debe a que los químicos empleados en la producción normal de plantas pueden alterar las características del agua y por ende afectar el componente acuático utilizado en el sistema. Sin embargo, esta restricción puede ser vista como una ventaja, ya que los productos de origen vegetal pueden ser ofrecidos en el mercado como “libres de pesticidas”.

Perspectivas en Colombia

La implementación de este tipo de sistemas de producción en Colombia, tiene un alto potencial de desarrollo e importantes ventajas, en comparación con otros países. El clima, los recursos hídricos de fácil acceso, la amplia variedad de especies acuáticas y vegetales y el incomparable ingenio de nuestros pequeños productores, hacen de los sistemas acuapónicos una herramienta real y eficaz para obtener los beneficios económicos y sociales que nuestro país tanto necesita.

Actualmente, grupos de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada y la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, están ejecutando estudios relacionados con los sistemas acuapónicos, integrando especies piscícolas como el goldfish, la tilapia, y especies vegetales como la lechuga, la menta y la albahaca, entre otras, para validar los paquetes tecnológicos claves para el cultivo conjunto de las especies. Sin embargo, es esencial que las entidades

tanto gubernamentales como privadas, inviertan en el desarrollo de esta nueva técnica de siembra y promuevan las investigaciones que hagan frente a la dinámica de los nutrientes en diferentes medios de cultivo, a la optimización en el diseño de los sistemas y al desarrollo sostenible de las granjas integradoras de acuaponía.

Conclusiones

Los sistemas de recirculación acuapónicos se presentan como una alternativa viable que integra a los sistemas de circulación cerrados en la acuicultura y los sistemas de producción hidropónicos. Es una forma muy eficaz de reducir el impacto ambiental al aprovechar los efluentes generados por la acuicultura y reutilizar el agua de los componentes acuáticos. Los sistemas acuapónicos se presentan como una nueva oportunidad de ingresos para los pequeños productores que pueden utilizar de una forma más eficaz los sistemas de recirculación cerrados que hay en el mercado. Aunque en muchas ocasiones el inicio de un nuevo sistema para una producción a pequeña escala pueden acarrear costos elevados, este sistema ha empezado a tomar fuerza entre los acuicultores que ven en él una inversión viable y de recuperación a corto plazo, debido a su doble producción. Sin embargo, como en la mayoría de los sistemas novedosos, la acuaponía aún requiere investigación adicional y apoyo de las entidades gubernamentales para establecer procedimientos y precios de los equipos más asequibles a los pequeños productores acuícolas.

