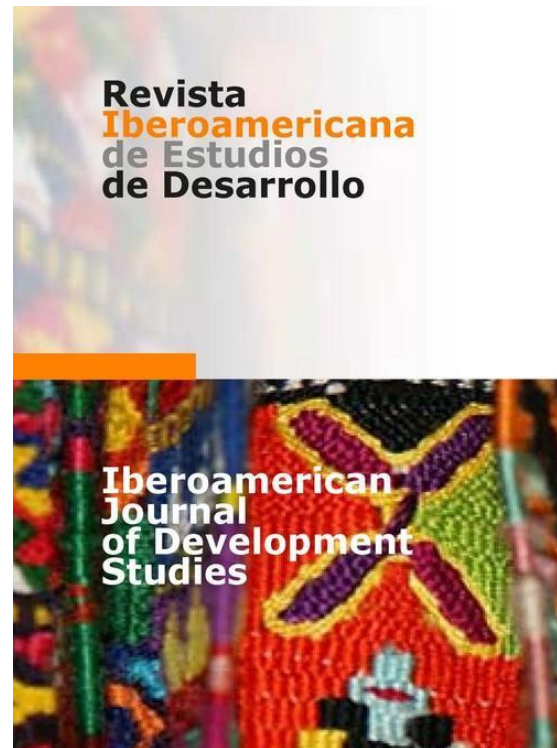

ACCEPTED MANUSCRIPT

***Adopción tecnológica en
acuicultura: revisión
sistemática de evidencia
empírica internacional***

Jorge I León-Balderrama

Yasser E. Monsiváis-Neria

Beatriz Arellano-Grajales



To appear in: Iberoamerican Journal of Development Studies

Please cite this article as: León Balderrama, J. I., Monsiváis Neria, Y. E. , & Arellano Grajales, B. (s. f.). Adopción tecnológica en acuicultura: revisión sistemática de evidencia empírica Internacional. Revista Iberoamericana De Estudios De Desarrollo = Iberoamerican Journal of Development Studies, 1-38 DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_ried/ijds.12366

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our readers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Adopción tecnológica en acuicultura: revisión sistemática de evidencia empírica internacional

Technology adoption in aquaculture: a systematic review of international empirical evidence

Jorge Inés LEÓN-BALDERRAMA
jleon@ciad.mx
Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo
(CIAD)
(México)
0000-0001-5550-6162

Yasser Enrique MONSIVAIS-NERIA
ymonsivais423@estudiantes.ciad.mx
Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo
(CIAD)
(México)
0009-0003-5777-1121

Beatriz ARELLANO-GRAJALES
barellano424@estudiantes.ciad.mx
Estudiante del Programa
de Doctorado en Desarrollo Regional
Centro de Investigación
en Alimentación y Desarrollo
(CIAD)
(México)
0009-0008-2326-1584

Resumen/Abstract

1. Introducción

2. Metodología

3. Resultados

3.1. Composición y características principales de la muestra de estudios

3.2. Tipos de tecnologías acuícolas estudiadas

3.3. Determinantes de adopción de tecnologías en la acuicultura

3.4. Barreras a la adopción de tecnologías

3.5. Facilitadores de la adopción de tecnologías acuícolas

3.6. Efectos/resultados de la adopción tecnológica en la acuicultura

3.7. Integración de tecnología, determinantes y tipo de productor

- 4. Discusión**
- 5. Conclusiones**
- 6. Bibliografía**

Recepción/received: 3.10.2025 Aceptación/accepted: 12.4.2026

Resumen

La innovación tecnológica se ha convertido en un eje estratégico para el desarrollo de la acuicultura, pero su adopción presenta importantes desigualdades entre regiones y tipos de productores. En este artículo, se ofrece una revisión de 45 estudios empíricos publicados entre 2018 y 2025, con el fin de identificar patrones globales de adopción tecnológica y sintetizar sus determinantes, barreras, facilitadores y efectos. La principal contribución del estudio es integrar el análisis de factores técnicos y económicos con dimensiones institucionales, sociales y culturales, incorporando además el papel de las redes de innovación como elemento transversal. Los hallazgos evidencian que las políticas y programas de extensión no pueden ser homogéneos, sino diferenciados según la escala productiva y el contexto territorial. Esta revisión aporta insumos prácticos para orientar en la formulación de políticas públicas, fortalecer estrategias de extensión y diseñar intervenciones que promuevan sostenibilidad, resiliencia y seguridad alimentaria en el sector acuícola.

