

## Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura

A. A. Cifuentes<sup>1\*</sup> , A. K. Leguizamón<sup>1</sup> , J. A. Zambrano<sup>1</sup> , M. A. Landines<sup>1</sup> 

Recibido: 8/02/2023. Aprobado: 31/10/2023

### RESUMEN

La acuaponía es un sistema de producción que integra la acuicultura y la hidroponía, se destaca por su capacidad de producir alimentos de forma sostenible, promoviendo el reciclaje de nutrientes, el uso eficiente del agua y generando alimentos de alta calidad e inocuidad. Por ese motivo, el objetivo de este artículo de revisión fue compilar los conceptos más relevantes y avances alcanzados en la aplicación de esta técnica productiva mediante la exploración y sistematización de investigaciones publicadas en bases de datos de revistas indexadas durante la década 2012-2022. Los resultados obtenidos se organizaron en cuatro grandes categorías: 1. La acuaponía desde una perspectiva biológica; 2. viabilidad y rentabilidad del sistema acuapónico; 3. desarrollos ingenieriles, nuevas tendencias y tecnologías en acuaponía; y 4. aspectos ambientales y sociales de la acuaponía. La información científica y tecnológica compilada permitirá conocer el potencial, la viabilidad y adaptabilidad de los sistemas acuapónicos en un contexto de cambios ambientales, sociales y económicos. En ese sentido, la bibliometría, realizada con 55 publicaciones seleccionadas, permite identificar que el año de mayor producción científica en sistemas acuapónicos fue 2020, con 23% de la producción total en la década analizada, y que el 63% de las investigaciones se publicó en los últimos cinco años (2018 a 2022). Finalmente, por área temática, se encontró que el 44% de las investigaciones realizadas corresponden a la categoría “desarrollos ingenieriles, nuevas tendencias y tecnologías”, seguido por la “perspectiva biológica” y “aspectos ambientales y sociales” con 28% y 20%, respectivamente. El área con menor cantidad de publicaciones correspondió a “viabilidad y rentabilidad” (8% del total de referencias).

**Palabras clave:** acuaponía, nitrificación, viabilidad económica, sistemas acuícolas integrados.

### Key factors and trends in aquaponic systems: literature review

#### ABSTRACT

Aquaponics, a production system that integrates aquaculture and hydroponics, stands out for its ability to produce food sustainably, promoting the recycling of nutrients, the efficient use of water and generating high quality and safe foods. For this reason, the objective of this review article was to compile the most relevant concepts and advances achieved in the application of this productive technique, through exploration and systematization of research published in indexed journal databases during the decade

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Departamento de Producción Animal. Carrera 45 #26-85, Bogotá D.C. Colombia.

\* Autor de correspondencia. Correo electrónico: [fisiopeces@unal.edu.co](mailto:fisiopeces@unal.edu.co)

between 2012 to 2022. Results obtained were organized into four large categories: 1. Aquaponics from a biological perspective; 2. viability and profitability of aquaponic systems; 3. engineering developments, new trends and technologies in aquaponics; and 4. environmental and social aspects of aquaponics. The information presented below will allow to know the potential feasibility and adaptability of aquaponic systems in the context of environmental, social, and economic changes. In this sense, bibliometrics, carried out in 55 selected publications, allows to identify the year 2020 as the highest scientific production in aquaponic systems with 23% of total production in the decade studied and that 63% of research was published in the last 5 years (2018 to 2022). Finally, by thematic area, it was found that 44% of the research carried out corresponds to the “engineering developments, new trends and technologies” category, followed by “biological perspective”, and “environmental and social aspects” (28% and 20%, respectively). The area with the lowest quantity of publications corresponded to “viability and profitability” (8% of the total references).

**Keywords:** aquaponics, nitrification process, economic viability, integrated aquaculture systems.

## INTRODUCCIÓN

La acuaponía es una tecnología de producción de alimentos que integra sistemas acuícolas en recirculación (RAS, por sus siglas en inglés) con sistemas agrícolas hidropónicos (generalmente en sustrato inerte) para obtener de manera simultánea biomasa animal y vegetal (Love *et al.* 2015; Rakocy 2012). Los efluentes cargados de desechos metabólicos generados por los peces se utilizan como fuente de nutrientes para las plantas, las cuales actúan como filtro biológico y contribuyen a mantener la calidad del agua en rangos óptimos de producción a manera de una relación simbiótica. Lo anterior posiciona al sistema acuapónico como una tecnología productiva altamente sostenible y con una oferta de productos de valor diferenciado en el mercado (Greenfeld *et al.* 2019; Love *et al.* 2015).

Los sistemas acuapónicos se han establecido a nivel mundial desde la escala lúdica (*hobby*) hasta el nivel comercial, mostrando ventajas relacionadas con: 1. la reducción en el uso de agua en los cultivos, 2. la

disminución en el uso de agroquímicos y 3. el ahorro en el uso de fertilizantes durante el proceso productivo, pues los nutrientes requeridos por la planta se obtienen de las excreciones de los peces, lo cual permite la producción de alimentos bien valorados en mercados de países desarrollados, por su menor nivel de compuestos químicos y tendencia productiva orgánica (Mercado *et al.* 2019).

