



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**ACUAPONÍA COMO ESTRATEGIA AGROPECUARIA
SOSTENIBLE PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA Y EL
RECICLAJE DE NUTRIENTES**

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Francisco Pazmiño Izquierdo

LA LIBERTAD, Agosto 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO

MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

**ACUAPONÍA COMO ESTRATEGIA AGROPECUARIA
SOSTENIBLE PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA Y EL
RECICLAJE DE NUTRIENTES**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Francisco Pazmiño Izquierdo

Tutora: Blga. Mar. Valeria Crespo Ochoa. MSc.

LA LIBERTAD, Agosto 2026

TRIBUNAL DE GRADO

Componente práctico de examen complejo presentado por **Juan Francisco Pazmiño Izquierdo** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Titulación **APROBADO** el: 12/08/2026



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Yucailla Andrade Verónica Cristina PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Rosaura Quevedo Pinos PhD.
**PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**Kenny Valeria
Crespo Ochoa**
Time Stamping
Security Data

Blga. Mar. Kenny Valeria Crespo Ochoa
MSc.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Rosaura Quevedo Pinos PhD.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Washington Perero Vera
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“ACUAPONÍA COMO ESTRATEGIA AGROPECUARIA SOSTENIBLE PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA Y EL RECICLAJE DE NUTRIENTES”** y elaborado por **Juan Francisco Pazmiño Izquierdo**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firma del estudiante

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios quien ha sido mi guía, mi fortaleza y mi ancla en toda mi vida universitaria, quien me ha cuidado en todo momento, y que sin su ayuda no habría tenido las fuerzas necesarias para culminar mis estudios.

A mis padres Juan Pazmiño y Paola Izquierdo que siempre estuvieron apoyándome en todo momento y nunca bajaron los brazos por mí, con su amor incondicional, motivación y aliento constante me impulsaron siempre a seguir adelante a pesar de las adversidades y desafíos, siempre me enseñaron a ser paciente y jamás rendirme.

Mis abuelos quienes siempre velaron por mí y jamás dejaron de tenerme presente en sus oraciones y en el día a día, nunca dejaron de creer en mí y siempre me apoyaron hasta el final.

A mi familia, tíos, hermanos y amistades que me apoyaron en momentos cuando los necesite para darme una mano o simplemente un buen consejo que sirvió como fortaleza mental y aclarar mi mente.

Por último, a mi hermana melliza Paola Mishelle Pazmiño Izquierdo quien fue mi motor, motivación y mi lugar seguro al cual siempre acudía cuando parecía que los problemas estaban difíciles, siempre estuvo para mí con su inmenso amor y con los brazos abiertos para brindarme consuelo y apoyo que servían para reiniciar mi sistema y encontrar una paz significativamente grande en medio de todo.

Juan Pazmiño Izquierdo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a todas las personas que han sido parte fundamental de mi formación personal y académica, que hicieron posible la culminación de este trabajo.

Agradezco a mi tutora, Valeria Crespo Ochoa, por su guía, su paciencia y las enseñanzas que tomaron un papel fundamental en la elaboración de este trabajo, su apoyo constante y orientación profesional me ayudaron a avanzar con seguridad y compromiso.

Expreso también mi sincero agradecimiento a Richard Montenegro y Michael Rodríguez, quienes, con su amistad y apoyo, estuvieron presentes durante distintas etapas de este proceso, brindándome ánimo para continuar cuando los desafíos parecían difíciles.

De manera especial, agradezco al Ing. Sebastián Gonzales, por su amistad, compañerismo y apoyo incondicional durante mi etapa universitaria. Compartir todo este camino permitió que los retos académicos fueran más llevaderos y que los momentos de esfuerzo estuvieran acompañados de aprendizajes, alegría y crecimiento mutuo. De verdad gracias por estar presente en cada etapa desde inicio a fin, por tu confianza, por las conversaciones, por el ánimo que me brindaste en los momentos difíciles y por hacer que esta experiencia universitaria se convierta en un recuerdo valioso que llevaré siempre conmigo.

Un profundo agradecimiento a Dios por darme perseverancia, fuerza y sabiduría para poder llegar a estas instancias de mi vida universitaria ha sido un pilar fundamental para alcanzar este logro.

Finalmente, mi eterno agradecimiento a mis padres y hermanos, por su amor comprensión y apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica, sinceramente son mi todo.

A mi madre, gracias por tu cariño, comprensión y apoyo permanente, por estar presente en cada momento importante y por motivarme a seguir adelante con fe y perseverancia.

De manera especial, agradezco a mi padre, quien con esfuerzo, dedicación y sacrificio estuvo presente en cada etapa de este camino. Gracias por madrugar conmigo, por acompañarme, por preocuparte siempre por mi bienestar, por brindarme tu apoyo cuando más lo necesité y por trabajar incansablemente para que pudiera continuar con mis estudios. Cada gesto, consejo y esfuerzo realizado significó mucho más de lo que las palabras pueden expresar y es por eso que este logro también te pertenece, porque gran parte de lo que hoy soy ha sido posible gracias a tu ejemplo, constancia y amor incondicional.

Juan Pazmiño Izquierdo

RESUMEN

La acuaponía es un sistema de producción que integra la acuicultura y la hidroponía en un sistema de recirculación de agua de circuito cerrado, donde los desechos metabólicos de los peces se transforman, mediante bacterias nitrificantes, en nutrientes utilizables por plantas. Esta investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica narrativa e integradora, cuyo objetivo general fue analizar la contribución de la acuaponía, como sistema agrícola circular, a la sostenibilidad productiva, considerando la eficiencia hídrica, el reciclaje de nutrientes y la viabilidad en diferentes contextos de producción agrícola.

La búsqueda de información se realizó entre marzo y junio de 2026 en bases de datos como Google Scholar, SciELO, ScienceDirect y Redalyc, de las cuales se seleccionaron 24 estudios científicos principales y 5 fuentes de apoyo técnico tras aplicar criterios de inclusión y exclusión. La revisión permitió describir fundamentos técnicos y biológicos de los sistemas acuapónicos, examinar su eficiencia en el uso del agua y la utilización de nutrientes, e identificar sus principales ventajas y limitaciones, incluyendo un breve análisis de su potencial aplicación en zonas con escasez de agua, como Santa Elena.

Los resultados demuestran que la acuaponía puede alcanzar un ahorro de agua de hasta el 90 % en comparación con los sistemas agrícolas convencionales, debido a la recirculación continua del agua. Asimismo, el reciclaje de nutrientes disminuye la necesidad de incorporar fertilizantes externos, al aprovechar los nutrientes generados dentro del sistema. Sin embargo, su implementación presenta desafíos relacionados con la inversión inicial, el consumo de energía y la necesidad de conocimientos técnicos especializados. Se concluye que la acuaponía representa una alternativa agrícola sostenible con un potencial considerable, siempre que su viabilidad económica y técnica se planifique adecuadamente.

Palabras Clave: Acuaponía, bacterias nitrificantes, eficiencia hídrica, economía circular, sostenibilidad agropecuaria, reciclaje de nutrientes.

ABSTRACT

Aquaponics is a production system that integrates aquaculture and hydroponics within a closed-loop water recirculation system, in which the metabolic waste produced by fish is transformed, through the action of nitrifying bacteria, into nutrients that can be readily used by plants. This research was carried out through a narrative and integrative literature review, whose general objective was to analyze the contribution of aquaponics, as a circular agricultural system, to productive sustainability, considering water efficiency, nutrient recycling, and viability across different agricultural production contexts.

The information search was conducted between March and June 2026 in databases such as Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, and Redalyc, from which 24 key scientific studies and 5 sources of technical support were selected after applying inclusion and exclusion criteria. The review made it possible to describe the main technical and biological foundations underlying aquaponic systems, examine their efficiency in terms of water use and nutrient utilization, and identify their principal advantages and limitations, including a brief analysis of their potential application in water-scarce areas, such as the province of Santa Elena.

The results demonstrate that aquaponics can achieve water savings of up to 90% compared to conventional agricultural systems, due to continuous water recirculation. Furthermore, nutrient recycling reduces the need for external fertilizers by utilizing nutrients generated within the system. However, its implementation presents challenges regarding initial investment, energy consumption, and the need for specialized technical knowledge. It is concluded that aquaponics represents a sustainable agricultural alternative with considerable potential, provided that its economic and technical viability is properly planned.