Palabras clave: adopción de tecnologías acuícolas, determinantes, biofloc, recirculación, sostenibilidad.

Abstract

Technological innovation has become a strategic driver for the development of aquaculture; yet its adoption reveals significant disparities across regions and types of producers. This article presents a systematic review of 45 empirical studies published between 2018 and 2025, aimed at identifying global adoption patterns and synthesizing determinants, barriers, facilitators, and effects. The main contribution of this study is the integration of technical and economic factors with institutional, social, and cultural dimensions, while also incorporating the role of innovative networks as a transversal element. Findings show that policies and extension programs cannot be homogeneous but must be tailored to production scale and territorial context. This review provides practical insights to guide public policy design, strengthen extension strategies, and shape interventions that foster sustainability, resilience, and food security in the aquaculture sector.

Keywords: adoption of aquaculture technologies, determinants, biofloc, recirculation, sustainability.

Introducción

En las últimas décadas, la acuicultura se ha consolidado como el sector alimentario de más rápido crecimiento a nivel global, aportando aproximadamente el 50 % del pescado y marisco destinado al consumo humano (FAO 2022). Este crecimiento responde al incremento sostenido en la demanda de proteínas acuáticas y a la sobreexplotación de las pesquerías silvestres, lo que ha generado un escenario en el que la innovación tecnológica se presenta como un eje estratégico para garantizar la sostenibilidad, eficiencia y resiliencia del sector (FAO 2022, Gupta *et al.* 2024). En los años recientes, en la bibliografía se ha registrado un interés en aumento por un grupo de tecnologías emergentes en acuicultura con las que se trata de afrontar al mismo tiempo los desafíos productivos y medioambientales del sector. La automatización de la alimentación, los sistemas de recirculación de agua (RAS), la tecnología biofloc, el uso de sensores inteligentes y la introducción de instrumentos de inteligencia artificial (IA) son algunas de ellas. En conjunto, estas innovaciones tienen como finalidad optimizar la eficiencia en la utilización de recursos, estabilizar los procesos de producción y disminuir el impacto medioambiental vinculado a las actividades acuícolas. La incorporación de IA y de internet de las cosas (IoT) en sistemas biofloc es un caso representativo, ya que ha posibilitado el seguimiento constante de parámetros fisicoquímicos fundamentales, lo cual tiene un impacto positivo en la conversión alimenticia y el control de la calidad del agua, con lo que estas tecnologías contribuyen a sustentar esquemas productivos más sostenibles (Alghamdi y Haraz 2025). De forma parecida, para los sistemas RAS, la automatización basada en métodos de IA ha demostrado su capacidad para prever y mejorar variables esenciales; por ejemplo, la concentración de nitratos, a través de modelos de redes neuronales híbridas (Yang *et al.* 2023).

Bajo este enfoque, la implementación de tecnologías en acuicultura no debe ser considerada un proceso meramente técnico o lineal. La interacción de factores sociales, técnicos, institucionales y socioeconómicos determina la adopción de estas prácticas; sin embargo, el peso relativo de estos elementos cambia dependiendo del contexto productivo. Algunos de estos factores funcionan como condiciones estructurales que afectan a la probabilidad de adopción, mientras que otros operan como componentes que, cuando están presentes, hacen más fácil o rápido el proceso. Entre estos últimos destacan el acceso a programas de capacitación, la participación en redes de apoyo y la

disponibilidad de recursos financieros, los cuales han sido identificados de manera recurrente como catalizadores de la adopción tecnológica en distintos contextos acuícolas (Kumar *et al.* 2023a, Orjuela-Garzón *et al.* 2024). Cabe destacar que todos los facilitadores son determinantes, pero no todos los determinantes actúan como facilitadores; algunos pueden convertirse en barreras según el contexto.

