



SISTEMAS ACUAPÓNICOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN LA ACUICULTURA

AQUAPONICS SYSTEMS AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN THE AQUACULTURE

Jaime Andrés Cuaspa-Benavides ^a, <https://orcid.org/0000-0003-3263-5476>

Daniel David Guerrero-Bastidas ^a, <https://orcid.org/0000-0002-3387-5300>

Álvaro Javier Burgos-Arcos ^b, <https://orcid.org/0000-0001-7329-8766>

^a Ingenieros en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ndrscuaspa@gmail.com, danyvid.995@gmail.com

^b Zoot, MSc, PhD Biotecnología. Profesor, Departamento de Recursos Hidrológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. abjar1963@gmail.com

Recibido: 24-04-2019

Aceptado: 15-05-2019

RESUMEN

La acuicultura tradicional se desarrolla de manera inapropiada, en algunos casos sin tener en cuenta las afectaciones al medio ambiente como la eutrofización, introducción de compuestos químicos en los cuerpos de agua y su uso desmedido; por lo tanto, el acceso a recursos naturales cada vez es más limitado. Por otra parte, la agricultura se basa en el uso de fertilizantes e insecticidas que ocasionan el deterioro del suelo y del ambiente, acumulándose directa o indirectamente en la tierra y agua, por esta razón se requiere alternativas productivas sustentables que garanticen la conservación del ambiente, obteniendo ventajas de impacto ambiental positivo. La acuaponía actualmente tiene éxito como sistema de innovación en producción orgánica, por la obtención de productos agrícolas sin suelo en la producción de frutas, verduras y carne de pescado de excelente calidad nutricional; sin contaminantes de descarga, donde se fusionan tres sistemas biológicos diferentes: peces, plantas y bacterias nitrificantes, aprovechando los compuestos nitrogenados de los residuos del alimento y la materia orgánica de los efluentes de la acuicultura. En el presente trabajo se realiza una revisión sistemática de los sistemas acuapónico como una alternativa sustentable de producción de alimentos orgánicos.

Palabras clave: acuaponía, agricultura orgánica, bacterias nitrificantes, sustentable

ABSTRACT

Traditional aquaculture is going wrong; sometimes, it ignores side effects like pollutions, eutrophication; the introduction of chemical compounds on natural water is complicated every day. On the other hand, farming is based on the use of fertilizers and insecticides that produce deterioration in the ground and the environment, and it is accumulated on the land even in the water. That is why we need productive and sustainable alternatives that help in the conservation of the environment getting advantage of positive environmental impact. The aquaponics is being successful like an innovation system on organic productions for obtaining farming products whit out the using of the ground; these products could be fruits, vegetables and fish with excellent nutritional value and without discharge polluters where

Revisión literaria

biological systems are fused Fishes, plants and nitrifying bacteria taking the nitrogen compounds by food waste and organic matter from aquaculture effluents. This presentation is made a review of the aquaponics system like a sustainable organic food production.

Keywords: aquaponic, organic agriculture, nitrifying bacteria, sustainable

INTRODUCCIÓN

La pesca y la acuicultura siguen siendo importantes fuentes de alimentos, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo. La oferta mundial per cápita de pescado alcanzó un nuevo máximo histórico de 20 kg en 2014, gracias a un intenso crecimiento de la acuicultura ^[1]; además, aporta a mejorar la seguridad alimentaria, pero hay varias preocupaciones que deben abordarse para que las producciones piscícolas sean sostenibles ^[2]; para lograr dicha sostenibilidad es necesario el desarrollo de sistemas productivos eficientes en recursos, por lo anterior los productores agrícolas necesitan nuevos métodos de cultivo para reutilizar nutrientes, evitar contaminación del ambiente y maximizar la eficiencia en sistemas productivos. ^[3]

El desarrollo intensivo de la industria piscícola ha sido acompañado por un aumento en el impacto ambiental, donde los procesos de producción generan de efluente contaminado, que

contiene alimento no consumido y heces ^[4]; de esta manera, las descargas provenientes de la acuicultura al medio acuático contienen diversos compuestos orgánicos e inorgánicos, especialmente amonio, fósforo, carbono orgánico disuelto y materia orgánica, lo cual provoca el deterioro ambiental de los cuerpos de agua ^[5, 6].