Keywords: Aquaponics, nitrifying bacteria, water efficiency, circular economy, agricultural sustainability, nutrient recycling.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
	Problema	3
	Objetivos	3
	Objetivo general	3
	Objetivos Específicos	3
2	METODOLOGÍA	4
2.1	Criterios de selección de la información	5
2.2	Procedimiento de recuperación de la información y fuentes documentales	5
2.3	Resultados de la búsqueda y selección documental	5
3	REVISIÓN DE LITERATURA	15
3.1	Concepto y evolución de la Acuaponía	15
3.2	Fundamentos técnicos y biológicos de los sistemas acuapónicos	16
3.3	Eficiencia en el uso del agua en sistemas acuapónicos	17
3.4	Reciclaje y aprovechamiento de nutrientes	18
3.5	Ventajas de la acuaponía como estrategia sostenible	19
3.6	Limitaciones de la acuaponía	21
3.7	Potencial de la acuaponía para la producción sostenible de alimentos en Ecuador y la provincia de Santa Elena	22
3.8	Estudios e investigaciones de sistemas acuapónicos	23
3.9	Discusión e integración crítica de la evidencia	26
4	CONCLUSIONES	29
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la búsqueda y selección documental	6
Tabla 2 Sistematización de las 24 fuentes primarias seleccionadas en la revisión bibliográfica	7
Tabla 3 Aspectos esenciales del proceso de recirculación del agua	18
Tabla 4 Beneficios ambientales de la acuaponía reportados en la literatura seleccionada	20
Tabla 5. Comparación de las ventajas y limitaciones identificadas en los estudios.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A1. Frecuencias Relativas	7
---	---

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Función del reciclaje y aprovechamiento de nutrientes

Anexo 2 Referencias de apoyo conceptual excluidas de la matriz

1 INTRODUCCIÓN

La acuaponía consiste en la integración de la acuicultura y la hidroponía dentro de un sistema de recirculación de agua, en el cual los desechos metabólicos generados por los peces y los restos alimenticios son transformados en nutrientes aprovechables para el crecimiento de las plantas. Este sistema representa una alternativa innovadora y sostenible para la producción agropecuaria, ya que permite optimizar el uso del agua y reciclar nutrientes dentro de un proceso de economía circular (Goddek et al., 2019; Sarfraz, 2020; Somerville et al., 2014).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021), en las últimas décadas, el sector agropecuario ha enfrentado importantes desafíos relacionados con el crecimiento poblacional, el aumento de la demanda alimentaria y la disminución progresiva de los recursos naturales. Uno de los recursos más importantes es el agua que constituye uno de los factores más críticos para la producción agrícola y pecuaria consumiendo aproximadamente el 70 % del agua dulce disponible a nivel mundial en la agricultura, situación que se agrava debido al cambio climático, las sequías y la contaminación de las fuentes hídricas. Asimismo, los sistemas tradicionales de producción generan grandes cantidades de residuos orgánicos y dependen del uso de fertilizantes químicos, lo que provoca afectaciones ambientales y reduce la sostenibilidad productiva a largo plazo (Troya, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), señala que en Ecuador y particularmente en la provincia de Santa Elena, la problemática del acceso y aprovechamiento eficiente del agua representa una limitante significativa para el desarrollo agropecuario. Esta provincia se caracteriza por presentar condiciones climáticas secas y periodos prolongados de escasez hídrica, lo que dificulta la producción agrícola convencional y afecta directamente a pequeños y medianos productores. Además, muchas comunidades rurales dependen de fuentes de agua limitadas y enfrentan dificultades relacionadas con el manejo de residuos orgánicos y el incremento de costos de producción. Estas condiciones evidencian la necesidad de implementar sistemas productivos sostenibles que permitan reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes dentro de las actividades agropecuarias.

Frente a esta problemática, la acuaponía ha surgido como una estrategia sostenible que integra la producción de peces y cultivos vegetales en un sistema cerrado de recirculación de agua. En este proceso, los peces generan residuos ricos en amonio que son transformados por bacterias nitrificantes en nutrientes absorbidos posteriormente por las plantas. A su vez, las plantas contribuyen a la purificación del agua, permitiendo su reutilización dentro del sistema acuícola. De esta manera, se establece una relación simbiótica entre peces, plantas y microorganismos que favorece el reciclaje de nutrientes, la reducción de desperdicios y el ahorro hídrico (Rakocy et al., 2006).

Diversos estudios han demostrado que los sistemas acuapónicos pueden reducir considerablemente el consumo de agua en comparación con la agricultura tradicional, debido a que el agua se recircula continuamente dentro del sistema. Además, permiten producir simultáneamente proteínas de origen animal y cultivos vegetales en espacios reducidos, disminuyendo la necesidad de fertilizantes químicos y contribuyendo al fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Estas ventajas convierten a la acuaponía en una alternativa viable para zonas con limitaciones hídricas como la provincia de Santa Elena (Burgos y Suárez, 2017; Burnell, 2015).

Pese a sus beneficios, la implementación de sistemas acuapónicos también presenta desafíos relacionados con los costos iniciales de instalación, el consumo energético y la necesidad de monitoreo constante de la calidad del agua para mantener el equilibrio adecuado entre peces, plantas y microorganismos. Además, su manejo requiere conocimientos técnicos específicos, lo que puede representar una limitante para algunos productores. No obstante, la acuaponía continúa posicionándose como una estrategia agropecuaria sostenible con potencial para optimizar el uso del agua y promover el reciclaje eficiente de nutrientes en zonas con problemas de disponibilidad hídrica (Mchunu et al., 2018).

Problema:

¿Cuál es el aporte de la acuaponía como sistema agropecuario circular para mejorar la eficiencia en el uso del agua, el reciclaje de nutrientes y la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria, según la evidencia científica disponible?

Objetivos

Objetivo general:

- ❖ Analizar, mediante una revisión bibliográfica, el aporte de la acuaponía como sistema agropecuario circular para la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria, considerando la eficiencia hídrica, el reciclaje de nutrientes y la viabilidad productiva en el contexto agropecuario.

Objetivos Específicos:

1. Describir los fundamentos técnicos y biológicos de los sistemas acuapónicos, considerando la integración entre acuicultura, hidroponía, microorganismos nitrificantes, calidad del agua y absorción de nutrientes por las plantas.
2. Examinar la eficiencia de la acuaponía en el uso del agua y el reciclaje de nutrientes, con énfasis en nitrógeno, fósforo, residuos orgánicos del cultivo de peces y su aprovechamiento en la producción vegetal.
3. Identificar las principales ventajas, limitaciones y oportunidades de aplicación agropecuaria de la acuaponía, considerando sostenibilidad, productividad, costos, manejo técnico, escalabilidad y pertinencia para pequeños y medianos productores.

2 METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, mediante una revisión bibliográfica de tipo narrativa–integradora, orientada al análisis de la acuaponía como estrategia agropecuaria sostenible para optimizar el uso del agua y el reciclaje de nutrientes en los sistemas de producción agropecuaria. Este tipo de revisión permitió recopilar, analizar e integrar información científica proveniente de diferentes fuentes académicas relacionadas con los principios, funcionamiento, beneficios y limitaciones de los sistemas acuapónicos. Asimismo, se consideraron diversos enfoques técnicos y contextos de aplicación reportados en la literatura especializada, con el propósito de comprender la importancia de la acuaponía como alternativa sostenible frente a los desafíos actuales del sector agropecuario.

La recopilación de información se efectuó durante el período comprendido entre marzo y junio de 2026, mediante la consulta de literatura científica y técnica disponible en bases de datos académicas especializadas. Para garantizar la confiabilidad y pertinencia de la información recopilada, se utilizaron como principales fuentes documentales las plataformas académicas Google Scholar, Scielo, ScienceDirect, repositorios y literatura técnica y Redalyc, debido a que dichas bases contienen publicaciones científicas arbitradas y documentación técnica vinculada con las ciencias agropecuarias y ambientales.

La estrategia de búsqueda bibliográfica se estructuró mediante el empleo de palabras clave y descriptores temáticos tanto en idioma español como inglés. Entre los principales términos utilizados se incluyeron “acuaponía”, “sistemas acuapónicos”, “aquaponics”, “sostenibilidad agropecuaria”, “eficiencia hídrica”, “reciclaje de nutrientes”, “water efficiency”, “nutrient recycling”, “sustainable agriculture”, “tilapia”, “lechuga”, “tilapia culture” y “lettuce cultivation”. Estos términos fueron combinados mediante los operadores booleanos AND y OR, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda:

("acuaponía" OR "sistemas acuapónicos" OR "aquaponics") AND ("sostenibilidad agropecuaria" OR "eficiencia hídrica" OR "reciclaje de nutrientes" OR "water efficiency" OR "nutrient recycling" OR "sustainable agriculture") AND ("tilapia" OR "lechuga" OR "tilapia culture" OR "lettuce cultivation")

2.1 Criterios de selección de la información

Con respecto a los criterios de inclusión, se consideraron preferentemente investigaciones publicadas entre los años 2018 al 2026, tomando en cuenta la constante actualización del conocimiento científico en el área agropecuaria y ambiental. No obstante, hay que tener en cuenta que también se incluyeron documentos técnicos, manuales y publicaciones consideradas fundamentales para el desarrollo conceptual e histórico de la acuaponía, aun cuando su fecha de publicación fuera anterior a dicho período, debido a que constituyen referentes teóricos indispensables para comprender el funcionamiento y evolución constante de los sistemas acuapónicos.

De igual manera, se incluyeron artículos científicos originales, revisiones bibliográficas, tesis de grado, estudios experimentales y documentos técnicos publicados en idioma español e inglés. Por otra parte, se excluyeron investigaciones duplicadas, publicaciones sin respaldo científico, referencias bibliográficas desactualizadas o con escasa relevancia técnica, así como estudios cuyo contenido no guardaba relación con los objetivos planteados en la presente investigación.