En la bibliografía revisada, se coincide en señalar que la adopción de tecnologías en acuicultura no se distribuye de manera homogénea a escala global. Por el contrario, los patrones de adopción muestran claras asimetrías asociadas al tipo de productor y al contexto organizativo en el que se desarrolla la actividad. En particular, en escenarios donde predominan productores medianos o esquemas colectivos, como asociaciones y *clusters* organizados, la disponibilidad de recursos financieros y de capacidades técnicas tiende a crear condiciones más favorables para la incorporación de tecnologías como los sistemas de RAS, la tecnología biofloc, la automatización de la alimentación y diversas herramientas digitales (Islam *et al.* 2024, Yang *et al.* 2025). Por el contrario, los pequeños productores se enfrentan a barreras económicas, como altos costes iniciales y acceso limitado a crédito, que dificultan la adopción tecnológica aun cuando las tecnologías son rentables a largo plazo. La complejidad técnica de algunas herramientas, la falta de capacitación y asistencia institucional, así como factores sociales y culturales como la resistencia al cambio y la baja participación en redes de productores, constituyen obstáculos adicionales (Kumar *et al.* 2023a, Islam *et al.* 2024). Asimismo, la disponibilidad de infraestructura, insumos de calidad y la adaptación a condiciones ambientales locales varía según la región y el tipo de cultivo, restringiendo la aplicabilidad de ciertas innovaciones.

Este panorama multidimensional subraya la necesidad de políticas integrales y estrategias de extensión que consideren simultáneamente recursos financieros, habilidades técnicas, apoyo institucional y relaciones sociales, con el fin de maximizar la difusión y el impacto de la innovación tecnológica en diferentes contextos productivos (Kumar *et al.* 2023a, Orjuela-Garzon *et al.* 2024). La bibliografía sigue exhibiendo un alto grado de fragmentación, a pesar del incremento en la cantidad de investigaciones de caso y revisiones parciales relacionadas con la adopción de tecnologías en acuicultura. La comparación sistemática de resultados es complicada, debido a que la evidencia empírica existente está diseminada entre regiones, clases de productores y enfoques tecnológicos. Además, esto restringe la capacidad para reconocer patrones generales relacionados con los factores determinantes, las barreras, los facilitadores y los impactos vinculados a la

adopción tecnológica. Desde el punto de vista académico, esta ausencia de síntesis integrada supone una carencia importante, sobre todo en un sector que se distingue por su gran diversidad territorial y productiva.

Desde un punto de vista práctico, esta fragmentación también conlleva consecuencias prácticas. La falta de una perspectiva comparativa y sistemática limita la aplicación de la evidencia empírica como insumo para la creación de políticas públicas, el desarrollo de programas acuícolas de extensión y las decisiones relacionadas con la inversión. En este contexto, una revisión sistemática de la bibliografía podría ayudar a organizar el conocimiento que ya existe y proporcionar elementos útiles para aumentar la eficacia en la producción, mejorar la sostenibilidad de los sistemas acuícolas y reforzar su aporte a la seguridad alimentaria (FAO 2022, Gupta *et al.* 2024).

Este análisis se encuentra, desde una visión teórica, dentro de enfoques en los que se conciben los procesos de adopción de innovaciones en el marco de los sistemas de innovación. En estos enfoques, se admite que la difusión de tecnologías es el producto de interacciones complejas entre elementos económicos, sociales, institucionales y técnicos. La revisión sugiere, en este contexto, un marco de análisis integrador, donde se enlazan los determinantes, las barreras, los facilitadores y las consecuencias de la adopción tecnológica en acuicultura; también se incluye el rol transversal de las redes de innovación y de las dinámicas organizacionales. Al proporcionar una interpretación contextualizada y multidimensional de los procesos de adopción en sistemas acuícolas diversos, este enfoque ayuda a expandir las aproximaciones convencionales, enfocadas únicamente en variables económicas o tecnológicas.

La finalidad de este artículo es resumir y analizar sistemáticamente la evidencia empírica global sobre la adopción de tecnologías en la acuicultura. La investigación se centra en los elementos que impactan en estos procesos, las barreras y facilitadores detectados en la bibliografía, además de los impactos económicos, productivos, sociales y medioambientales que se han registrado. Se examinan las distinciones en los modelos de adopción entre distintas clases de tecnología y escalas de producción desde un enfoque integrador, con la finalidad de ofrecer aportaciones teóricas y analíticas significativas para la discusión académica, así como insumos que sirvan para crear políticas públicas y estrategias de extensión más adaptadas a las particularidades territoriales y productivas.