La acuaponía, también conocida como la integración entre acuicultura y la hidroponía, ha venido ganando cada vez más atención, considerados como sistemas de producción de alimentos bio-integrados, reutilizando los nutrientes liberados por los peces para un óptimo cultivo de plantas. ^[7]

Aquí se hace una revisión que pretende presentar las ventajas ambientales que tiene la acuaponía, comparando las alternativas productivas, en las cuales coexisten especies acuáticas y productos vegetales, donde los resultados muestran un uso eficiente de los recursos.

REVISIÓN DE LA TEMÁTICA

Importancia de la acuaponía

El agua es esencial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, siendo el elemento vital de los ecosistemas, incluyendo bosques, lagos y pantanos, en los cuales es indispensable para garantizar disponibilidad de alimentos a las generaciones presentes y futuras ^[8]; por ello la producción de alimentos tradicionalmente se realiza con un consumo elevado de agua y otros recursos, de donde nace la necesidad de enfatizar en nuevas prácticas para la producción; una de estas alternativas es integrar la acuicultura y la agricultura hidropónica reutilizando el efluente y con esto disminuir el impacto ambiental, lo que se conoce como acuaponía, un

sistema de recirculación de agua utilizando un tratamiento de filtración mecánica, biológica y mineralización; de esta manera transformar amonio en nitritos y nitratos; y así nutrir las plantas. ^[9]

La producción de un sistema acuapónico semi-intensivo para tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*) ^[10], donde se logró determinar que el sistema acuapónico utilizado en este experimento puede llegar a generar 35 toneladas de tilapia anualmente, y se encuentra dentro del intervalo productivo de los sistemas semi-intensivos que van de 20 a 50 ton/Ha ^[11]; además, se utilizó cerca de 10.000 L de agua para la producción de 21,33 kg/m³ de tilapia y 50 plantas

de lechuga, por lo tanto en este sistema se ahorran 210.000 L por ciclo de producción del total de agua de un sistema convencional; el racionamiento de este recurso tiene un efecto económico en las utilidades, al no emplear las bombas para suministrarla, generando un ahorro en energía eléctrica. Por otra parte, puede significar grandes ganancias económicas y productivas, ya que se pueden obtener diversos productos empleando los mismos requerimientos que si solo se utilizara el sistema acuícola.

Dando a conocer las ventajas competitivas de la simbiosis que existe entre plantas, peces y bacterias, se puede determinar como una producción ambientalmente sostenible, logrando obtener productos de calidad orgánica dándole viabilidad en el contexto de nuestra región y país. En Colombia, los impactos ambientales de la acuaponía se pueden analizar con la evaluación del ciclo de vida basada en ISO 14040 e ISO 14044 (ISO 2006a; ISO 2006b) ^[12]. Teniendo en cuenta que los productos obtenidos, son de calidad, cumplen con requerimientos que se manejan dentro de la industria de alimentos orgánicos, y obtener productos saludables con mayor valor nutricional y menos químicos tóxicos para el consumidor.

Las revisiones de varios estudios muestran que las variedades orgánicas proporcionan niveles significativamente mayores de vitamina C, hierro, magnesio y fósforo que las variedades no orgánicas de los mismos alimentos. Al ser más altos en estos nutrientes, también son significativamente más bajos en nitratos y residuos de pesticidas. Los alimentos orgánicos generalmente proporcionan mayores niveles de varios fitoquímicos antioxidantes importantes (antocianinas, flavonoides y carotenoides), además tienen mayor actividad antioxidante y son supresores potentes de la acción mutagénica de los compuestos tóxicos e inhiben la proliferación de ciertas líneas celulares de cáncer. ^[13]