2.2 Procedimiento de recuperación de la información y fuentes documentales

El procedimiento de recuperación de información inició con una búsqueda preliminar orientada a identificar investigaciones relacionadas con sistemas acuapónicos y sostenibilidad agropecuaria. Posteriormente, se aplicaron filtros de selección en función del año de publicación, idioma, pertinencia temática y tipo de documento científico.

Una vez obtenidos los resultados iniciales, se procedió a realizar una revisión exploratoria de títulos y resúmenes con el propósito de identificar los estudios con mayor relación temática. Posteriormente, se efectuó una lectura crítica y analítica de los documentos seleccionados, evaluando aspectos como metodología aplicada, resultados obtenidos, aplicabilidad técnica y contribución científica. Por último, la información recopilada fue organizada y sistematizada mediante matrices bibliográficas, permitiendo clasificar los estudios según autor, año de publicación, objetivo de investigación y principales hallazgos relacionados con la acuaponía y la sostenibilidad agropecuaria.

2.3 Resultados de la búsqueda y selección documental

Como resultado de la estrategia de búsqueda implementada, se identificaron inicialmente 52 documentos científicos distribuidos en las diferentes bases de datos

consultadas. Posteriormente, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión establecidos, así como la eliminación de documentos duplicados y publicaciones no pertinentes, se seleccionaron 24 fuentes principales para el análisis bibliográfico, complementadas con literatura técnica e institucional utilizada para fortalecer la contextualización del tema.

Los documentos seleccionados fueron obtenidos principalmente mediante acceso abierto, repositorios institucionales universitarios y bibliotecas virtuales científicas, permitiendo establecer una base teórica adecuada para el análisis de la acuaponía como alternativa agropecuaria sostenible.

Adicionalmente, se utilizaron documentos técnicos, manuales especializados y referencias consideradas fundamentales para el desarrollo conceptual de la acuaponía, los cuales fueron considerados únicamente como bibliografía de apoyo y antecedentes teóricos.

Tabla 1. Resultados de la búsqueda y selección documental

Base de datos	Documentos encontrados	Documentos seleccionados
Google Scholar	18	9
Scielo	11	4
ScienceDirect	9	2
Redalyc	6	1
Repositorios y literatura	8	8
Total	52	24

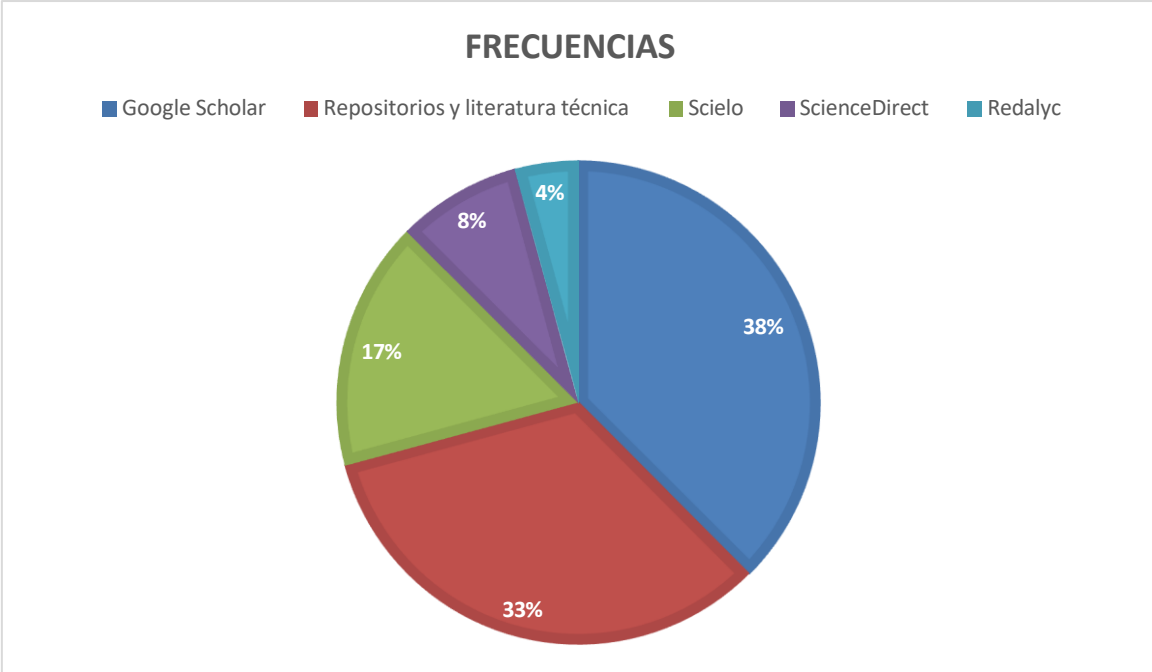


Figura A1. Frecuencias Relativas

De acuerdo con la distribución de la literatura seleccionada, el 37,50 % ($n = 9$) de los documentos analizados provienen de Google Scholar, seguido por repositorios institucionales y literatura técnica con un 33,33 % ($n = 8$) y Scielo con un 16,67 % ($n = 4$). En menor proporción se integraron estudios recuperados de ScienceDirect (8,33 %, $n = 2$) y Redalyc (4,17 %, $n = 1$), completando el acumulado de las 24 fuentes representativas para la investigación.

Tabla 2 Sistematización de las 24 fuentes primarias seleccionadas en la revisión bibliográfica

Autor año	y País Región	Tipo / Sistema	de Especies	Parámetros Evaluados	Principales Resultados
Estrada- Pérez et al. (2024)	México	Acuaponía vs. Hidroponía (NFT).	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia) / <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga), <i>Cucumis</i>	Calidad del agua, biomasa acuícola, rendimiento vegetal, sobrevivencia.	Biomasa promedio de tilapia: 33,76 kg m ⁻³ . En lechuga, la acuaponía superó a la hidroponía en el primer ciclo; en pepino la hidroponía fue superior (212,52

			<i>sativus</i> (Pepino)		g/fruto). Demuestra la viabilidad de reutilización de nutrientes.
Ibrahim (2023)	Interna cional (Revisión)	Sistemas recirculantes acoplados/desacoplados.	Tilapia / Varias hortalizas de hoja y fruto	Eficiencia hídrica, tasa de nitrificación, balance de nutrientes, automatización.	Ahorro hídrico de hasta un 90 % frente a la agricultura convencional. Alta adaptabilidad de la tilapia para sostener procesos de nitrificación eficientes.
Chilán et al. (2025)	Ecuador (Guayas)	CAP vs. NFT.	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia) / <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	Amonio disuelto, altura de planta, longitud de peces, calidad de agua durante 45 días.	El amonio descendió a < 0,1 ppm entre los días 14 y 21. El sistema CAP superó al NFT con un incremento del 18,2 % en longitud de lechuga (29,21 cm) y 12,9 % en tilapia (20,33 cm).
Limón (2024)	Ecuador (Santa Elena)	NFT vs. SRF.	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia) / <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	Peso final, sobrevivencia de peces y plantas, rendimiento g/m ² , físicoquímica.	Supervivencia en tilapia >90 %. En lechuga, SRF presentó mayor supervivencia (82 %) y rendimiento (323,91 g/m ²) que NFT. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas (P > 0,05).

Escarraga (2025)	Colombia (Boyacá)	Recirculación forzada con agua de lluvia.	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoíris) / <i>Lactuca sativa</i> (Lechuga)	Caudal (8 L/s), oxígeno disuelto, consumo energético (kWh), depuración biológica.	Demostró la factibilidad de producir en zonas frías de montaña operando 100 % con agua de lluvia. Se requirió de 1.400 a 1.500 plantas para la depuración del efluente.
Cancino (2023)	Perú	Biofiltración en SRA.	Organismos acuáticos / Hortalizas	Eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total (NAT), desempeño de biofiltros.	Los biofiltros con sustratos de mayor área superficial específica redujeron significativamente el amonio, acelerando la conversión a nitratos utilizables por las plantas.
Carrera (2024)	México	Acuaponía desacoplada.	Peces de agua dulce / Vegetales	Mineralización de efluentes, disponibilidad de fósforo y potasio, dinámica nutricional.	La mineralización de lodos de biofloc suplementó deficiencias micronutricionales en sistemas desacoplados, optimizando la nutrición vegetal sin fertilizantes sintéticos.
Cifuentes et al. (2023)	Colombia	Revisión sistémica Diversos.	Peces de agua dulce /	Relación biomasa pez/planta, tasa de	Sintetizó las ratios idóneas de alimentación (15-50 g alimento/m ² /día) para