Metodología

Con el propósito de ordenar y evaluar la evidencia empírica existente en torno a la adopción de tecnologías en acuicultura, se realizó un estudio basado en una revisión sistemática de la bibliografía. Se optó por este enfoque debido a la necesidad de integrar resultados provenientes de contextos productivos variados, diferentes escalas de producción y un amplio espectro de tecnologías. Estas características son difíciles de captar a través de análisis individuales o estudios aislados. A través de esta estrategia, fue posible identificar regularidades, así como contrastes relevantes, asociados a factores socioeconómicos, institucionales, tecnológicos y territoriales que influyen en los procesos de adopción tecnológica.

Más que estimar efectos promedio, el diseño metodológico se orientó a una síntesis comparativa e interpretativa de los estudios seleccionados, con el propósito de comprender cómo interactúan los distintos determinantes, barreras y facilitadores en contextos acuícolas heterogéneos. Este enfoque permitió articular una lectura integrada de hallazgos dispersos en la bibliografía y ofrecer una visión más amplia de los efectos productivos, económicos, sociales y ambientales asociados a la adopción tecnológica. La revisión se condujo siguiendo lineamientos reconocidos para revisiones sistemáticas, con el objetivo de asegurar un proceso transparente y replicable (Moher *et al.* 2009, Page *et al.* 2021).

La búsqueda bibliográfica se realizó entre enero y abril de 2025 en bases de datos académicas internacionales de amplio uso en el campo; entre ellas, Scopus, Web of Science, AGRIS y ScienceDirect. Para maximizar la cobertura, se emplearon combinaciones de palabras clave en inglés y español relacionadas con la acuicultura (por ejemplo, *aquaculture*, *fish farming*, *shrimp farming* o *tilapia farming*), la adopción tecnológica (*technology adoption*, *innovation adoption* o *technological innovation*) y los factores asociados a estos procesos (*barriers*, *determinants*, *drivers*, *facilitators* y *outcomes*). Este procedimiento se complementó con la revisión manual de las referencias citadas en los artículos más relevantes, con el fin de identificar estudios adicionales pertinentes.

Se establecieron criterios de inclusión, donde se consideraron estudios publicados entre 2018 y 2025, de carácter empírico, centrados en la adopción de tecnologías acuícolas y que

aportaran información sobre factores determinantes, barreras, facilitadores y efectos reportados. Se excluyeron revisiones narrativas sin evidencia empírica, trabajos centrados exclusivamente en innovaciones técnicas sin referencia a procesos de adopción y literatura gris no revisada por pares. Siguiendo el protocolo Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (Prisma) en la selección de los estudios, para asegurar transparencia y reproducibilidad, se llevaron a cabo las etapas de «identificación» (*identification*), «revisión» (*screening*) e inclusión final de los estudios (Page *et al.* 2021).

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos se realizó a partir de una matriz analítica diseñada para valorar distintos aspectos considerados relevantes en investigaciones empíricas sobre adopción tecnológica. Este enfoque permitió articular una lectura integrada de hallazgos dispersos en la bibliografía y ofrecer una visión más amplia de los efectos productivos, económicos, sociales y ambientales asociados a la adopción tecnológica. En particular, se analizó la precisión con la que, en los trabajos, se definían las metas de investigación, la relevancia del diseño metodológico utilizado y su justificación apropiada, además del grado de detalle en la descripción de los criterios de selección y de la muestra. Además, se evaluó la rigurosidad del análisis de datos y la coherencia interna entre las conclusiones obtenidas y los resultados reportados, con el objetivo de garantizar una interpretación firme y comparable de la evidencia examinada. Cada criterio se evaluó con valores de «0» a «1», lo que permitió un máximo de cinco puntos por estudio.

Se extrajeron variables de cada estudio en una matriz estructurada, que contenía datos bibliográficos, clases de tecnología analizada (como biofloc, RAS, digitalización y alimentación automatizada), tipos de productos cultivados (incluyendo tilapia, salmón, camarón y moluscos) y escalas productivas (industrial, mediana, pequeña o *cluster*). Además, incluía factores facilitadores o determinantes, barreras o limitaciones, resultados y efectos de la adopción, metodología utilizada y marco teórico. Esta sistematización permitió organizar la evidencia de manera comparable y replicable, garantizando rigor metodológico.