Los sistemas acuapónicos presentan varias utilidades sobre los sistemas convencionales de producción de alimentos como ^[14]: 1) Reutilización del agua: al ser un cultivo en sistema cerrado permite la circulación del agua ya que el tratamiento de esta permite el reusó del mismo,

donde las plantas utilizan nutrientes en forma de NAT (Nitrógeno Amoniacal Total) que permiten purificar el agua en la que viven los peces. Esto crea un ecosistema sostenible donde las plantas y los peces pueden coexistir, usando menos agua y espacio, además no se produce aguas residuales ni contaminantes en comparación con los métodos convencionales ^[15]; 2) Espacio y eficiencia en la producción: La acuicultura tradicional ocupa grandes espacios para su operación, mientras que en la acuaponía permite cultivar grandes cantidades en áreas pequeñas, optimiza la mano de obra y lleva los cultivos a zonas urbanas, mitigando la necesidad de tierra, trasladando los alimentos a la puerta de los consumidores, eliminando la necesidad de transporte, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. ^[16]

Hay una necesidad urgente de innovación en agricultura que ofrezca altos rendimientos con menor uso de agua, fertilizantes, plaguicidas, energía y otros insumos. En este contexto la acuaponía se presenta como una alternativa de producción de alimentos en forma orgánica, sustentable, y económicamente rentable que, con el apoyo del estado y, dadas sus características podría implementarse en todo el territorio nacional, siendo posible generar un impacto positivo a nivel económico, social y del medio.

Aspectos de la acuaponía y la seguridad alimentaria

Los sistemas acuapónicos, debido a su carácter innovador, integrador y de múltiples escenarios de aplicación desde alta y baja tecnología, es una alternativa atípica y compleja para la producción de alimentos vegetales y animales de manera simultánea. La complejidad de estos sistemas y su aplicación en diferentes entornos afecta positivamente aspectos como la sostenibilidad: económica, ambiental y social ^[17]. Además, se ratifica que esta producción puede utilizarse para mejorar los medios de vida de los hogares y las comunidades que decidan emprender esta novedosa tecnología, más aún a sabiendas de que el pescado es una fuente importante de proteínas que son deficientes en los

Revisión literaria

países de ingresos bajos y medianos y las verduras mejoran la nutrición, mejorando su bienestar familiar.^[18]

Ahora bien, es importante tener en cuenta que la acuaponía podría ayudar a aumentar la seguridad alimentaria, a pesar de que, los costos de sistemas productivos de última tecnología podrían excluir a personas de bajos recursos de los beneficios de sostenibilidad de los mismos, por cuanto algunos aspectos para el funcionamiento, como por ejemplo la energía eléctrica lamentablemente podrían ser una limitante, otra dependencia directa es el agua; estos servicios de primera necesidad, podrían restringir su uso en zonas urbanas no planificadas y áreas rurales donde los déficits de nutrición en parámetros de variedad y calidad de alimentos son los más deficitarios.

Por otra parte la agricultura, hoy en día, presenta dificultades debido entre otros factores, al cambio climático por el exceso de radiación solar ultravioleta, el avance de mayores áreas desérticas, la escasez de agua, inviernos y veranos que no se pueden pronosticar (muy largos y muy cortos) que están poniendo en peligro la agricultura convencional y el alimento a la población, por ende el agricultor tiene que comenzar a crear procesos industriales de agrarios donde puede controlar el ambiente, el agua y contribuyendo de mejor manera a la estabilidad del planeta. Por esta razón existe la posibilidad de implementar sistemas acuapónicos de baja tecnología, con pocos insumos (semillas de plantas y peces) que pueden desarrollarse fácilmente y sustituir los sistemas de producción tradicionales, aumentando su capacidad productiva.

En un sistema de producción sostenible con plantas y peces^[19], se logró establecer que la construcción de un sistema de riego por medio de la acuaponía no solo puede servir para mejorar la economía de muchas familias y campesinos, sino que también tiene como uno de sus objetivos la crianza y conservación de peces. La creación de este sistema de acuaponía se puede conseguir e implementar en cualquier tipo de topografía por lo que se denominó como un

proyecto confiable para cosechas de diferentes tipos de frutas y verduras.