			Hortalizas diversas		alimentación, pH y temperatura.	mantener el equilibrio entre peces, bacterias y plantas en sistemas integrados.
Escobar (2026)	Colombia	Sistemas acuapónicos automatizados.	Tilapia Lechuga	/	Balances de masa de nitrógeno, eficiencia de biofiltración, control automatizado.	Validó mediante balances de masa que el monitoreo continuo de pH y ORP optimiza la tasa de nitrificación, previniendo picos tóxicos de amoníaco y nitritos.
Fernández et al. (2025)	España	Recirculación en circuito cerrado.	Peces continentales / Cultivos foliares		Dinámica de conversión del amoníaco, absorción foliar de nitratos, calidad hídrica.	Confirmó que más del 70 % del nitrógeno excretado por los peces puede ser recuperado por la biomasa vegetal bajo un pH controlado entre 6,5 y 7,0.
González et al. (2025)	México	Acuaponía vs. Recirculación tradicional.	Tilapia <i>Solanum lycopersicum</i> (Tomate cherry)	/	Rendimiento de fruto, eficiencia en uso de agua, absorción de N-P- K.	El cultivo de tomate cherry acuapónico logró rendimientos comparables al sistema hidropónico con un consumo hídrico 85 % menor que el riego tradicional.
Huaman et al. (2025)	Colombia	Piloto municipal rural (SRF/NFT).	Tilapia Hortalizas locales	/	Ahorro hídrico, viabilidad comunitaria,	Evidenció la aplicabilidad de la acuaponía en zonas

					producción por rurales con escasez m ² . hídrica, reduciendo la huella hídrica comunitaria y diversificando la dieta local.
Menoscal et al. (2026)	Ecuador (Manabí)	Sistema educativo modular (NFT).	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia roja) / Hortalizas	Impacto técnico-educativo, estabilidad del agua, costos operativos.	El sistema demostró estabilidad biológica en pequeña escala, aunque destacó la alta dependencia de energía eléctrica y la necesidad de capacitación técnica continua.
Moreira y Alarcón (2019)	Ecuador (Manabí)	Sistemas de recirculación rural.	Tilapia / Vegetales de hoja	Retención de sólidos, eficiencia de biofiltros mecánicos, sostenibilidad.	Determinó que la remoción eficiente de sólidos suspendidos en el filtro mecánico evita la colmatación de las raíces de las plantas en sistemas rurales.
Naspirán et al. (2022)	Colombia	Acuicultura multitrófica integrada (IMTA).	Peces / Varias especies vegetales	Reciclaje de nutrientes, mitigación de efluentes, diversificación.	Resaltó el valor ambiental de integrar diferentes niveles tróficos para reducir al mínimo las descargas contaminantes hacia cuerpos de agua naturales.

Flores y Uribe (2023)	Ecuador (Santa Elena)	Revisión de gestión hídrica provincial.	— Cultivos agrícolas zonales	/	Disponibilidad hídrica, déficit de riego, estrategias de conservación.	Identificó a Santa Elena como una zona semiárida crítica donde tecnologías de recirculación como la acuaponía son prioritarias para sostener la producción agropecuaria.
Chilán et al. (2025)	Ecuador	Sistemas acuapónicos modulares.	Peces continentales / Hortalizas		Calidad físicoquímica del agua, crecimiento biométrico.	Confirmó la factibilidad técnica del cultivo integrado en la costa ecuatoriana, destacando el rápido crecimiento vegetativo bajo condiciones de clima cálido.
Sarfraz (2020)	Internacional (Revisión).	Diversas configuraciones de recirculación.	Peces de agua dulce / Hortalizas variadas		Sostenibilidad, ciclo de nutrientes, requerimientos energéticos y técnicos.	Sintetizó que la acuaponía reduce drásticamente la huella ecológica de la agricultura, identificando a la inversión inicial y la energía como los principales cuellos de botella.
Aguilar et al. (2021)	México	Sistemas periurbanos integrados.	Tilapia y Lechuga	/	Productividad por m ² , uso del agua, viabilidad técnica.	Demostró alta productividad en espacios reducidos, siendo una alternativa

				hierbas aromáticas		eficiente para la soberanía alimentaria en regiones con baja disponibilidad de tierra fértil.
CEPAL (2022)	América Latina.	Revisión regional sistemas agrícolas.	de	Organismos acuáticos / Cultivos agrícolas	Eficiencia en recursos, sostenibilidad, resiliencia al cambio climático.	Resalta las tecnologías de economía circular (como la acuaponía) como estrategias clave para mitigar la vulnerabilidad hídrica en el sector rural latinoamericano.
Mchunu et al. (2018)	Sudáfrica.	Encuesta y caracterización nacional sistemas.	y	Tilapia, Carpa / Lechuga, Tomate, Pimiento.	Costos operativos, escalabilidad, rentabilidad comercial, manejo.	Reveló que la mayoría de sistemas operan a pequeña/mediana escala, señalando que la rentabilidad depende fuertemente del costo energético y la capacitación técnica.
Goddek et al. (2019)	Internacional (Libro técnico) .	Sistemas acoplados y desacoplados multi-step.	y	Diversas especies de peces y cultivos.	Diseño de ingeniería, biofiltración, pH diferencial pez/planta, nutrición.	Referencia técnica fundamental que sustenta el diseño de sistemas acuapónicos modernos, demostrando que el desacoplamiento optimiza la nutrición vegetal y la salud de los peces.

UNEP (2021)	Interna cional (Informe).	Enfoques de agricultura circular.	Sistemas de integrados agroacuícolas.	Uso global del agua, impacto por fertilizantes sintéticos, neutralidad de degradación.	Establece el marco global sobre la necesidad urgente de mitigar el consumo hídrico del 70 % en la agricultura mediante tecnologías circulares de vertido cero.
FAO (2020)	Interna cional (Informe e SOFA).	Sistemas agrícolas sostenibles y recirculantes.	Peces y cultivos de cobertura/h ortalizas.	Desafíos del agua en la agricultura, escasez hídrica, productividad.	Documentó la gravedad del estrés hídrico mundial y recomendó la acuaponía como un sistema eficiente para optimizar el recurso hídrico en áreas de sequía prolongada.

Nota: CAP = Cultivo en Agua Profunda (Deep Water Culture); NFT = Técnica de Película de Nutrientes (Nutrient Film Technique); SRF = Sistema de Raíz Flotante; SRA = Sistema de Recirculación Acuícola. Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica realizada.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 *Concepto y evolución de la Acuaponía*

La acuaponía es un sistema que integra la acuicultura y la hidroponía para mejorar la producción y que sea un ecosistema sostenible. Dentro de este sistema, peces y plantas se ayudan de manera complementaria por medio de la recirculación del agua, ya que gracias a esto se aprovechan los recursos eficientemente y genera una producción más sostenible. La acuaponía integra la acuicultura de recirculación y la hidroponía en un mismo sistema productivo, donde peces, plantas y bacterias interactúan de forma simbiótica (Cifuentes et al., 2023).

Este sistema funciona principalmente en la reutilización de los nutrientes generados de los desechos producidos por los peces, un principio ampliamente documentado en 8 de las 24 fuentes primarias analizadas (Estrada-Pérez et al., 2024; Ibrahim, 2023; Carrera, 2024; Cifuentes et al., 2023; Fernández et al., 2025; Moreira y Alarcón, 2019; Naspirán et al., 2022; Sarfraz, 2020). Primero los desechos sólidos son retenidos gracias al filtro mecánico del sistema acuapónico, mientras que el amoníaco y otros compuestos nitrogenados disueltos son transformados por las bacterias nitrificantes en nutrientes que son aprovechables para las plantas. Las plantas absorben principalmente nitratos y otros minerales disueltos en el agua como fertilizante, contribuyendo a la limpieza y purificación del agua antes de que se retorne nuevamente al tanque de cultivo de los peces debido a la recirculación, gracias a este proceso el equilibrio biológico es sostenible y nos ayuda a mitigar el desperdicio de agua y nutrientes (Moreira y Alarcón, 2019).

La acuaponía moderna tiene sus orígenes en la segunda mitad del siglo XX a partir de diversas investigaciones científicas, aunque el aprovechamiento de los desechos de los peces para nutrir y fertilizar cultivos se ha utilizado por múltiples civilizaciones desde hace miles de años. A partir de las décadas de 1980 y 1990 se consolidaron importantes avances tecnológicos que contribuyeron al desarrollo de sistemas más efectivos basados en la recirculación del agua, la optimización de la biofiltración nitrificante y el equilibrio de nutrientes entre la producción vegetal y acuícola (Cifuentes et al., 2023; Goddek et al., 2019; Sarfraz, 2020).

Este sistema ha generado mucho interés en diversas regiones del mundo, principalmente en aquellas con deficiencia hídrica o limitaciones de disponibilidad de suelo agrícola, aspecto respaldado por 10 de las 24 fuentes seleccionadas en este estudio (CEPAL, 2022; Escarraga, 2025; FAO, 2020; Flores y Uribe, 2023; González et al., 2025; Huaman et al., 2025; Ibrahim, 2023; Mchunu et al., 2018; Sarfraz, 2020; UNEP, 2021). Estas investigaciones coinciden en considerar a la acuaponía como una opción altamente sostenible y viable para la producción de alimentos, gracias a su capacidad para maximizar el uso del agua mediante ahorros de hasta un 90 %, utilizar menos fertilizantes sintéticos y aprovechar idóneamente los nutrientes generados dentro del sistema (Goddek et al., 2019; Ibrahim, 2023).