En el análisis, se combinaron enfoques cuantitativo-descriptivo y cualitativo-interpretativo. Se realizaron conteos de frecuencia, para identificar las tecnologías más estudiadas, regiones con mayor número de investigaciones y metodologías predominantes, mientras que un análisis temático permitió sintetizar factores determinantes, barreras, facilitadores y efectos reportados. Asimismo,

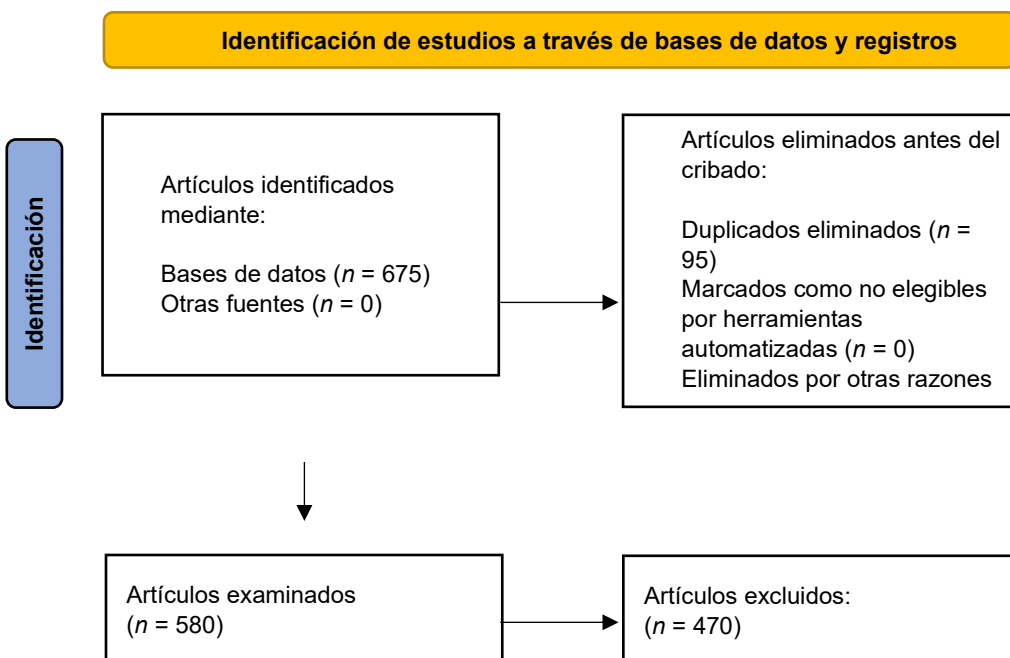
se compararon los patrones de adopción según la escala de productores y la distribución geográfica, identificando vacíos de investigación y oportunidades futuras.

3

Resultados

3.1. Composición y características principales de la muestra de estudios

Los estudios seleccionados fueron publicados entre 2018 y 2025, y seleccionados siguiendo el protocolo Prisma 2020. La búsqueda inicial arrojó un total de 675 registros, de los cuales se eliminaron 95 en un primer filtrado debido a problemas de duplicación. Los 580 restantes fueron sometidos a un proceso de *screening*, siendo eliminados un total de 479, que no cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión. De los 110 estudios «elegibles», fueron eliminados un total de 65 en un segundo filtrado. Se excluyeron revisiones narrativas sin evidencia empírica, trabajos centrados exclusivamente en innovaciones técnicas sin referencia a procesos de adopción y literatura gris no revisada por pares. De esta forma, quedaron un total de 45 estudios pertinentes para el análisis (figura 1).