La presente revisión documenta los avances encontrados en la literatura, en función de cuatro categorías que permiten comprender a la acuaponía de manera puntual por medio de la búsqueda generada, discursiva y la abstracción temática.

## METODOLOGÍA

La literatura revisada e incluida en este manuscrito se obtuvo tras la exploración de bases de datos de los siguientes recursos electrónicos: Academic Journals, Google Academic, Himdawi, Journals MDPI,

OpenEdition, Redalyc, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online y Wiley Online Library. Los criterios de elegibilidad de los artículos fueron: rango de publicación entre 2012 y 2022 y búsqueda por palabras clave como: “acuaponía”, “rentabilidad”, “desarrollo sostenible”, “innovación” y “seguridad alimentaria”.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información extraída de la revisión de literatura se presenta en cuatro categorías: 1. la acuaponía desde una perspectiva biológica, 2. viabilidad y rentabilidad del sistema acuapónico, 3. desarrollos ingenieriles, nuevas tendencias y tecnologías en acuaponía y 4. aspectos ambientales y sociales de la acuaponía, con porcentajes de publicación de 28%, 8%, 44% y 20%, respectivamente.

La información recogida para esta revisión fue publicada en su mayoría en 2020 (23%). Además, el mayor número de artículos explorados (59%) en esta revisión proviene de 33 revistas y libros, seguido por publicaciones de la revista *Aquaculture* (16%), y en menor proporción de la revista *Aquaculture Engineering* (13%). La base de datos de revistas científicas de mayor uso en esta revisión corresponde a Science Direct (60%).

### La acuaponía desde una perspectiva biológica

Desde el punto de vista biológico, se establecen tres enfoques: 1. microorganismos, 2. calidad de agua y relación nutrientes-planta y 3. animales.

### Microorganismos

Para el desarrollo efectivo de la acuaponía, es crucial el ecosistema bacteriano por su influencia en el ciclo del nitrógeno

(Kasozi *et al.* 2021). Los microorganismos permiten que la materia orgánica excretada por los peces sea utilizada por las plantas (Somerville *et al.* 2014). En general, estos se involucran en los procesos de nitrificación, la descomposición de la materia orgánica, la desnitrificación, la mineralización del fósforo y el ciclo del hierro (Kasozi *et al.* 2021). Por tanto, tienen un papel clave en la productividad general del sistema, el bienestar de los peces y la salud de las plantas (Joyce *et al.* 2019).

A través de la secuenciación del ADN, se han caracterizado las poblaciones bacterianas en sistemas acuapónicos, lo cual revela su complejidad y diversidad (Kasozi *et al.* 2021). Se ha encontrado que la composición y estructura de las comunidades microbianas varía en cada estación del sistema acuapónico (estanques para peces, biofiltro, sedimentador, componente hidropónico, entre otros, según Munguía *et al.* 2015). Varios autores concuerdan en que es clave el conocimiento de la diversidad microbiana y la distribución funcional de estos microorganismos en los sistemas acuapónicos para optimizar el rendimiento del sistema (Bartelme *et al.*, Munguía-Fragozo *et al.* y Schmautz *et al.* en Kasozi *et al.* 2021).

Kasozi *et al.* (2021) reportaron que cada especie acuícola introduce una flora microbiana única en el sistema. La microbiota nitrificante se encarga de transformar amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) excretado por los peces o derivado de material orgánico en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

Las bacterias nitrificantes forman una relación estrecha y permanente con otras bacterias heterótrofas, protozoos y micrometazoos, los cuales degradan los compuestos biológicos en la sección de biofiltración del sistema (Rurangwa y

Verdegem 2015). Las bacterias heterótrofas se concentran en áreas donde se acumulan los residuos sólidos, mineralizándolos y proporcionando micronutrientes solubles para las plantas en los sistemas acuapónicos.

La sanidad radicular es esencial para la supervivencia de las plantas, para ello la composición y proporción adecuada de poblaciones microbianas próximas a la superficie de la raíz es determinante (Chagas *et al.* en Kasozi *et al.* 2021). En estudios previos, se encontró que la diversidad y la composición de las poblaciones microbianas está determinada por la especie de pez, se identificaron cepas microbianas involucradas en la promoción del crecimiento de las plantas, la inhibición de fitopatógenos y la disponibilidad de nutrientes a través de la biodegradación. Cepas aisladas de *Pseudomonas fluorescens* y *P. veronii* mostraron dicha capacidad en sistemas acuapónicos (Khalil *et al.* 2021).

### **Calidad de agua y relación nutrientes-planta**

El establecimiento de un ecosistema microbiano funcional se mide indirectamente a través del monitoreo del pH y de los niveles de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ : mantener estos parámetros en el rango óptimo favorece la presencia de microorganismos benéficos en sistemas acuapónicos y reduce la de patógenos. Por otra parte, la calidad del agua en sistemas acuapónicos se ve influenciada por las raciones ofrecidas a los animales y por la adición de nutrientes para las plantas (Maucieri *et al.* 2019).