3.2 Fundamentos técnicos y biológicos de los sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos se fundamentan en la interacción simbiótica de tres componentes biológicos principales: los organismos acuáticos, las plantas y las bacterias nitrificantes, aspecto abordado de manera directa en 11 de las 24 fuentes primarias analizadas (Cancino, 2023; Chilán et al., 2025; Cifuentes et al., 2023; Escobar, 2026; Estrada-Pérez et al., 2024; Fernández et al., 2025; Goddek et al., 2019; Ibrahim, 2023; Moreira y Alarcón, 2019; Sarfraz, 2020). Estos elementos establecen una relación de interdependencia que permite el funcionamiento eficiente del sistema mediante la transformación bacteriana de los desechos metabólicos en nutrientes asimilables para los cultivos y la recirculación continua del agua purificada (Goddek et al., 2019).

En el sistema se considera que el componente acuícola es la base relevante de nutrientes dentro del mismo, los peces generan compuestos nitrogenados disueltos en el agua mediante sus procesos metabólicos y de la excreción de desechos. La acumulación de estos desechos puede influir de forma negativa la integridad y salud de los organismos acuáticos y con ello afectar la calidad del agua (Cancino, 2023).

El equilibrio biológico de la acuaponía se debe principalmente al papel fundamental de las bacterias nitrificantes, los peces generan el amoníaco y estos microorganismos transforman el amoníaco en nitritos y después en nitratos a través de un proceso conocido como nitrificación, gracias a esto se mitiga la toxicidad en el ambiente y se transforman los residuos nitrogenados presentes en el agua en nutrientes accesibles para las plantas (Escobar, 2026).

El integrar estos procesos biológicos en un sistema da un efecto de ciclo continuo sostenible aprovechable de recursos, debido a la recirculación del agua y al reciclaje de nutrientes, los sistemas acuapónicos consiguen disminuir el consumo hídrico y mitigar la generación de residuos, contribuyendo como una opción sostenible para la producción de alimentos (Goddek et al., 2019; Sarfraz, 2020).

3.3 Eficiencia en el uso del agua en sistemas acuapónicos

Una de las principales ventajas de los sistemas acuapónicos es su alta eficiencia en el uso del agua en comparación con los métodos agrícolas tradicionales y convencionales. Esta eficiencia se debe a la recirculación continua del agua dentro del sistema, lo que permite reutilizarla de forma constante en lugar de desecharla después de un solo uso. Gracias a este proceso, una misma cantidad de agua puede emplearse repetidamente antes de requerir su reposición, reduciendo significativamente el consumo hídrico y convirtiendo a la acuaponía en una alternativa sostenible, especialmente en zonas donde el recurso hídrico es limitado (Huaman et al., 2025; FAO, 2020).

En la agricultura tradicional es necesario llevar a cabo aplicaciones frecuentes para conservar la disponibilidad del agua requerida por los cultivos debido a que gran parte de agua se pierde por evaporación, escorrentía o infiltración profunda en el suelo. Por otro lado los sistemas acuapónicos preservan una gran parte de agua dentro del circuito productivo, disminuyendo significativamente las pérdidas y optimizando su aprovechamiento (FAO, 2020; CEPAL, 2022).

La recirculación del agua contribuye a que los nutrientes liberados por los microorganismos acuáticos sean transportados a las plantas las cuales asimilan los compuestos necesarios para su desarrollo para luego retornar al sistema acuícola y dar el reinicio del ciclo. Gracias a esto se reduce la necesidad de sustituir grandes volúmenes de agua y administra de una manera más eficiente los recursos hídricos (González et al., 2025; Goddek et al., 2019).

Tabla 3 Aspectos esenciales del proceso de recirculación del agua.

Componente clave	Función Principal	Beneficio Clave	Fuentes Primarias
Transporte de nutrientes	Flujo continuo de nitratos y minerales hacia las raíces.	Absorción vegetal constante sin acumulación de sales.	Fernández et al. (2025).
Depuración biológica	Pasaje del efluente por biofiltros con bacterias nitrificantes.	Purificación biológica del agua para el retorno seguro a los peces.	Cancino (2023); Escobar (2026).
Eficiencia hídrica	Reutilización en circuito cerrado con reposición mínima de agua.	Ahorro hídrico del 85 % al 90 % frente a sistemas tradicionales.	FAO (2020); Ibrahim (2023).

Por ello estos aspectos la acuaponía ha sido considerada una opción viable para producción de alimentos lo cual lo hace una alternativa sostenible mayormente en regiones donde hay una limitante significativa de agua para la agricultura convencional (Aguilar et al., 2021).

Investigaciones recientes han demostrado que la acuaponía puede alcanzar niveles de ahorro de agua de hasta el 90 % en comparación con sistemas agrícolas convencionales, gracias a la recirculación continua y al aprovechamiento eficiente de nutrientes dentro del sistema. Además, este modelo productivo ha sido identificado como una alternativa especialmente adecuada para regiones con limitaciones hídricas, debido a su capacidad para mantener la producción con menores requerimientos de agua (Ibrahim, 2023).

3.4 Reciclaje y aprovechamiento de nutrientes

En los sistemas convencionales de producción hay una parte de los nutrientes que no se aprovechan o se pierden del sistema a diferencia de los sistemas acuapónicos que

constituyen el reciclaje de nutrientes como una característica que es considerada un principio fundamental dentro del mismo (Goddek et al., 2019; Cifuentes et al., 2023).

Los organismos acuáticos generan residuos como resultado de su alimentación y metabolismo que en principio se presenta en forma de amoníaco y contiene compuestos nitrogenados que es una sustancia potencialmente nociva para los seres vivos que residen en el agua cuando se acumula en concentraciones elevadas. El amoníaco es transformado gracias a las bacterias nitrificantes primero en nitrito y posteriormente en nitrato que es una forma de nitrógeno que puede ser absorbida por los organismos vegetales (Fernández et al., 2025).

Los nitratos y otros nutrientes disueltos en el agua son asimilados por las plantas para su desarrollo y crecimiento, hay que tener en cuenta que entre estos nutrientes se encuentran compuestos esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y varios micronutrientes que intervienen en procesos fisiológicos fundamentales ya que, al absorber estos elementos, las plantas disminuyen la acumulación dentro del sistema consiguiendo mantener una apta calidad del agua (Goddek et al., 2019; Sarfraz, 2020).

La recirculación permite que los nutrientes pasen continuamente entre bacterias, plantas y microorganismos acuáticos constituyendo un mecanismo de aprovechamiento eficiente de los recursos presentes. Gracias a esto se disminuye la necesidad de fertilizantes externos y se mitiga la generación de desechos reforzando el carácter sostenible de la acuaponía como sistema de producción de alimentos (Carrera, 2024; UNEP, 2021).

3.5 Ventajas de la acuaponía como estrategia sostenible

Existen varias ventajas que convierten a la acuaponía en una opción sostenible para la producción alimentaria pero la principal característica se basa en la integración de la acuicultura con la hidroponía en un mismo ecosistema de producción permitiendo que entre estos sistemas exista una relación complementaria eficiente tanto para el aprovechamiento de recursos disponibles como en la reducción de la generación de residuos (Goddek et al., 2019; Sarfraz, 2020; Cifuentes et al., 2023).

El uso eficiente del agua es una de las ventajas más relevantes que tiene la acuaponía ya que gracias a la recirculación continua el agua se puede reutilizar dentro del sistema acuapónico reduciendo considerablemente las pérdidas en comparación con los métodos

agrícolas convencionales. En regiones donde la disponibilidad hídrica es escasa resulta ser una característica de suma importancia (FAO, 2020; UNEP, 2021).

El reciclaje de nutrientes también es una ventaja importante a destacar debido a que los desechos que son generados por los organismos acuáticos en el sistema son transformados a través de procesos biológicos en nutrientes aprovechables para las plantas disminuyendo la necesidad de agregar fertilizantes externos y optimizando la utilización de los nutrientes presentes en el sistema (Naspirán et al., 2022).

En términos ambientales la acuaponía contribuye a mitigar la descarga de residuos y a optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales. Además, permite crear un ecosistema diverso de producción de alimentos donde cultivos vegetales y acuáticos puedan producir simultáneamente dentro de una misma unidad productiva (Mchunu et al., 2018; Naspirán et al., 2022).

Tabla 4 Beneficios ambientales de la acuaponía reportados en la literatura seleccionada.