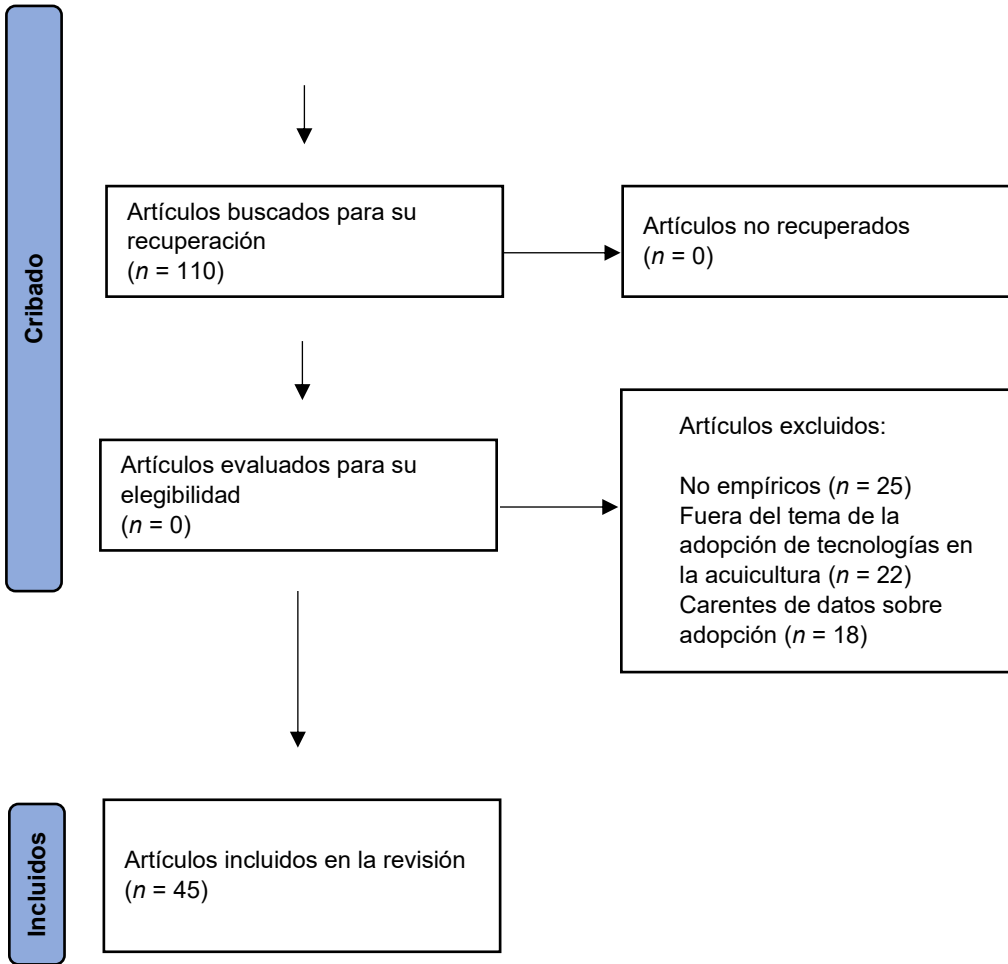


Figura 1

Diagrama de flujo Prisma 2020 del proceso de selección de estudios

Fuente: elaboración propia.

Esta revisión incluye investigaciones que cubren una amplia variedad de perspectivas metodológicas y contextos geográficos. Esto evidencia la diversidad con la que se ha tratado en los estudios recientes la adopción de tecnología en acuicultura. Desde una perspectiva temporal, se nota un incremento significativo en la cantidad de publicaciones desde 2020, especialmente las enfocadas en prácticas con las que se busca la sostenibilidad y en la adopción tecnológica. Este crecimiento indica que existe un interés en aumento por innovar en sistemas acuícolas semiintensivos e intensivos, en un escenario mundial con presiones ambientales y productivas más altas.

En lo que respecta a las aproximaciones metodológicas, se destacan los estudios cuantitativos, donde se utilizan análisis estadísticos de datos obtenidos en el terreno, experimentos controlados o encuestas. Sin embargo, en una fracción significativa de la bibliografía, se unen métodos cualitativos y cuantitativos, lo que ha hecho posible indagar no únicamente en variables estructurales, como los factores socioeconómicos, técnicos e institucionales, sino también en aspectos menos palpables, relacionados con percepciones, prácticas sociales y dinámicas de red. Este empleo de métodos mixtos es particularmente relevante para examinar los procesos de adopción tecnológica en una variedad de productores, que incluyen desde agricultores pequeños hasta medianos y estructuras organizativas, como *clusters* o asociaciones.