Cuando se habla de un sistema en equilibrio, se refiere a que las plantas y los organismos acuáticos muestran crecimiento y desarrollo óptimos al establecer una relación mutualista; no obstante, en la mayoría de los casos, este equilibrio no se logra si el único aporte de nutrientes

proviene de las excreciones generadas por los peces, por lo que existen otros componentes que contribuyen a armonizar el sistema.

Lennard (2020) encontró que para el control del pH en sistemas acuapónicos conviene utilizar iones positivos como potasio y calcio, debido a que estos mejoran el crecimiento y el rendimiento de las plantas y favorecen la reducción de nitratos, la conductividad y la optimización en el uso del agua. En ese sentido, Da Silva y Fitzsimmons (2016b) proponen el uso de ácido fúlvico para prevenir la precipitación del hierro y mejorar su biodisponibilidad en las aguas residuales de la acuicultura. El ácido fúlvico aumenta la solubilidad del hierro en soluciones acuapónicas y puede proporcionar un gradiente de difusión para transportar el elemento a las raíces de las plantas.

El uso de aguas fitorremediadas para el desarrollo de sistemas acuapónicos implica tener en consideración aspectos como alta concentración de nutrientes, materia orgánica y compuestos inorgánicos disueltos en el agua como  $\text{NH}_3$  y fósforo. Nuwansi *et al.* (2019) encontraron que aguas residuales pueden mezclarse con agua dulce en una proporción de 1:1 y emplearse de manera eficaz para la acuaponía, esto debido a que posiblemente suministraron nutrientes y bacterias nitrificantes al sistema acuapónico, mejorando la productividad a densidades y proporciones óptimas de peces y plantas (Nuwansi *et al.* 2021).

### **Animales**

Para la formulación de soluciones nutritivas, se deben utilizar preferentemente fertilizantes simples y sustancias moduladoras del pH, teniendo en cuenta los valores óptimos de desarrollo de especies animales y vegetales (Maucieri *et al.* 2019). Luo *et al.* (2020) encontraron que la suplementación

de selenio en sistemas acuapónicos al cultivar Carpa Koi (*Cyprinus carpio* var. koi) y lechuga (*Lactuca sativa*) podría mejorar el crecimiento y el estado de salud de los peces, al aumentar su potencial ornamental sin disminuir el rendimiento de la lechuga.

En relación con otros parámetros como la salinidad en sistemas acuapónicos, Mariscal *et al.* (2012) usaron aguas subterráneas con bajo contenido de magnesio y cloruro, pero con alto nivel de calcio en un sistema de producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*), donde, tras la adición de  $Mg(NO_3)_2$ , los niveles de magnesio se recuperaron y las proporciones se acercaron a las del agua de mar requerida por el crustáceo.

Por otro lado, el efecto de las condiciones climáticas sobre la productividad de los sistemas acuapónicos también ha sido estudiado. Zou *et al.* (2016) observaron mejor productividad animal y vegetal en verano, posiblemente porque mayores temperaturas generan aumento de la actividad microbiana y del metabolismo de los peces.

### **Viabilidad y rentabilidad del sistema acuapónico**

El modelo de producción acuapónica está orientado a la alta productividad en el marco del tratamiento de desechos, el uso eficiente del recurso hídrico, la eficiencia productiva y la oferta de alimentos producidos sin agroquímicos (Calderón *et al.* 2019). Se trata de un sistema que permite manejar diferentes combinaciones de plantas y animales, sigue los principios de la economía circular, permite el aprovechamiento de tierras no agrícolas, reduce el volumen de insumos requeridos y, por tanto, la tasa de desperdicio (Asciutto *et al.* 2019).

A pesar de que los sistemas acuapónicos requieren altos costos de establecimiento

por la construcción de invernaderos y sistemas hidráulicos para integrar los dos sistemas, se ha reportado que pueden llegar a tener menores costos de operación que los sistemas tradicionales, lo cual genera retornos combinados derivados de la venta de pescado y verduras (Asciutto *et al.* 2019). El componente vegetal del sistema produce los mayores volúmenes de biomasa, razón por la cual es importante contar con un mercado objetivo cercano, que posea alta demanda y niveles de valoración favorables para contribuir a la sostenibilidad económica (Asciutto *et al.* 2019; Bosma *et al.* 2017).

Love *et al.* (en Bosma *et al.* 2017) encontraron que el volumen y la regularidad productiva, así como el nivel de cualificación del personal, son factores determinantes para lograr la sostenibilidad económica. Las especies vegetales muestran ciclos productivos más cortos que el componente animal, lo que permite obtener más cosechas/año y se han encontrado índices de conversión alimenticia más eficientes que en peces (se cosechan hasta 9 kg de lechuga empleando efluentes acuícolas a partir del suministro de 1 kg de alimento). A nivel de comercialización, se emplean canales directos que incluyen mercados de agricultores, puestos agrícolas, agricultura apoyada por la comunidad (AAC) y canales indirectos compuestos por tiendas de comestibles, restaurantes, instituciones y mayoristas.