Indicador / Beneficio Ambiental	Descripción del Impacto	Fuentes Primarias (de la matriz de 24)
Ahorro e hidro eficiencia	Reducción del consumo hídrico de entre un 85 % y 90 % en comparación con la agricultura y acuicultura convencional mediante la recirculación continua.	Ibrahim (2023); González et al. (2025); CEPAL (2022); FAO (2020)
Mitigación de efluentes y vertido cero	Retención y transformación biológica de contaminantes (amoníaco y nitritos), evitando la descarga de residuos eutrofizantes hacia	Naspirán et al. (2022); UNEP (2021); Cancino (2023)

	cuerpos de agua naturales.	
Reciclaje de nutrientes	Aprovechamiento de más del 70 % del nitrógeno y fósforo excretado por los peces para la fertilización directa de los cultivos vegetales.	Estrada-Pérez et al. (2024); Fernández et al. (2025); Carrera (2024)
Optimización del uso del suelo	Maximización de la productividad por metro cuadrado en zonas semiáridas, periurbanas o con suelos no aptos para la agricultura.	Aguilar et al. (2021); Flores y Uribe (2023); Huaman et al. (2025)
Sostenibilidad agricultura circular	y Reducción del uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas, promoviendo la resiliencia productiva ante el cambio climático.	Goddek et al. (2019); Sarfraz (2020); CEPAL (2022)

Las bacterias, organismos acuáticos y plantas son una combinación que genera un equilibrio biológico que contribuye a la sostenibilidad, estas características se han destacado como una estrategia de producción eficiente favoreciendo la seguridad alimentaria y también como una alternativa viable para promover sistemas de producción más sostenibles (CEPAL, 2022; Goddek et al., 2019).

3.6 Limitaciones de la acuaponía

Este sistema además de presentar diversas ventajas también existe ciertas limitaciones que pueden dificultar su elaboración y adopción a gran escala, se debe

considerar estas restricciones al momento de evaluar su viabilidad técnica, económica y productiva (Menoscal et al., 2026).

Una de las limitaciones principales es que es necesario una inversión económica inicial significativa para la construcción y equipamiento del sistema acuapónico, es de saber que la instalación de tanques de cultivo, filtros mecánicos, tuberías, sistemas de bombeo y otros elementos puede significar costos considerablemente altos a diferencia con algunos sistemas agrícolas convencionales (Mchunu et al., 2018).

Igualmente, el funcionamiento continuo de equipos que permiten la recirculación y oxigenación del agua son cruciales para el sistema acuapónico, por esto el suministro eléctrico es un factor crítico para la sostenibilidad del sistema ya que si se producen cortes prolongados de energía eléctrica puede afectar mucho a los organismos acuáticos y vegetales en cuanto a producción y calidad (Menoscal et al., 2026).

Otra limitación a tener en cuenta es la de requerir conocimientos técnicos especializados ya que un buen manejo de los parámetros de calidad del agua, de nutrición vegetal, de bienestar en organismos acuáticos y los procesos biológicos relacionados necesitan capacitación y monitoreo constante garantizar el correcto funcionamiento del sistema (Sarfraz, 2020).

También es importante considerar el costo relacionado con la alimentación de los organismos acuáticos y el mantenimiento de los equipos que pueden influir en el rendimiento y ganancia del sistema principalmente en explotaciones de pequeña escala. Por lo tanto, una planificación técnica y económica es una estrategia fundamental para asegurar el éxito de los sistemas acuapónicos y su sostenibilidad (Mchunu et al., 2018).

3.7 Potencial de la acuaponía para la producción sostenible de alimentos en Ecuador y la provincia de Santa Elena

En el Ecuador la acuaponía logra ser una alternativa con muchísimo potencial para apoyar a la producción sostenible de alimentos, principalmente en las zonas donde hay escasa disponibilidad de agua para el desarrollo agrícola, bajo este contexto la provincia de Santa Elena que de por si la disponibilidad hídrica es escasa, podría optimizar el uso de los recursos hídricos disponibles mediante la implementación de los sistemas acuapónicos (Flores y Uribe, 2023).

Diversas investigaciones informan que Santa Elena está ubicada en una zona semiárida donde carece de recursos hídricos y eso representa un gran desafío para las actividades agrícolas por lo que esta situación ha impulsado la implementación de estrategias y proyectos orientados a mejorar el abastecimiento de agua para la producción agrícola y consumo humano, ya que históricamente la disponibilidad del recurso hídrico siempre ha sido una de las principales limitantes para el desarrollo de la provincia (Flores y Uribe, 2023).

En este contexto, la acuaponía entraría en marcha favoreciéndole con varias ventajas importantes debido a su capacidad de recirculación del agua y reutilización de los nutrientes generados dentro del sistema, sería muy relevante para las regiones donde el acceso al agua es limitado y el consumo hídrico se reduciría significativamente en comparación con los sistemas agrícolas convencionales (Menoscal et al., 2026).

Cabe destacar que el integrar la producción vegetal y la acuícola en un mismo sistema puede ayudar a que la producción de alimentos sea más diversificada y optimizar el aprovechamiento de unidades productivas. Diversos estudios han señalado desafíos relacionados con la producción agroalimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos locales, aspectos que resultan de especial interés para provincias como Santa Elena (Briones, 2024).

Es por ello que la acuaponía ha generado interés como una alternativa que podría reforzar la seguridad alimentaria, así como también promover el uso eficiente de los recursos hídricos y contribuir a sistemas agrícolas más sostenibles en la provincia de Santa Elena y en zonas o provincias con entornos similares (FAO, 2020; UNEP, 2021; Chilán et al., 2025).

3.8 Estudios e investigaciones de sistemas acuapónicos

Estrada-Pérez et al. (2024) realizaron una investigación orientada a comparar el desempeño productivo de sistemas acuapónicos e hidropónicos mediante el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) y pepino, utilizando tilapia como componente acuícola dentro del sistema acuapónico. El estudio se desarrolló durante 22 semanas, periodo en el cual se evaluaron variables relacionadas con la calidad del agua, el crecimiento de los peces y el rendimiento de los cultivos vegetales. Los investigadores registraron una biomasa promedio de tilapia de 33,76 kg m⁻³ y un peso final promedio de 592,26 ± 25,45 g por pez, lo que evidenció un adecuado desarrollo de los organismos acuáticos dentro del sistema. Asimismo,

en el cultivo de lechuga se observaron diferencias entre los tratamientos evaluados, obteniéndose una mayor producción en el sistema acuapónico durante el primer ciclo de cultivo, mientras que en el segundo ciclo la hidroponía presentó rendimientos superiores. En el caso del pepino, los mejores resultados productivos se registraron en el sistema hidropónico, alcanzando frutos con un peso promedio de $212,52 \pm 18,89$ g y una longitud promedio de $14,15 \pm 1,75$ cm. A pesar de estas diferencias, los autores concluyeron que la acuaponía ofrece ventajas ambientales y productivas relevantes, debido a que permite la producción simultánea de peces y vegetales mediante el aprovechamiento de nutrientes provenientes de los residuos acuícolas, reduciendo el impacto ambiental asociado a la actividad agrícola convencional.

Por su parte, Ibrahim (2023) desarrolló una revisión científica internacional sobre la acuaponía como estrategia sostenible para la producción de alimentos y el uso eficiente del agua. El análisis incluyó investigaciones relacionadas con el diseño de sistemas acuapónicos, la automatización de procesos, el reciclaje de nutrientes, la productividad agrícola y acuícola, así como los beneficios ambientales, sociales y económicos asociados a esta tecnología. Los autores destacaron que la acuaponía puede alcanzar eficiencias hídricas de hasta un 90 % en comparación con los sistemas agrícolas convencionales, gracias a la recirculación continua del agua dentro del sistema productivo. Además, señalaron que la integración entre acuicultura e hidroponía permite reutilizar los compuestos nitrogenados generados por los peces, transformándolos en nutrientes disponibles para las plantas mediante procesos biológicos de nitrificación. De igual manera, identificaron que especies como la tilapia presentan una elevada adaptabilidad a este tipo de producción debido a su tolerancia a diferentes condiciones ambientales y su capacidad para generar nutrientes aprovechables por los cultivos vegetales. Los autores concluyeron que la acuaponía constituye una alternativa viable para regiones con limitada disponibilidad de agua, ya que contribuye simultáneamente al ahorro hídrico, al reciclaje de nutrientes y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria, aunque reconocen que aún existen desafíos relacionados con los costos de implementación y el manejo técnico de los sistemas.

Chilán et al. (2025) desarrollaron e implementaron dos sistemas acuapónicos en la parroquia Sabanilla, cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas, Ecuador, con el objetivo de evaluar su viabilidad como alternativa sostenible para productores rurales. Durante un periodo de 45 días se compararon dos sistemas de cultivo: cultivo en aguas profundas (CAP)

y cultivo en capa de nutrientes (NFT), utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) como especie vegetal y tilapia (*Oreochromis niloticus*) como componente acuícola. El ensayo inició con 30 alevines de tilapia con un peso promedio de $10 \pm 2,30$ g y una longitud promedio de 6,5 cm, además de plántulas de lechuga previamente germinadas y adaptadas al sistema. Durante el estudio se monitorearon parámetros de crecimiento, respuesta fisiológica y calidad del agua. Los resultados evidenciaron que la concentración de amonio descendió a valores óptimos inferiores a 0,1 ppm entre los días 14 y 21, indicando una eficiente transformación biológica del nitrógeno y un adecuado reciclaje de nutrientes dentro del sistema acuapónico. La lechuga cultivada en el sistema CAP alcanzó una altura promedio de $29,21 \pm 0,55$ cm al día 45, mientras que en el sistema NFT registró $24,71 \pm 0,39$ cm. En el caso de la tilapia, los organismos cultivados en CAP alcanzaron una longitud promedio de $20,33 \pm 0,50$ cm, superando a los obtenidos en NFT con $18,01 \pm 0,45$ cm. Los autores determinaron que el sistema CAP fue significativamente superior, presentando incrementos promedio del 18,2 % en la longitud de la lechuga y del 12,9 % en el crecimiento de la tilapia, concluyendo que los sistemas acuapónicos representan una alternativa técnicamente viable para fortalecer la producción sostenible y la seguridad alimentaria en comunidades rurales ecuatorianas.