En cuanto a la calidad metodológica, la mayor parte de los estudios recibió la calificación más alta en la matriz de calidad empleada, lo que sugiere que estos diseños son sólidos, las muestras están bien descritas y los métodos analíticos están documentados con precisión. Un número reducido de trabajos obtuvo puntuaciones ligeramente inferiores, sin que ello reste valor a la información que aportan, ya que continúan ofreciendo evidencia relevante para comprender los procesos de adopción tecnológica analizados (tabla 1).

Desde el punto de vista geográfico, la evidencia empírica se concentra principalmente en países de Asia, África y América Latina. En Asia destacan estudios realizados en Bangladés, India, Vietnam, China y Myanmar; en África, investigaciones desarrolladas en Nigeria, Ghana y Egipto y, en América Latina, trabajos centrados en países como México y Chile. Esta concentración regional responde, en buena medida, a la importancia estratégica que la acuicultura tiene en estos contextos como fuente de ingresos, empleo y seguridad alimentaria, y ofrece un marco adecuado para comparar patrones de adopción tecnológica bajo diferentes condiciones socioeconómicas, productivas y ambientales.

En conjunto, el corpus analizado proporciona una base empírica sólida para examinar la adopción tecnológica en acuicultura desde múltiples dimensiones. La diversidad de contextos, metodologías y escalas productivas permite identificar regularidades a nivel global, así como diferencias contextuales relevantes, y evaluar de manera comparativa los efectos productivos, económicos, sociales y ambientales asociados a la incorporación de innovaciones tecnológicas en el sector.

Estudio	Cultivo	Productor	País	Diseño	Q
---------	---------	-----------	------	--------	---

Joffre <i>et al.</i> (2018)	Camarón	Peq.	Vietnam	Cuantitativo	5
Amankwah y Quagraine (2019)	Tilapia	Peq./Med.	Ghana	Mixto	5
Diedrich <i>et al.</i> (2019)	Policultivo	Peq.	Indonesia	Cualitativo	5
Obiero <i>et al.</i> (2019)	Camarón	Med.	Kenia	Cuantitativo	5
Oparinde (2019)	Camarón	Peq.	Nigeria	Cuantitativo	5
Adetomiwa y Yesufu (2020)	Tilapia	Peq.	Nigeria	Cuantitativo	5
Aswathy y Joseph (2020)	Camarón	C./A.	India	Cualitativo	5
Betanzo-Torres <i>et al.</i> (2020)	Trucha	Peq.	México	Mixto	5
Joffre <i>et al.</i> (2020)	Camarón	Peq.	Vietnam	Cuantitativo	5
Karim <i>et al.</i> (2020)	Tilapia	Med.	Myanmar	Cuantitativo	5
Onuche <i>et al.</i> (2020)	Policultivo	Peq.	Nigeria	Cualitativo	5
Albers <i>et al.</i> (2021)	Moluscos	Peq./A.	Chile	Cualitativo	4
N'souvi <i>et al.</i> (2021)	Camarón	Med.	China	Cuantitativo	5
Ovharhe <i>et al.</i> (2021)	Tilapia	Peq.	Nigeria	Cuantitativo	4
Adegbola <i>et al.</i> (2022)	Camarón	C./A.	Benín	Cualitativo	4
Boateng <i>et al.</i> (2022)	Policultivo	Peq.	Ghana	Cuantitativo	5
Haque <i>et al.</i> (2022)	Camarón	Med.	Bangladés	Mixto	4
Ouko <i>et al.</i> (2022)	Tilapia	Peq.	Kenya	Cuantitativo	5
Sunny <i>et al.</i> (2022)	Camarón	Peq.	Bangladés	Cualitativo	5
Yu <i>et al.</i> (2022)	Moluscos	A.	China	Cuantitativo	4
Abdel-Hady y Haggag (2023)	Policultivo	Peq.	Egipto	Cuantitativo	4
Aung <i>et al.</i> (2023)	Camarón	Med.	Myanmar	Cualitativo	5
Awuor <i>et al.</i> (2023)	Tilapia	Peq.	Kenia	Cuantitativo	5
Cheruiyot y Adhiaya (2023)	Camarón	Peq./Med.	Kenia	Cuantitativo	5
Lan <i>et al.</i> (2022)	Trucha	Peq.	China	Cuantitativo	5
Larson <i>et al.</i> (2023)	Tilapia	Peq.	Samoa	Cualitativo	4
Mboya <i>et al.</i> (2023)	Camarón	A.	Kenia	Mixto	5
Rahman <i>et al.</i> (2023)	Policultivo	Peq.	Bangladés	Cuantitativo	5
Simon <i>et al.</i> (2023)	Tilapia	Peq./Med.	Chile	Cualitativo	4
Tarunamulia <i>et al.</i> (2023)	Camarón	Med.	Indonesia	Cuantitativo	5
Wang <i>et al.</i> (2023)	Moluscos	A.	China	Cualitativo	4
Zornu <i>et al.</i> (2023)	Policultivo	Peq.	Ghana	Cuantitativo	4
Achom (2024)	Camarón	C./A.	Kenia	Mixto	5
Casinillo <i>et al.</i> (2024)	Tilapia	Peq.	Filipinas	Cuantitativo	5
De Vries <i>et al.</i> (2024)	Policultivo	Peq.	Bangladés	Cualitativo	5
Dompreh <i>et al.</i> (2024)	Camarón	Med.	Bangladés	Cuantitativo	4
Islam <i>et al.</i> (2024)	Trucha	Peq.	Bangladés	Cualitativo	5