Por lo anterior, es conveniente realizar estudios de mercado para conocer la demanda potencial y así determinar la capacidad requerida del sistema acuapónico (Calderón *et al.* 2019). Se debe realizar un análisis financiero cuidadoso y definir un plan de negocios para determinar su rentabilidad potencial (Asciutto *et al.* 2017). La exitosa formulación y evaluación de proyectos de inversión en acuapónicos exige detallar la

tecnología necesaria para la construcción del sistema, determinar los costos totales y de infraestructura para estimar la inversión inicial, así como definir detalladamente los costos de producción, administración, venta y capital de trabajo requeridos (Calderón *et al.* 2019).

Según Bosma *et al.* (2017), los costos fijos incluyen el precio de la tierra, infraestructura, construcción e instalación, mientras que el costo variable más importante es la mano de obra (50% de los costos de producción) (Asciuto *et al.* 2019). Entre los costos totales de funcionamiento anual se debe incluir depreciación, mantenimiento, intereses, mano de obra, energía, agua, alimento para peces, trasplantes de plántulas y alevinos (Asciuto *et al.* 2019).

La viabilidad económica del sistema acuapónico depende de la elección de las especies y su nivel de valoración en el mercado (Bosma *et al.* 2017), de su ubicación geográfica (Love *et al.* 2015), del tamaño de la especie acuática y su rotación (Bosma *et al.* 2017). Los hallazgos sugieren comercializar en canales que permitan llegar directamente a los consumidores o clientes específicos por un precio más cercano al minorista, generando mayores ingresos. Asciuto *et al.* (2019) indican que la rentabilidad es mayor cuando se diversifican los ingresos vendiendo productos no alimenticios y servicios de capacitación o asesoría, además señalan que los sistemas acuapónicos comerciales a gran escala son más rentables que los sistemas más pequeños.

### **Desarrollos ingenieriles, nuevas tendencias y tecnologías en acuaponía**

A nivel de ingeniería de los sistemas acuapónicos, se han realizado avances a través del desarrollo de prototipos modernos

(Castillo *et al.* 2016; Khandaker y Kotzen 2018; Rodríguez 2016), evaluación de insumos y materiales alternativos (Bich *et al.* 2020; Khandaker y Kotzen 2018), relación de biomasa vegetal/animal (Castillo *et al.* 2016; Paudel 2020), optimización de filtración (Adams *et al.* 2019; Diem *et al.* 2017; Rodríguez 2016; Shete *et al.* 2016), tasas de recirculación y retención hídrica (Dediu *et al.* 2012; Rodríguez 2016; Shete *et al.* 2016) y sistemas de información y modelación (Goddek y Keesman 2020; Goddek y Körner 2019; Lee y Wang 2020; Rodríguez 2016). Con ello se busca optimizar la calidad multidimensional del sistema acuapónico, obtener mayor control sobre los diversos procesos, además de predecir con mayor precisión los resultados productivos.

Teniendo en cuenta el mayor requerimiento de espacio del componente vegetal en los sistemas acuapónicos, los prototipos de diseño acuapónico desarrollados por Castillo *et al.* (2016), Rodríguez (2016) y Khandaker y Kotzen (2018) tienen como ventaja común un menor requerimiento de área y un mejor aprovechamiento del espacio al hacer uso del plano vertical. Rodríguez (2016) y Shete *et al.* (2016) indican que el caudal y tiempo de retención hidráulica afectan la eficiencia en la filtración, mientras que Diem *et al.* (2017) y Adams *et al.* (2019) demuestran la importancia de los sustratos para promover el adecuado crecimiento bacteriano en el sistema acuapónico.

El desarrollo de la ingeniería en la acuaponía ha contribuido notablemente a la optimización del sistema. Los estudios señalan que el área provee las herramientas necesarias para modificar condiciones en el sistema de acuerdo con las necesidades establecidas por el contexto y también aporta información valiosa sobre el funcionamiento

y estado del sistema, lo que resulta de gran utilidad a la hora de planificar proyectos acuapónicos y prever la aparición de inconsistencias que pongan en riesgo el equilibrio del sistema.

Los sistemas acuapónicos se caracterizan por su alto grado de estabilidad ambiental (Da Silva y Fitzsimmons 2016; Tanikawa *et al.* 2018), por ser sistemas fácilmente adaptables en función de las condiciones económicas y geoclimáticas de la zona donde se deseen implementar (Mohapatra *et al.* 2020). De esta manera, se han propuesto nuevas especies de peces (Oladimeji *et al.* 2020), vegetales (Brum y Bonifácio 2021; Oladimeji *et al.* 2020) y diseños del sistema (Mohapatra *et al.* 2020; Silva *et al.* 2018; Wu *et al.* 2018).

En algunos estudios, se han empleado fitasas en las raciones para peces y la inoculación de *Bacillus* spp. en el agua de cultivo, lo que demuestra los beneficios de estas medidas sobre la calidad del agua y sobre el bienestar animal (Silva y Fitzsimmons 2016). Por su parte, Doncato y Bonifácio (2021) mencionan que la aplicación de microelementos vía foliar o en el agua de cultivo pueden ser alternativas rentables de nutrición vegetal en sistemas acuapónicos salobres.