Asimismo, Limón (2024) evaluó el cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia) y *Lactuca sativa* (lechuga) en dos sistemas acuapónicos, NFT (Nutrient Film Technique) y SRF (Sistema de Raíz Flotante), en el laboratorio Rosario del Mar, ubicado en la comuna Monteverde, provincia de Santa Elena, Ecuador. Durante 57 días se monitoreó el crecimiento de peces y plantas, así como parámetros fisicoquímicos del agua. Los resultados mostraron que los alevines de tilapia alcanzaron pesos finales promedio de 30,92 g en el sistema NFT y 28,40 g en el sistema SRF, con supervivencias de 92 % y 90 %, respectivamente. En el caso de *Lactuca sativa*, el sistema SRF obtuvo una supervivencia de 82 %, superior al 54 % registrado en NFT. Asimismo, la eficiencia productiva fue mayor en SRF ($323,91 \text{ g/m}^2$) que en NFT ($235,85 \text{ g/m}^2$). Las pruebas estadísticas aplicadas (ANOVA, Tukey y T Student) indicaron que las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$), por lo que ambos sistemas fueron considerados adecuados para el cultivo integrado de peces y hortalizas bajo las condiciones evaluadas.

Por último, Escarraga (2025) desarrolló un sistema acuapónico para la producción integrada de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en el municipio de Tinjacá, Boyacá (Colombia), una zona de montaña caracterizada por limitada

disponibilidad hídrica. El objetivo de la investigación fue evaluar la viabilidad de un sistema productivo capaz de operar únicamente con agua de lluvia mediante un esquema de recirculación forzada complementado con filtración biológica y mecánica. El sistema fue diseñado para funcionar bajo condiciones promedio de temperatura de 19,5 °C, con un caudal de 8 L/s y una caída gravitacional de 1,4 m, parámetros que permitieron mantener una adecuada oxigenación del agua y evitar la acumulación de compuestos nitrogenados perjudiciales para los organismos cultivados. Los resultados preliminares indicaron que la configuración implementada favoreció una mayor eficiencia energética, una adecuada calidad del agua y una reducción del riesgo de saturación del biofiltro. Asimismo, se estimó que entre 1.400 y 1.500 plantas de lechuga serían necesarias para lograr una depuración biológica eficiente del agua recirculada. Aunque el sistema proyectó un consumo energético de 14.040 kWh durante 195 días de operación continua, el autor concluyó que la acuaponía constituye una alternativa viable para territorios con escasez hídrica, debido a que permite la producción simultánea de peces y hortalizas utilizando agua de lluvia y reduciendo la dependencia de fuentes hídricas naturales.

3.9 Discusión e integración crítica de la evidencia

Los estudios revisados coinciden en que la acuaponía permite aprovechar el agua y reciclar nutrientes; sin embargo, los resultados productivos varían entre sistemas debido a factores como el tipo de cultivo, la configuración técnica y la dinámica nutricional del agua (Chilán et al., 2025; Estrada-Pérez et al., 2024).

Un factor crítico en esta variación radica en el balance de macronutrientes esenciales como Fósforo (P), Potasio (K) y Calcio (Ca), los cuales actúan frecuentemente como limitantes en la acuaponía acoplada en comparación con las soluciones nutritivas balanceadas de la hidroponía convencional (Goddek et al., 2019).

Mientras que el nitrógeno es suministrado eficientemente a través de la nitrificación de los desechos de los peces, las concentraciones de P, K y Ca provenientes del alimento acuícola resultan insuficientes para satisfacer las exigencias de cultivos de alta demanda o en etapa de fructificación (Carrera, 2024; González et al., 2025).

Asimismo, el compromiso del pH operacional (6,8–7,2) necesario para el bienestar de los peces y bacterias limita la solubilidad de nutrientes como el fósforo y el calcio

(Goddek et al., 2019). Para superar estas restricciones, investigaciones recientes destacan el uso de sistemas desacoplados y la mineralización de lodos de desecho, estrategias que permiten ajustar la solución nutritiva de manera independiente y optimizar la biodisponibilidad de macronutrientes sin comprometer la supervivencia biológica de los organismos acuáticos (Carrera, 2024; Ibrahim, 2023).

Dentro de la investigación de Estrada-Pérez et al. (2024) encontraron diferencias entre los sistemas evaluados. En el caso de la lechuga, la acuaponía presentó mayor producción durante el primer ciclo, mientras que en el segundo ciclo la hidroponía obtuvo mejores resultados. Para el pepino, el sistema hidropónico alcanzó un peso promedio de $212,52 \pm 18,89$ g y una longitud de $14,15 \pm 1,75$ cm. En contraste, Ibrahim (2023), señala que la acuaponía puede alcanzar eficiencias en el uso del agua de hasta 90 % frente a sistemas agrícolas convencionales. Estos resultados muestran que la principal ventaja de la acuaponía no necesariamente se refleja en un mayor rendimiento de todos los cultivos, sino también en el aprovechamiento eficiente del agua y el reciclaje de nutrientes.

En su investigación Chilán et al. (2025), obtuvieron mejores resultados con el sistema CAP frente al NFT, registrando un incremento del 18,2 % en la longitud de la lechuga y del 12,9 % en el crecimiento de la tilapia durante un periodo de 45 días. En cambio, Limón (2024), en la comuna Monteverde, Santa Elena, encontró que los sistemas NFT y SRF fueron funcionales, pero las diferencias entre ambos no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$). Estos resultados evidencian que el desempeño de los sistemas acuapónicos puede variar según su configuración y las condiciones de evaluación, por lo que no es posible establecer que un sistema sea superior en todos los contextos.

Al analizar las limitaciones metodológicas de estos trabajos, se observa que los estudios de Chilán et al. (2025) y Limón (2024) fueron desarrollados durante periodos relativamente cortos, de 45 y 57 días, respectivamente. Esto limita la evaluación del comportamiento del sistema a largo plazo. Además, los estudios revisados presentan diferencias en las especies utilizadas, las configuraciones de los sistemas y las variables evaluadas, lo que dificulta realizar comparaciones directas entre sus resultados. Escarraga (2025), por su parte, estimó un consumo energético de 14.040 kWh durante 195 días de operación, evidenciando la importancia de considerar el requerimiento energético al evaluar la sostenibilidad del sistema. Por ello, la ausencia de información económica y energética

detallada en algunos estudios constituye una limitación para determinar su rentabilidad y viabilidad para pequeños productores.

En cuanto a su aplicación en Santa Elena, la evidencia revisada resulta relevante debido a las limitaciones hídricas que caracterizan a la provincia (Burgos y Suárez, 2017; Flores y Uribe, 2023). Además, el estudio de Limón (2024), desarrollado en la comuna Monteverde, constituye una referencia de especial importancia al haber evaluado directamente un sistema acuapónico bajo condiciones de la provincia. Sin embargo, sus resultados no permiten generalizar que un determinado sistema sea el más adecuado para toda Santa Elena.

Tabla 5. Comparación de las ventajas y limitaciones identificadas en los estudios.

Autor	Principales ventajas	Principales limitaciones
Estrada-Pérez et al. (2024)	Producción simultánea de peces y hortalizas. Aprovechamiento de nutrientes provenientes de los residuos de los peces.	En algunos cultivos (pepino) la hidroponía obtuvo mayor rendimiento que la acuaponía.
Ibrahim (2023)	Ahorro de agua hasta del 90 % en comparación con sistemas agrícolas convencionales. Reciclaje eficiente de nutrientes. Contribución a la seguridad alimentaria.	Costos elevados de implementación inicial. Requiere manejo técnico especializado.
Chilán et al. (2025)	Buena calidad del agua durante el estudio. Mayor crecimiento de lechuga y tilapia en el sistema CAP.	Evaluación realizada en un periodo corto (45 días).
Limón (2024)	Ambos sistemas (NFT y SRF) fueron funcionales para el cultivo integrado de tilapia y lechuga. Alta supervivencia de peces y plantas.	No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas evaluados.
Escarraga (2025)	Uso de agua lluvia como fuente principal. Eficiencia en la calidad del agua y en la	Alto consumo energético durante la operación del sistema.

4. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió establecer que los sistemas acuapónicos se fundamentan en la interacción simbiótica entre peces, plantas y bacterias nitrificantes, la cual permite que los desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos, mediante procesos biológicos de transformación, se conviertan en nutrientes aprovechables para el crecimiento vegetal. Esta interacción constituye la base técnica y biológica fundamental que sustenta el funcionamiento sostenible de los sistemas acuapónicos.