A nivel mundial, en la India la acuaponía es una solución para la agricultura moderna en manglares ecológicamente sostenibles donde refiere que la tecnología acuapónica se puede utilizar de manera efectiva para proporcionar alimentos cultivados localmente para nuestras comunidades. Las tecnologías ecológicas con acuicultura integrada pueden anunciar un cambio bienvenido en el cinturón de manglares, y con la demanda de una garantía constante de alimentos.^[20]

En México, se realizó un estudio sobre la producción sostenible y como afecta la participación de las comunidades; donde obtuvieron importantes reflexiones^[21], ya que en esas comunidad se logró transformar el método de cría de trucha y cultivo de hortalizas, con técnicas nuevas a un menor costo que la producción artesanal mejorando la economía familiar, mediante nuevos conocimientos y habilidades técnicas para el manejo y control de los recursos obtenidos del sistema y que al comercializarlos, a su vez ocasionará menor contaminación ambiental y más aprovechamiento de los recursos naturales llevando a los consumidores a obtener un alimento inocuo, accesible y disponible, ayudando a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional.

Existen alternativas de aprovechamiento ambiental donde la acuaponía juega un papel importante. Algunos autores^[22] desarrollaron un sistema de producción como alternativa sostenible de plantas y peces, lo cual resulta ser idóneo frente a restricciones de no tener las condiciones adecuadas de los suelos para crecimiento agrícola. Como producto se obtuvo la agricultura sostenible por medio de acuaponía, que desde la perspectiva de docencia e investigación generen beneficios a la comunidad y la región dando oportunidades para el mejoramiento de los procesos académicos y administrativos. La implementación de esta alternativa de producción tuvo una viabilidad económica ya que el sistema evaluado corresponde al sistema con camas de sustrato sólido, un sistema

bio-acuapónico con energía solar para capacidad de 500 litros, albergue de 50 peces y 108 plantas cultivadas, por un valor total \$5.602.000 (COP).

Alternativas productivas

En los sistemas acuapónicos se puede producir múltiples cultivos de plantas, pero, debido a los patrones de crecimiento específicos y las diferencias de productos comercializables, no se puede promover un protocolo único, cada cultivo produce un valor diferente por unidad de área y esto debe ser considerado cuando se seleccionan variedades a producir para proporcionar los rendimientos más altos para el productor. Las variables que influyen en el valor de un cultivo son densidad (plantas/m²), rendimiento (unidad o kg), período de producción (semanas) y valor unitario (\$COP), la combinación de estas variables en una unidad, \$(COP)/m²/semana, proporciona un punto común para la comparación entre cultivos.^[23]

En el caso de cultivo de hortalizas se comparó el crecimiento, el rendimiento y la calidad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) entre los sistemas hidropónicos y acuapónicos en los que se usaron cangrejos de río (*Procambarus* spp.) donde se evidenció que la albahaca, en el sistema acuapónico, tiene un 14%, 56% y 65% más de altura, peso fresco y peso seco, respectivamente, en comparación con la albahaca hidropónica^[24]. Por otra parte se evaluaron el policultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y cangrejo de río (*Procambarus acanthophorus*) en un sistema acuapónico con la producción de forraje de maíz verde (*Zea mays*) por hidropónicos y acuapónicos, en la que se observó que el forraje redujo la concentración de compuestos de nitrógeno y fosfatos hasta en un 90% alcanzando una producción de maíz más alta que la producción hidropónica de un 9,4%; además, redujo el ciclo de crecimiento en 11,5 días en comparación con otro tipo de producciones convencionales.^[25]

También se comparó la capacidad de un sistema acuapónico con cangrejos de agua dulce (*Cherax quadricarinatus*, familia *Parastacidae*)

y espinacas de agua (*Ipomoea aquatica*), comparado con la cría de cangrejos sin plantas, donde las tasas de supervivencia de los cangrejos de río fueron del 85% (sin plantas) y del 90% (acuapónico). En este sistema es posible reducir las aguas residuales procedentes del cultivo de cangrejos de agua dulce, especialmente el amoníaco (NH₃), hasta el 84,6%, el nitrato (NO₃) hasta el 34,8% y el ortofosfato sufrió una reducción del 44,4%^[26]; por lo tanto, las aguas residuales efluentes de la acuicultura mejoran el crecimiento de las espinacas en el sistema sin la adición de nutrientes.