Addy *et al.* (2017) plantearon un sistema acuapónico productor de microalgas *Spirulina* spp. y *Chlorella* spp., lo cual muestra que la producción de microalgas puede realizarse sin afectar a los peces ni representar competencia para las plantas.

Adicionalmente, otros estudios se centran en el uso de nuevos materiales ligeros para fomentar la acuaponía en el campo del concepto de agricultura urbana (Mohapatra *et al.* 2020), el uso de sustratos económicos y más comunes para sustentar el componente vegetal (Oladimeji *et al.* 2020) y la promoción

del cultivo de especies vegetales con raíces aéreas para reducir costos de aireación (Silva *et al.* 2018).

Los sistemas acuapónicos son adaptables a las condiciones y necesidades de cada región, muestran potencial para ser establecidos en prácticamente cualquier zona, siempre y cuando se cuente con los conocimientos y garanticen las condiciones previas para su implementación. Aspectos como las plantas, los peces, la infraestructura e incluso el tipo de agua pueden llegar a ser modificados y adaptados según el objetivo de cada productor. Hoy en día, la tendencia se enfoca en el manejo de sistemas desacoplados, los cuales permiten manejar la calidad del agua más fácilmente, reaprovechar los minerales disueltos en los efluentes y realizar cualquier correctivo antes de suministrar el agua de los peces al componente hidropónico (Rodgers *et al.* 2022), los cuales constituyen una de las mejores alternativas de producción sostenible de alimentos (Körner *et al.* 2021).

### Aspectos ambientales y sociales de la acuaponía

Recientemente, la acuaponía ha sido catalogada como una actividad productiva que contribuye a la sostenibilidad (Atlason *et al.* 2017). Muestra de ello es la compatibilidad de este esquema productivo con los estudios a través de enfoque holístico, como el basado en el análisis del ciclo de vida (ACV) (Forchino *et al.* 2017), la cuantificación de los impactos ambientales directos e indirectos, la visión integral macroeconómica, el uso de herramientas de evaluación de la sostenibilidad ambiental, los flujos de materiales y de energía vinculados a las prácticas de gestión del sistema y su consumo de energía (Maucieri *et al.* 2018).

Debido a que la adopción de tecnologías para sistemas acuapónicos se hace posible

por la viabilidad económica del proyecto (Abusin *et al.* 2020), por lo general las nociones de sostenibilidad en acuapónicos suelen verse orientadas principalmente al componente económico (Forchino *et al.* 2017). Sin embargo, König *et al.* (2018) señalan que un enfoque estratégico para cambiar las tecnologías de producción de alimentos está en inducir cambios en el comportamiento del consumidor para que los actores sociales, a través de actividades de consumo, producción y apropiación, se inclinen cada vez más hacia modelos de producción más limpios. En Europa, por ejemplo, existen instalaciones acuapónicas sin ánimo de lucro, de formación de proyectos bajo la economía social y solidaria, con el objetivo de influir en los consumidores e infundir en la conciencia sobre prácticas sostenibles y los lazos sociales dentro del contexto de acuicultura urbana (Beckers 2019).

Joesting *et al.* (2016) señala que los sistemas acuapónicos poseen potencial de desarrollo para promover la conservación de la biodiversidad contribuyendo a aliviar la presión sobre ecosistemas circundantes (Atlason *et al.* 2017). Estos sistemas de producción se han empleado como estrategia para restauración costera en hábitats de marismas, la prestación de servicios ecosistémicos y el cultivo de especies de plantas nativas. Para mitigar el impacto ambiental generado por la acuaponía, se han propuesto sistemas de tratamiento de sólidos a través de biodigestores (Aparecido *et al.* 2020; Oporum *et al.* 2017).

Para promover la seguridad alimentaria, la producción acuapónica a baja escala cumple una tarea primordial, debido a que facilita el abordaje de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 establecidos por la ONU, como el hambre cero y el acceso de todas las personas a

los alimentos (Forchino *et al.* 2017). Los sistemas acuapónicos de baja tecnología basados en diseños simples, fácil manejo y bajos costos de capital son adecuados para su implementación en diferentes regiones geográficas y áreas de producción (Birolo *et al.* 2020; Joesting *et al.* 2017). Varias de las prioridades y necesidades actuales convergen hacia el uso de recursos tecnológicos, debido a que este factor hace posible aumentar la productividad de las granjas acuícolas acuapónicas (Tumová *et al.* 2020), las cuales, en procesos de transferencia, permiten una creciente velocidad de avance e innovación en la operatividad. Sin embargo, aún persisten preocupaciones adicionales sobre aceptación de la producción acuapónica por parte de los consumidores, debido a que pueden presentarse riesgos como la contaminación cruzada (Nuwansi *et al.* 2020).

Berger (2020) muestra el impacto de prácticas productivas sostenibles como la acuaponía, en la cual se propone un modelo de granja urbana, libre de fertilizantes artificiales, antibióticos y pesticidas y generación de excedentes destinados para promover otras actividades no agrícolas. Dicho modelo detalla sinergias sociales y la diversificación de los modelos agrícolas centrados en la promoción y el *marketing* desde el enfoque empresarial. También desarrolla conceptos de huerta como servicio al consumidor, creación de empleo directo e indirecto y el uso de circuitos cortos de distribución.