Bibliografía

- ADLER, P. R.; HARPER, J. K.; WADE, E. M.; TAKEDA, F.; SUMMERFELT, S.T. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. En: *International Journal of Recirculating Aquaculture*. Vol. 1 (2000); p15-34.
- ADLER, P., R.; TAKEDA, F., GLENN, D., M.; SUMMERFELT, S., T. Utilizing byproducts to enhance aquaculture sustainability. En: *World Aquaculture*. Vol. 27, No. 2 (1996); p24-26.
- AL-HAFEDH, Y., S.; ALAM, A., BELTAGI, M., S. Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants. En: *Journal of the world aquaculture society*. Vol. 39, No. 4 (2008); p510-520.
- AMIRKOLAIE, A. K. Environmental impact of nutrient discharged by aquaculture waste water the Haraz river. En: *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol 3 (2008); p275-279.
- DEDIU, L.; CRISTEA, V.; DOCAN, A.; VASILEAN, I. Evaluation of condition and technological performance of hybrid baster reared in standrad and aquaponic system. En: *AACL Bioflux*. Vol. 4, No 4 (2011); p490-498.
- DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with baster and lettuce. En: *African Journal of Biotechnology*. Vol. 11, No. 9 (2012); p2349-2358.
- DIVER, S. Aquaponics — Integration of ATTRA Hydroponics with Aquaculture. En: ATTRA. (2006); p1-28.
- DIVER, S. Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. En: ATTRA (Sustainable Agriculture Information Service) and National Center for Appropriate Technology. No.163. (1996); p1-20.
- ENDUT, A.; JUSOH, A.; ALI, N.; WAN NIK, W. B.; HASSAN, A. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. En: *Bioresource Technology*. Vol. 101, No. 5 (2010); p1511-1517.
- FAO- The State of World Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Department, Rome. 2010. 5p.
- FOX, B. K; HOWERTON, R; TAMARU, C. S. Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems. En: *Biotechnology*. Vol. 10 (June) (2010); p2-11
- GRAB, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. En: *Desalination*. Vol. 247, (2009); p148-157.
- GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. En: *Desalination*. Vol. 246, No. 1-3 (2009); p147-156.
- HOLLYER, J.; TAMARU, C.; RIGGS, A.; KLINGER-BOWEN, R.; HOWERTON, R.; OKIMOTO, D.; CASTRO, L.; RON, T.; FOX, B.K.; TROEGNER, V.; MARTINEZ, G. On -farm food security: aquaponics. En: *Food safety and Technology*. Vol. FST 38 (2009); p1-7
- KOTSEN, B.; APPELBAUM, S. An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. En: *Journal of Applied Aquaculture*. Vol. 22 (2010); p297-320.
- LENNARD, W. A. Aquaponics research ar RMIT university, Melbourne Australia. En: *Aquaponics Journal*. Vol. 35 (2004); p18-24.
- LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. En: *Aquaculture International*. Vol 14 (2006); p539-550.
- LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P.; and RAKOCY, J. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations. En: *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) publication*. No. 451; (1998); p1-6.
- MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C. J.; HEINSBROEK, L. T. N.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J. P.; D'ORBCASTEL, E. R.; VERRETH, J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. En: *Aquacultural Engineering*. Vol: 43, No. 3, (2010); p83-93.
- MARTINS, C.I.M.; PISTRIN, M.G.; ENDE, S.S.W.; EDING, E.H.; VERRETH, J.A.J. THE accumulation of substances in recirculating aquaculture systems (RAS) affect s embryonic and larval development in common carp *Cyprinus carpio*. En: *Aquaculture* Vol. 291 (2009); p65-73.
- MARTINS, C.I.M., EDING, E.H., SCHNEIDER, O., RASMUSSEN, R., OLESEN, B., PLESNER, L., VER-RETH, J.A.J. Recirculation aquaculture systems in Europe. Edición 1. Oostende, Belgium. Consensus Working Group, Sustainable Aquaculture in Europe. 2005. 31p.
- MASSER, M. Hydroponics integration with aquaculture. First Ed. Alabama (2002). 23p.
- MATEUS, J. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. En: *RED hidroponía. Boletín* No. 44 (2009); p7-10.