También se investigó el efecto que tiene dos fotoperiodos para espinacas de agua (*Ipomoea aquatica*) (12 horas o 24 horas luz por día), con tres frecuencias de alimentación (una ración diaria igual alimentada uniformemente 6, 4 y 2 veces a 4 h, 6 h y 12 h, respectivamente, obteniendo un aumento en peso promedio de 43,9% para peces y 169% para plantas; la luz por 24 h dio como resultado un mayor crecimiento en peces de 2,4%, un crecimiento en plantas mayor de 12% y una menor acumulación de nitrógeno y fosfato en agua que la luz de 12 h; la mayor frecuencia de alimentación favoreció la calidad del agua, aceleró el crecimiento de peces y de las plantas hasta en un 4,9% y 11%^[27] respectivamente; en consecuencia, el estudio demostró que el fotoperiodo extendido y el aumento de la frecuencia de alimentación aumentaron la producción de peces y plantas y disminuyen la acumulación de nitrógeno y fósforo en el agua.

En este contexto se evaluó el potencial de (*Azospirillum brasilense*) para mejorar el crecimiento de la albahaca bajo el sistema acuapónico, utilizando tres cepas (Sp7, Sp7-S y Sp245) inoculadas en las plántulas de albahaca, que produjeron raíces más largas (90%), plantas más altas (19%) con hojas más desarrolladas (25%) y más grandes (61%) dando como resultado una incrementación de 79 y 44% en biomasa fresca y seca respectivamente, en los sistemas acuapónicos las plantas también mostraron un rendimiento de crecimiento superior, en el área de la hoja, el rendimiento de forraje fresco y el peso de la raíz aumentaron hasta 27, 11 y 11% respectivamente, también mejoró la

Revisión literaria

actividad de la peroxidasa (73%), el ácido indol-3-acético de plantas endógenas (27%) y los contenidos de proteínas (20%); estas inoculaciones con *Azospirillum* no causaron alteraciones significativas en la composición de las comunidades bacterianas indígenas presentes en la rizosfera de la raíz. [28]

Por lo tanto, esta rizobacteria promotora del crecimiento de las plantas podría ser un recurso importante en el cultivo acuapónico para mejorar aún más el crecimiento de las plantas y, lo que es más importante aumentar la productividad de los cultivos, la integración en este sistema con peces, plantas y otros puede no solo mejorar la productividad sino también la biodiversidad y el equilibrio biológico.

Con referencia a un experimento cuya finalidad era la estandarización del caudal de agua para la carpa koi (*Cyprinus carpio*, variedad Koi) y el pez dorado (*Carassius auratus*) junto con espinacas (*Ipomoea aquatica*) en un sistema acuapónico [29], en el que se evaluó diferentes caudales (0,8, 2,4 y 4 L/min), donde se sugiere 0,8 L/min como tasa de flujo óptima para el cultivo de estas dos especies acuícolas, con espinaca de agua, mostrando el mayor porcentaje de eliminación de nutrientes ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, K).