## CONCLUSIONES

Para su óptimo funcionamiento, los sistemas acuapónicos tienen como base fundamental el equilibrio biológico entre peces, plantas y microorganismos, siendo estos últimos esenciales para garantizar



los parámetros de calidad en el agua, la supervivencia y el desarrollo adecuado de animales y plantas. En ese sentido, aún están pendientes por resolver problemas existentes en el sistema acuapónico en relación con la nutrición vegetal y el control de fitoplagas y enfermedades, con el fin de obtener soluciones viables para el sistema acuapónico.

Desde la perspectiva económica, la acuaponía es altamente sostenible al seguir los principios de la economía circular, lo que permite el aprovechamiento de tierras no aptas para agricultura y reduce el volumen de insumos y desechos (Asciuto *et al.* 2019). Se trata de un sistema de producción que requiere una fuerte inversión inicial por la tecnología que puede llegar a requerir para su funcionamiento a nivel comercial; no obstante, con el paso del tiempo se puede percibir mayor beneficio al tener posibilidad de retornos combinados derivados de la venta de pescado y vegetales. Además, los productos acuapónicos están categorizados como limpios y *no commodity*, lo que permite que puedan ser comercializados en mercados locales y bajo niveles de valoración favorables para contribuir a la sostenibilidad económica.

El desarrollo de ingeniería en los sistemas acuapónicos contribuye de forma directa a la optimización y eficacia del sistema; los análisis son multidimensionales, esto permite obtener un mayor control y conocimiento de cada proceso de acuerdo con el contexto, lo que se traduce en una oferta cada vez más variada en materiales estructurales y sustratos, así como diversificación de especies animales y vegetales integradas, calidad de agua, control de flujos y temperaturas por bloque productivo, entre otros. El personal profesional en zootecnia, entre otros, debe tener la capacidad de planificar, prever y controlar

la aparición de inconsistencias que afecten el equilibrio del sistema.

Los desafíos ambientales a los que se enfrentan los sistemas de producción de alimento hoy en día exigen el uso de modelos de producción más limpios y sostenibles. En este sentido, la acuaponía sigue un enfoque estratégico, pues modifica las tecnologías tradicionales de producción de alimentos y se adapta más fácilmente a la demanda de producción limpia, a la vez que puede llegar a promover la seguridad alimentaria mediante modelos no comerciales de granjas urbanas. Además, la investigación en sistemas acuapónicos se puede enfocar de manera estratégica para la restauración ambiental y la prestación de servicios ecosistémicos, con el fin de reducir muchos de los riesgos asociados con la acuicultura tradicional.

### **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses. El presente estudio se desarrolló mediante la revisión de bases de datos SINAB con el uso de credenciales institucionales, por tal motivo, la propuesta no fue sometida a estudio del Comité de Ética Institucional.

### **FUENTES DE FINANCIACIÓN**

Las fuentes de financiación corresponden a recursos propios y recursos informáticos suministrados por la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

### **AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS**

Los autores agradecen a los integrantes de la línea de profundización en acuicultura del programa de Zootecnia en la Universidad

Nacional de Colombia Sede Bogotá por la construcción conjunta de documentos en el marco de procesos académicos y formativos.

## DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran no haber hecho uso de inteligencia artificial en la construcción y redacción de este manuscrito.

## REFERENCIAS

- Abusin SAA, Mandikiana BW. 2020. Towards sustainable food production systems in Qatar: Assessment of the viability of aquaponics. *Global Food Security*. 25:100349. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100349>
- Adams B, Boyer T, Albrecht M, Ranglack DH, Bickford N. 2019. Micro-system aquaponics: testing designs for increased productivity. *Journal of Applied Aquaculture*. 32:95-106. <https://doi.org/10.1080/10454438.2019.1639582>
- Addy MM, Kabir F, Zhang R, Lu Q, Deng X, Current D, Griffith R, Ma Y, Zhou W, Chen P, Ruan R. 2017. Co-cultivation of microalgae in aquaponic systems. *Bioresource Technology*. 245:27-34. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.151>
- Aparecido R, Cambuy V, Correia F, Couto R, Darci W, Dos Santos AC, Pelisson V, Siqueira EA. 2020. Potencial de produção de biogás de resíduos provenientes da criação de tilápia em sistema aquapônico. *Research, Society and Development*. 9(9):e155997131. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7131>
- Asciuto A, Schimmenti E, Cottone C, Borsellino V. 2019. A financial feasibility study of an aquaponic system in a Mediterranean urban context. *Urban Forestry and Urban Greening*. 38:397-402. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.02.001>
- Atlason RS, Danner RI, Unnthorsson R, Oddsson GV, Sustaeta F, Thorarinsdottir R. 2017. Energy Return on Investment for Aquaponics: Case Studies from Iceland and Spain. *BioPhysical Economics and Resource Quality*. 2(3). <https://doi.org/10.1007/s41247-017-0020-5>
- Beckers S. 2019. Aquaponics: a positive impact circular economy approach to feeding cities. *Field Actions Science Reports*. 20:78-84. Disponible en: <https://journals.openedition.org/factsreports/5757>
- Berger C. 2020. La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*. 1(1). <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-003>
- Bich TTN, Tri DQ, Yi-Ching C, Khoa HD. 2020. Productivity and economic viability of snakehead *Channa striata* culture using an aquaponics approach. *Aquacultural Engineering*. 89:102057. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102057>
- Birolo M, Bordignon F, Trocino A, Fasolato L, Pascual A, Godoy S, Nicoletto C, Maucieri C, Xiccato G. 2020. Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture*. 529:735653. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735653>
- Bosma RH, Lacambra L, Landstra Y, Perini C, Poulie J, Schwaner MJ, Yin Y. 2017. The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*. 78:146-154. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.002>
- Brum K, Bonifácio C. 2021. Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture*. 531:735815. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735815>
- Calderón DM, Olivás JM, Luján C, Ríos SH, Hernández J. 2019. Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia*. 27(77):5-11. <https://doi.org/10.33064/iycaaa2019772086>
- Castillo D, Zavala I, Ruiz JMJ, Radilla A, Nieto JT, Romero CA, González J. 2016. Implementation of an experimental nutrient film technique-type aquaponic system. *Aquaculture International*. 24:637-646. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9954-z>
- Da Silva B, Fitzsimmons K. 2016a. Use of *Bacillus* spp. to enhance phosphorus availability and serve as a plant growth promoter in aquaponics