Se concluye que la acuaponía presenta una alta eficiencia en el uso del agua debido a su sistema de recirculación, que permite reducir las pérdidas hídricas. Asimismo, los residuos orgánicos generados por los peces son transformados y aprovechados como nutrientes para el crecimiento de las plantas, favoreciendo un uso más eficiente de los recursos.

La acuaponía presenta ventajas como el ahorro de agua, el reciclaje de nutrientes, la producción simultánea de organismos acuáticos y vegetales y una menor dependencia de fertilizantes externos. Sin embargo, también presenta limitaciones relacionadas con la inversión inicial, el consumo energético y la necesidad de conocimientos técnicos. Por estas características, constituye una alternativa con potencial para zonas con limitaciones hídricas, como la provincia de Santa Elena, siempre que su implementación se adapte a las condiciones técnicas y económicas de los productores.

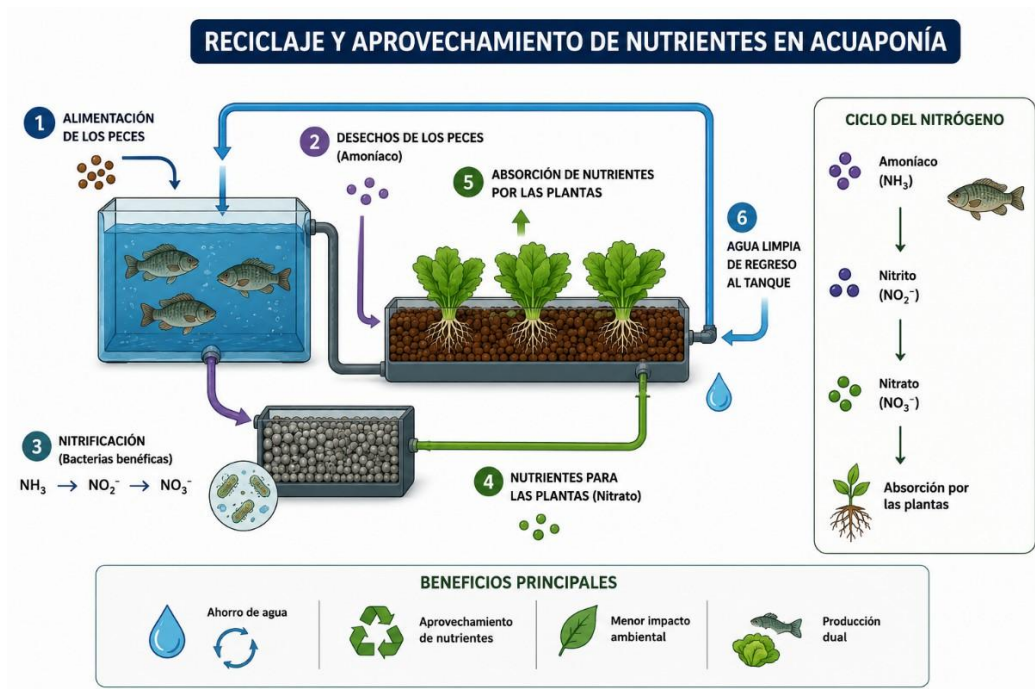
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, P., Trejo, J. y Guido, S. (2021) 'Acuaponia: Una alternativa versátil e integral en la producción de alimentos para el entorno mexicano', *Digital Ciencia@UAQRO*, 14(1), pp. 43–53.
- Briones, F. (2024) *Comparación de la Artemia franciscana y Artemia parthenogenetica implementada en la alimentación de postlarvas de camarón Penaeus vannamei en un sistema de producción*. Tesis de Grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.
- Burgos, B. y Suárez, O. (2017) 'Déficit agroalimentario de la provincia de Santa Elena', *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(2), pp. 1–8. doi:10.26423/rctu.v4i2.267.
- Burnell, G. (2015) 'Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey', *Aquaculture*, 435, pp. 67–74. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.09.002.
- Cancino, P. (2023) *Eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico, en la I.E. Coronel Cortegana – Celendín*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Cajamarca, Celendín, Perú.
- Carrera, G. (2024) *Estrategias de mineralización con residuales de sistemas biofloc y de recirculación acuícola para la integración de nutrientes en sistemas acuapónicos desacoplados*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, México.
- CEPAL (2022) *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Chilán, D., Zuñiga, L. y Yépez, M. (2025) 'Desarrollo e implementación de sistemas acuapónicos como alternativa sostenible en la parroquia Sabanilla, Guayas, Ecuador', *Revista ESPAMCIENCIA*, 16(1), pp. 22–29.
- Cifuentes, A., Leguizamón, A., Zambrano, J. y Landines, M. (2023) 'Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura', *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 70(1), pp. 1–15.
- Escarraga, P. (2025) 'Acuaponía con trucha: innovación en un modelo productivo para la sostenibilidad y sustentabilidad de territorios con escasez de agua', *Revista CIRIEC Colombia*, 3(1), pp. 65–72. doi:10.58415/revciriec.v3n1a5.
- Escobar, A. (2026) *Validación de procesos de nitrificación mediante balances de masa y eficiencia operativa en un sistema acuapónico automatizado*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Estrada-Pérez, N., Zavala-Leal, I., González-Hermoso, J.P. y Ruiz-Velazco, J.M.J. (2024) 'Comparing lettuce and cucumber production using hydroponics and aquaponic (tilapia) systems', *Latin American Journal of Aquatic Research*, 52(3), pp. 459–472. doi:10.3856/vol52-issue3-fulltext-3127.

- FAO (2020) *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020: Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fernández, C., Bravo, F. y Franco, E. (2025) 'Dinámica de nitración y asimilación foliar en sistemas acuapónicos integrados', *Revista Agroecología y Medio Ambiente*, 12(1), pp. 45–58.
- Flores, P. y Uribe, J. (2023) 'Estrategias de gestión para el mejoramiento y conservación del sistema hídrico de la provincia de Santa Elena', *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), pp. 2789–2805. doi:10.37811/cl_rcm.v7i4.7140.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. y Burnell, G. (eds.) (2019) *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponics production technologies for the future*. Cham: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-030-15943-6.
- González, V., Estrada, N. y Ruiz, J. (2025) 'Evaluación de un sistema de recirculación acuapónico y tradicional de tilapia-tomate cherry: una comparación de la producción', *Acta Pesquera*, 11(22), pp. 1–12. doi:10.60113/ap.v11i22.158.
- Huaman, C., Montoya, J. y Vidal, M. (2025) 'Un piloto de acuaponía en un municipio rural de Colombia', *Revista de Desarrollo Rural y Agrícola*, 18(2), pp. 112–126.
- Ibrahim, L. (2023) 'Aquaponics: A sustainable path to food sovereignty and enhanced water use efficiency', *Water*, 15(24), art. 4310. doi:10.33996/water15244310.
- Limón, E. (2024) *Cultivo de Oreochromis niloticus (tilapia) y Lactuca sativa (lechuga) en dos sistemas acuapónicos de tanques en el laboratorio Rosario del Mar, comuna de Monteverde*. Tesis de Grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.
- Mchunu, N., Lagerwall, G. y Senzanje, A. (2018) 'Aquaponics in South Africa: Results of a national survey', *Aquaculture Reports*, 12, pp. 12–19. doi:10.1016/j.aqrep.2018.08.001.
- Menoscal, G., Hidalgo, L., Muñoz, L. y Cabrera, J. (2026) 'Evaluación del impacto educativo de un sistema acuapónico con tilapia roja en el aprendizaje activo de bachillerato', *Alfa: Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 10(28), pp. 293–309. doi:10.33996/revistaalfa.v10i28.434.
- Moreira, M. y Alarcón, W. (2019) *Sistemas acuapónicos para el desarrollo sostenible de las zonas rurales de Manabí*. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- Naspirán, J., Rosero, F., Fukura, U. y Lasso, C. (2022) 'Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión', *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 69(1), pp. 75–95.
- Rakocy, J., Losordo, T. y Masser, M. (2006) *Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture*. SRAC Publication No. 454. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center.
- Sarfraz, U. (2020) 'Review on aquaponics system as a sustainable food production source', *LGU Journal of Life Sciences*, 4(4), pp. 128–138. doi:10.54692/lgujls.2020.0404128.

- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2014) *Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Roma: FAO.
- Troya, A. (2014) *Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en el área de influencia del Plan Hidráulico Acueducto de Santa Elena (PHASE) para consumo humano y uso agrícola*. Tesis de Maestría. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- UNEP (2021) *Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

6 ANEXOS



Anexo 1 Función del reciclaje y aprovechamiento de nutrientes

<i>Autor</i>	<i>Año</i>	<i>Justificación</i>
Rakocy et al.	2006	Referente fundamental de la acuaponía moderna
Somerville et al.	2014	Manual técnico FAO ampliamente utilizado
Burgos y Suárez	2017	Contextualización agroalimentaria de Santa Elena
Troya	2014	Contextualización hídrica de Santa Elena
Burnell	2015	Información sobre rentabilidad de sistemas acuapónicos

Anexo 2 Referencias de apoyo conceptual excluidas de la matriz