Se compararon tres medios hidropónicos de piedras trituradas (T1), piedras de río (T2) y balsa flotante (T3) en un sistema acuapónico con carpa común (*Cyprinus carpio*) y menta (*Mentha arvensis*) en el cual se determinó la eliminación máxima de NAT en T1 (77,13%), seguida de T3 (69,65%), y la eliminación mínima se observó en T2 (48,82%); la eliminación de nitratos más alta se observó en T1 (82,95%) seguido de T3 (68,04%) y T2 (59,51%), la eliminación de fosfato fue significativamente menor en T2 (50,12%) en comparación con T1 (67,85%) y T3 (70,71%), llegando a la conclusión que la piedra triturada y la balsa flotante fueron significativamente eficientes en la eliminación de nutrientes y mantenimiento de la calidad del agua para el cultivo de peces. [30]

Se evaluó la posibilidad de utilizar diferentes densidades de tomate cherry como biofiltro en un sistema acuapónico en un cultivo intensivo de gourami perla; el tomate cherry se sembró en

cuatro densidades de 0 (control), 3 (T1), 6 (T2) y 9 (T3) plantas por unidad acuapónica, con una densidad de stock de peces constante en el que se encontró un potencial para eliminar el nitrógeno del agua en T3, resultando ser el más alto al ser comparado con otros tratamientos ($p < 0,05$) mostrando concentraciones más bajas de NAT ($0,05 \pm 0,091$ mg/L), NO_2 ($0,11 \pm 0,008$ mg/L), NO_3 ($29,77 \pm 0,205$ mg/L) y fosfato ($18,59 \pm 0,185$ mg/L) por lo que generó una máxima ganancia de peso en los peces ($26 \pm 0,014\%$) con $1,26 \pm 0,059$ FCR y alcanzo la máxima longitud total de la planta ($74,70 \pm 1,153$ cm) en comparación con otros grupos, por ende el aumento de la densidad de las plantas en un sistema acuapónico, reduce la contaminación del agua como el nitrito, nitrato, NAT y fosfato. [31]

Estudios demuestran la importancia de un co-cultivo de las micro alga *Chlorella* sp, en sistemas acuapónicos para el control de amoníaco, donde encontraron que las algas tienen un efecto positivo en el equilibrio de la caída del pH, causada por las bacterias nitrificantes, y el amoníaco podía ser controlado por las algas ya que las algas prefieren el nitrógeno amoniacal sobre el nitrógeno nitrato por lo cual las algas son más eficientes para la eliminación total de nitrógeno que las verduras, las algas tienen un papel único en el sistema acuapónico y podrían colocarse en la etapa final del sistema para una mayor eliminación del amoníaco cuando la situación lo permita [32]. Las microalgas tienen un alto contenido de proteínas y muchos nutrientes, que podrían aplicarse como un suplemento alimenticio para peces para mejorar la calidad del rendimiento.

Simbiosis del sistema acuapónico

En los sistemas acuapónicos, el aporte de nutrientes a las plantas se realiza mediante los desechos de los peces ricos en nutrientes disueltos (excreción de branquias, orina, heces y alimento no consumido), compuestos orgánicos solubles en forma iónica en el agua, ricos en macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, S y Mg) y micronutrientes (Fe, Cl, Mn, B, Zn, Cu y Mo),

esenciales para su crecimiento^[33], para así mantener un crecimiento adecuado de las plantas, monitoreando periódicamente estas concentraciones, es posible que sea necesario agregar algunos nutrientes para ajustar su concentración; por ejemplo, el hierro suele ser deficiente en estos sistemas de producción^[34, 35]. Es importante entender que la relación óptima entre peces y plantas debe identificarse para obtener el equilibrio correcto entre la producción de nutrientes de peces y la absorción de plantas en cada sistema.

Además, se da a conocer que el ciclo del nitrógeno en los sistemas acuapónicos comienza con la introducción de proteínas en el alimento para peces, que es ingerido y luego se excreta a la fase acuosa en forma de nitrógeno amoniacal total (NAT es decir, NH_3 y NH_4). El amoníaco

es oxidado primero por las bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) hasta nitrito (NO_2^-), y luego es convertido en nitrato (NO_3^-) por las bacterias oxidantes de nitrito (NOB, principalmente *Nitrobacter* spp y *Nitrospira* spp), las plantas pueden absorber el NO_3^- ; sin embargo, el NAT residual y el NO_2^- , pueden ser tóxicos para vegetales^[36]. Esto significa que la acuaponía no solo puede mejorar la productividad sino también la biodiversidad y el equilibrio biológico, ya que estos sistemas de producción imitan un proceso natural a través de la interacción entre peces, microbios beneficiosos y planta, abarcando una alta cantidad de principios y prácticas de métodos productivos orgánicos, que incluyen la biodiversidad y la nutrición natural de las plantas.