- systems. *Scientia Horticulturae*. 211:277-282. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.005>
- Da Silva B, Fitzsimmons K. 2016b. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresource Technology*. 219:778-781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>
- Dediu L, Cristeal V, Xiaoshuan Z. 2012. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with baster and lettuce. *African Journal of Biotechnology*. 11(9):2349-2358. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2829>
- Diem NT, Konnerup D, Brix H. 2017. Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*. 78(B):95-104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>
- Doncato KB, Bonifácio CS. 2021. Micronutrient supplementation needs for halophytes in saline aquaponics with BFT system water. *Aquaculture*. 531:735815. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735815>
- Forchino A, Lourguioui H, Brigolin D, Pastres R. 2017. Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*. 77:80-88. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.03.002>
- Goddek S, Keesman K.J. 2020. Improving nutrient and water use efficiencies in multi-loop aquaponics systems. *Aquaculture International*. 28:2481-2490. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00600-6>
- Goddek S, Körnerb O. 2019. A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: A case study for system sizing in different environments. *Agricultural Systems*. 171:143-154. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.01.010>
- Greenfeld A, Becker N, Bornman JF, Angel DL. 2019. Identifying knowledge levels of aquaponics adopters. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:4536-4540. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06758-8>
- Joesting HM, Blaylock R, Biber P, Ray A. 2016. The use of marine aquaculture solid waste for nursery production of the salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*. *Aquaculture Reports*. 3:108-114. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.01.004>
- Joyce A, Timmons M, Goddek S, Pentz T. 2019. Bacterial Relationships in Aquaponics: New Research Directions. In: *Aquaponics Food Production Systems Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. pp. 145-161. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_6)
- Kasozi N, Abraham B, Kaiser H, Wilhelmi B. 2021. The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*. 71:1. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01613-5>
- Khalil S, Panda P, Ghadamgahi F, Rosberg A, Vetukuri R. 2021. Comparison of two commercial recirculated aquacultural systems and their microbial potential in plant disease suppression. *BMC Microbiology*. 21:205. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02273-4>
- König B, Janker J, Reinhardt T, Villarroel M, Junge R. 2018. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of cleaner production*. 180:232-243. <https://doi.org/10.3390/su13084563>
- Körner O, Bisbis M, Baganz G, Baganz D, Staaks G, Monsees H, Goddek S, Keesman, K. 2021. Environmental impact assessment of local decoupled multi-loop aquaponics in an urban context. *Journal of cleaner production*. 313:127735. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127735>
- Lee C, Wang YJ. 2020. Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics. *Aquacultural Engineering*. 90:102067. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102067>
- Lennard WA. 2020. A comparison of buffering species and regimes applied within a research-scale, recirculating aquaponics system. *Aquaculture and Fisheries*. 6(5):495-505. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.001>
- Love DC, Fry, JP, Li X, Hill ES, Genello L, Semmens K, Thompson RE. 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>