- MCMURTRY, M. R.; SANDERS, D. C.; PATTERSON, R. P.; NASH, A. Yield of tomato irrigated with recirculating aquaculture water. En: Journal of Productive Agriculture. Vol. 6 (1993); p429-432.
- MCMURTRY, M. R.; SANDERS, D. C.; CURE, J. D.; HODSON, R. G.; HANING, B. C.; AMAND, P. C. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. En: Journal of the World Aquaculture Society. Vol. 28 (1997); p420-428.
- NAYLOR, R.L.; GOLDBURG, R.J.; PRIMAVERA, J.H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M.C.M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. En: Nature. Vol 405 (2000); p1017-1024.
- NELSON, L.R. Aquaponics food production. Raising fish and profit. First Edition. Virgen Islands. Nelson and Pade, Inc., 2008. 218p. ISBN 978-0-977969616
- PARDO, S.; SUAREZ, H.; SORIANO, E. Tratamiento de efluentes: una vía para La acuicultura responsable. En: Revista MVZ Córdoba. Vol. 11, No. 1 (2006); p20-29.
- PANTANELLA, E. Pond aquaponics: new pathways to sustainable integrated aquaculture and agriculture. En: aquaculture news. Vol: 34, (2008); p10-11.
- PIEDRAHITA, R. H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. En: Aquaculture. Vol. 226, No1-4 (2003); p35-44.
- RAKOCY, J. Aquaponics: integrating fish and plant culture. En: Timmons MB, Ebeling JM. Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. Capítulo 19. 2007. 975p. ISBN 978-0971264625
- RAKOCY, J. E.; BAILEY, D. S.; SHULTZ, K. A.; COLE, W. M. Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. En: Fourth international symposium. Tilapia Aquaculture. Vol. 1 (1997); p357-372.
- RAKOCY, J. E.; J. A. HARGREAVES. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. En: Techniques of modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Missouri, USA. Vol 1 (1993); p112-136.
- RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. En: SRAC Publication. No 454 (1992); p1-8.
- RAKOCY, J.; BAILEY, D. Initial economic analysis of aquaponic systems. En: Chopin, T.; Reinerstsen, H. (eds.). aquaculture Europe 2003: Beyond Monoculture. Trondeheim, Norway. European Aquaculture Society, Spec Publ. Vol. 33, (2003); p58-64.
- RAMÍREZ, D.; SABOGAL, D.; GÓMEZ, E., RODRÍGUEZ, D., HURTADO, H. montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish- Lechuga. En: Revista facultad de ciencias básicas. Vol. 5, No. 1 (2009); p.154-170.
- RAMÍREZ, D.; SABOGAL, D.; JIMÉNEZ, P.; HURTADO, H. La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. En: Revista facultad de ciencias básicas. Vol. 4, No. 1 (2008); p32-51.
- RIVARA, G. Small scale aquaculture: Aquaponics. Breinigsville. Alternative aquaculture association, Inc. 2000. 189p.
- ROOSTA, H. R.; HAMIDPOUR, M. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. En: Scientia Horticulturae. Vol. 129, No. 3 (2011); p396-402.
- SELOCK, D. An introduction to aquaponics: the symbiotic culture of fish and plants. Rural Enterprise and Alternative Agricultural Development Initiative Report No. 20 (2003). Southern Illinois University, Illinois, USA.
- TACON, A.; FORSTER, I. Aquafeeds and the environment: policy implications. En: Aquaculture. Vol 226 (2003); p181-189.
- TURKMEN, G.; GUNER, Y. Aquaponic (Integrating Fish and Plant Culture) Systems. En: 2nd International Symposium on Sustainable Development, June 8-9 2010, Sarajevo. Vol 1 (2010); p657- 666.
- TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; WHITE, J.M.; LAMB, E.M. Reconciling Water Quality Parameters Impacting Nitrification in Aquaponics: The pH Levels. En: Proc. Fla. State Hort. Soc. Vol. 117 (2004); p79-83.
- TYSON R.V.; SIMONNE E.H.; DAVIS M.; LAMB E.M.; WHITE J.M.; TREADWELL D.D. Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium. En: J Plant Nutr. Vol 30 (2007); p901-913.
- ULLOA, M.; LEÓN, C.; HERNÁNDEZ, F.; CHÁVEZ, R. Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. En: Avances en investigación agropecuaria. Vol. 9, No. 1 (2005); p1-5.
- VAN GORDER, S. Small- Scale aquaculture aquaponics: the new and the nostalgic. En: Aquaponics Journal. Vol. 7, No. 3 (2003); p14-17.
- VERDEGEM, M.C.J.; BOSMA, R.H.; VERRETH, J.A.J. Reducing water use for animal production through aquaculture. En: Int. J. Water Resour. Dev. Vol. 22, (2006); p101-113.
- VILLARROEL, M.; ALVARIÑO, J. M. R.; DURAN, J. M. Aquaponics : integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics. En: Spanish journal of agricultural research. Vol. 9 No. 2 (2011); p537-545.
- WALSH P. J. Nitrogen excretion and metabolism. En: The physiology of fishes. Evans DH (Editor). CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. 1998. 199-214p
- WATTEN, B. J.; BUSCH, R. L. tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculation water system. En: Aquaculture. Vol: 41 (1984); p271-283.