CONCLUSIONES

La producción acuapónica tiene beneficios significativos para el ambiente, como la reutilización del agua, que reduce hasta el 95% del consumo comparado con la producción convencional, lo cual conlleva a disminuir la disponibilidad de este valioso recurso, con menores o nulos vertimientos que contaminan el medio; estas formas de crear alimentos eliminan la necesidad de biofiltro y se modifican por un componente hidropónico suficiente para el cultivo de organismos acuáticos.

Por otra parte, estas producciones pueden ser implementadas en cualquier lugar, convirtién-

dose en alternativas apropiadas para las regiones con escasez de recurso hídrico, además la versatilidad de cultivos tanto en peces como en plantas hace que estos sistemas se adapten a cualquier entorno.

En los sistemas de producción intensiva se requiere personal capacitado en protocolos, que permita garantizar un control adecuado de las variables de calidad del agua, con el fin de propiciar la inocuidad y la calidad de los alimentos, al igual que en la toma de decisiones inmediatas a los problemas y situaciones que se presenten en el sistema productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma; 2017, 224 p. <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>
- [2] FAO. The state of world fisheries and aquaculture: The state of world fisheries and aquaculture. Roma, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, Viale delle Terme di Caracalla; 2012.
- [3] Martinez J, Dabert P, Barrington S, Burton C. Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresour Technol.* 2009; 100 (22): 5527–5536.
- [4] Read P, Fernandes T. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture.* 2003; 226 (1): 139–163.
- [5] Piedrahita R H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture.* 2003; 226: 35–44.

Revisión literaria

- [6] Sugiura S H, Marchant D D, Wiggins T, Kelsey K, Ferraris R P. Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. *Environ. Pollut.* 2006; 140 (1): 95–101.
- [7] Diver S. Aquaponics – Integration of Hydroponics with aquaculture. ATTRA. 2006,
- [8] Ki-moon B. Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo. Roma, FAO; 2017. Consultado el [14 de marzo de 2019]. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- [9] Sánchez-Ortiz I A. Remoção de nitrogênio de água residuária de produção intensiva de tilápias com recirculação utilizando reator de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos. [Mestre em Engenharia Civil]. Ilha Solteira, SP, Brasil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; 2009.
- [10] García-Parra J A. Evaluación productiva y económica de un sistema acuapónico semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino (*Cucumis sativus*). [Tesis de Maestría]. Xalisco [México], Universidad Autónoma de Nayarit; 2017.
- [11] Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Manual de producción de tilapia con especificaciones de calidad e inocuidad. 2013.
- [12] König B, Junge R, Bittsanszky A, Villarroel M, Komives T. On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles.* 2016; 2 (1): 26-32.
- [13] Crinnion W J. Organic foods contain higher levels of certain nutrients, lower levels of pesticides, and may provide health benefits for the consumer. *Altern. Med. Rev.* 2010; 15 (1): 4–12.
- [14] Scaglione M C, Ferrero G, Pergazere M, Bugnon M, Sciara A, Cerutti R D. Acuaponía, nueva tecnología de producción agropecuaria. En: V Jornada de difusión de la investigación y extensión; Santafé, Argentina, noviembre, 2017. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Naturales.
- [15] Datta S, Mahapatra J N, Bhakta J N, Bag S K, Lahiri S, Mandal R N, Jana B B. Aquaponics: A green and sustainable eco-tech for environmental cum economic benefits through integration of fish and edible crop cultivation. *Wastewater Management Through Aquaculture*, 2018; 207-224.
- [16] Sarkar A, Majumder M. Opportunities and challenges in sustainability of vertical eco-farming: A Review. *Journal of Advanced Agricultural Technologies.* 2015; 2 (2): 98-105.
- [17] König B, Junge R, Bittsanszky A, Villarroel M, Komives T. On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles.* 2016; 2 (1): 26-32.
- [18] Tacon A, Metian M. Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Fisheries Science.* 2013; 21 (1): 22-38.
- [19] Alan-Sánchez J. System of sustainable production of plants and fish (aquaponics): case of Mexico. *Monfragüe.* 2017; 8 (2): 152-157.
- [20] Chakravartty D, Mondal A, Raychowdhury P, Bikash Bhattacharya S, Mitra A. Role of aquaponics in the sustenance of coastal India: Aquaponics is a solution for modern agriculture in ecologically sensitive Indian mangrove Sundarbans: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies.* 2017; 5 (2): 441-448.
- [21] Olalde-Libreros G J, Rivera-Barragán M R. Sistema agro acuícola ecoeficiente como una alternativa biotecnológica sostenible. En: Congreso Internacional de Sistemas de Gestión de Actividades de Tercera Misión; Veracruz, 15-17 de octubre de 2014. México: Universidad Veracruzana; 2014. p. 936-939.
- [22] Vanegas-Olaya L F, Reyes-Ramos J L. Evaluación de impactos y formulación de propuestas de alternativas de aprovechamiento ambiental con fines de sostenibilidad en la finca San Miguel de la Universidad de la Salle, [Proyecto de grado Ingenieros Ambientales y Sanitarios]. Bogotá [Colombia], Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería; 2016.