- Luo XL, Rauan A, Xing JX, Sun J, Wu WY, Ji H. 2020. Influence of dietary Se supplementation on aquaponic system: Focusing on the growth performance, ornamental features and health status of Koi carp (*Cyprinus carpio var. koi*), production of Lettuce (*Lactuca sativa*) and water quality. *Aquaculture Research*. 52(2):505-517. <https://doi.org/10.1111/are.14909>
- Mariscal MM, Páez F, Esquer JL, Guerrero I, del Vivar AR, Félix, R. 2012. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*) with low salinity groundwater: Management and production. *Aquaculture*. 366-367: 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>
- Maucieri C, Forchino AA, Nicoletto C, Junge R, Pastres R, Sambo P, Borin M. 2019. Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *Journal of Cleaner Production*. 172:3119-312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.097>
- Mercado I, Ramírez D, Cruz R, Díaz M, Jimenez J, García J, Miranda G, Beristain R, Rayas A. 2019. Aquaponic system with subsurface wetland for carp production (*Cyprinus carpio L.*), strawberry (*Fragaria x ananassa* (Duchesne ex Weston) and canola (*Brassica napus L.*). *Agroproductividad*. 12(11):93-98. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1520>
- Mohapatra BC, Chandan NK, Panda SK, Majhi D, Pillai BR. 2020. Design and development of a portable and streamlined nutrient film technique (NFT) aquaponic system. *Aquacultural Engineering*. 90:102100. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102100>
- Munguía P, Alatorre O, Rico E, Torres I, Cruz A, Ocampo RV, García JF, Guevara RG. 2015. Perspective for aquaponics systems: “omic” technologies for microbial community analysis. *Biomed Res Int*. ID 480386. <https://doi.org/10.1155/2015/480386>
- Nuwansi KKT, Verma AK, Chandrakant MH, Prabhath GPWA, Peter RM. 2021. Optimization of stocking density of koi carp (*Cyprinus carpio var. koi*) with gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponic system using phyto remediated aquaculture wastewater. *Aquaculture*, 532:735993. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735993>
- Nuwansi KKT, Verma AK, Rathore G, Prakash C, Chandrakant MH, Prabhath GP. 2019. Utilization of phyto remediated aquaculture wastewater for production of koi carp (*Cyprinus carpio var. koi*) and gotukola (*Centella asiatica*) in an aquaponics. *Aquaculture*. 507:361-369. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.053>
- Oladimeji AS, Olufegba SO, Ayuba VO, Sololmon SG, Okomoda VT. 2020. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University-Science*. 32(1):60-66. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.02.001>
- Opurum C, Nweke C, Nwyanwu C, Orji J. 2017. Biogas production from fish pond effluent supplemented with cow blood meal in a batch anaerobic digester system. *FUTO-JNLS*. 3(1):166-175. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32425.90722>
- Paudel SR. 2020. Nitrogen transformation in engineered aquaponics with water celery (*Oenanthe javanica*) and koi carp (*Cyprinus carpio*): Effects of plant to fish biomass ratio. *Aquaculture*. 520:734971. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734971>
- Rakocy JE. 2012. Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. *Aquaculture Production Systems*. pp. 344-386. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch14>
- Rodgers D, Won E, Timmons M, Mattson N. 2022. Complementary Nutrients in Decoupled Aquaponics Enhance Basil Performance. *Horticulturae*. 8(2):111-120. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020111>
- Rodríguez LA. 2016. Evaluación de los efectos de la variación de caudal sobre los niveles de amonio, nitrato y pH de un prototipo de cultivo acuapónico. *Ingenio Magno*. 7(2):126-138. Disponible en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1199>
- Rurangwa E, Verdegem M. C. 2015. Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management. *Reviews in aquaculture*. 7(2):117-130. <https://doi.org/10.1111/raq.12057>
- Schmautz Z, Graber A, Jaenicke S, Goesmann A, Junge R, Smits THM. 2017. Microbial diversity in different compartments of an

- aquaponics system. *Archives of Microbiology*, 199(4):613-620. <https://doi.org/10.1007/s00203-016-1334-1>
- Shete AP, Verma AK, Chadha NK, Prakash C, Peter RM, Ahmad I, Nuwansi KKT. 2016. Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with Common carp (*Cyprinus carpio*) and Mint (*Mentha arvensis*). *Aquacultural Engineering*. 72-73:53-57. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.004>
- Silva L, Valdés D, Escalante E, Gasca E. 2018. Dynamic root floating technique: An option to reduce electric power consumption in aquaponic systems. *Journal of Cleaner Production*. 183:132-142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.086>
- Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A. 2014. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. En: *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*, p. 262. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>
- Tanikawa D, Nakamura Y, Tokuzawa H, Hirakata Y, Hatamoto M, Yamaguchi T. 2018. Effluent treatment in an aquaponics-based closed aquaculture system with single-stage nitrification-denitrification using a down-flow hanging sponge reactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 132:268-273. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.04.016>
- Tůmová V, Klímová A, Kalous L. 2020. Status quo of commercial aquaponics in Czechia: A misleading public image? *Aquaculture Reports*. 18:100508. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100508>
- Wu H, Zou Y, Lv J, Hu Z. 2018. Impacts of aeration management and polylactic acid addition on dissolved organic matter characteristics in intensified aquaponic systems. *Chemosphere*. 205:579-586. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.089>
- Zou Y, Hu Z, Zhang J, Guimbaud C, Wang Q, Fang Y. 2016. Effect of seasonal variation on nitrogen transformations in aquaponics of northern China. *Ecological Engineering*. 94:30-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.063>

### Forma de citación del artículo:

Cifuentes, A. A., Leguizamón A. K., Zambrano, J. A. y Landines, M. A. (2023). Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: Revisión de literatura. *Rev Med Vet Zoot.*70(3): e107673. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v70n3.107673>