- [23] Bailey D S, Ferrarezi R S. Valuation of vegetable crops produced in the UVI Commercial Aquaponic System. *Aquaculture Reports*. 2017; 7: 77-88.
- [24] Saha S, Monroe A, Day M R. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Science*. 2016; 61: 181-186.
- [25] Alfredo-Gallardo C, Hernández Vergara M P, Pérez-Rostro C I, Ramírez-Gutiérrez S C. Biculture tilapia/crayfish in aquaponic system biculture of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and crayfish (*Procambarus acanthophorus*) and production of green corn fodder (*Zea mays*) in an aquaponic system. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*. 2014; 3 (8): 233-244.
- [26] Effendi H, Utomo B A, Darmawangsa G M. Phytoremediation of freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society*. 2015; 8 (3): 421-430.
- [27] Jung-Yuan L, Yew-Hu C. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapiae water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013; 85: 693-700
- [28] Mangmang J S, Deaker R, Rogers G. Inoculation effect of *Azospirillum brasilense* on basil grown under aquaponics production system. Springer Science, Business Media Dordrecht; 2015.
- [29] Nuwansi K K, Verma A K, Prakash C, Tiwari V K, Chandrakant M H. Standardization of the stocking density ratios of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi), goldfish (*Carassius auratus*) in polyculture aquaponic recirculating system. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2017; 17: 1271-1278.
- [30] Shete A P, Verma A K, Chadha N K, Prakash C, Chandrakant M H, Nuwansi K K. Evaluation of different hydroponic media for mint (*Mentha arvensis*) with common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in an aquaponic system. Springer International Publishing Switzerland; 2017.
- [31] Shima M, Seyed P, Hosseini S, Mehdi S M. Biological nutrient recovery from culturing of pearl gourami (*Trichogaster leerii*) by cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) in aquaponic system. Springer-Verlag GmbH German; 2017.
- [32] Min M A, Faryal K, Renchuan Z, Qian L, Xiangyuan D, Dean C, Griffith R, Ma Y, Wenguang Z, Chen P, Ruan R. Co-cultivation of microalgae in aquaponic systems. *Bioresource Technology*. 2017; 245: 27-34.
- [33] Resh H M. Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. Boca Raton, FL [USA], CRC Press; 2012.
- [34] Rakocy J E, Shultz R C, Bailey D S, Thoman E S. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horti*. 2004; 648: 63-69.
- [35] Seawright D E, Stickney R R, Walker R B. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*. 1998; 160: 215-237.
- [36] Hu Z, Lee J W, Chandran K, Kim S, Brotto A C, Khanal S K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*. 2015; 188: 92-98.