Kasozi <i>et al.</i> (2024)	Tilapia	Peq./Med.	Uganda	Cuantitativo	4
Tun Oo <i>et al.</i> (2024)	Camarón	A.	Myanmar	Cualitativo	4
Yang y Wang (2024)	Moluscos	Peq.	China	Cuantitativo	4
Chowdhury <i>et al.</i> (2025)	Tilapia	Peq.	Canadá	Cuantitativo	5
Haque <i>et al.</i> (2025)	Camarón	Peq.	Bangladés	Cualitativo	5
Mdoe <i>et al.</i> (2025)	Policultivo	Peq.	Tanzania	Cuantitativo	5
Peñalosa-Martinell <i>et al.</i> (2025)	Camarón	Peq./Med.	México	Mixto	4
Terreros-Ponce (2025)	Tilapia	Peq.	Ecuador	Cuantitativo	4

Notas: P, pequeños; M, medianos; C, *clusters*; A, asociaciones; Q, calidad.

Tabla 1

Composición de la muestra de estudios seleccionados para la revisión

Fuente: elaboración propia.

3.2. Tipos de tecnologías acuícolas estudiadas

El análisis de los estudios incluidos permitió agrupar las tecnologías abordadas en la bibliografía en seis grandes categorías, que reflejan los principales ejes a través de los cuales se ha estudiado la adopción tecnológica en la acuicultura (tabla 2). Los sistemas de manejo y producción (biofloc, RAS, sistemas integrados de acuicultura, IAS por sus siglas en inglés y el policultivo) son los más estudiados y se asocian con mejoras en productividad y eficiencia de recursos. Su adopción se concentra en Asia y África (Joffre *et al.* 2018, Obiero *et al.* 2019, Karim *et al.* 2020), con experiencias incipientes en América Latina (Betanzo-Torres *et al.* 2020).

Las buenas prácticas de acuicultura (GAP, por sus siglas en inglés) destacan por su bajo coste y facilidad de implementación, constituyendo un punto de partida hacia innovaciones más complejas (Oparinde 2019, Aswathy y Joseph 2020). De manera similar, con las tecnologías de alimentación y nutrición, se busca optimizar dietas y reducir impactos ambientales, con evidencias positivas en pequeños productores y esquemas colectivos (Amankwah y Quagrainie 2019, Ouko *et al.* 2022).

La digitalización y la automatización de los sistemas acuícolas (incluyendo el uso de sensores e IA) se observan principalmente en productores medianos y en esquemas colectivos, como asociaciones o *clusters* (Lan *et al.* 2022, Chowdhury *et al.* 2025). Menos frecuentes son las

innovaciones en procesamiento y poscosecha, aunque relevantes para reducir pérdidas y acceder a mercados (Adetomiwa y Yesufu 2020, Mboya *et al.* 2023).

Finalmente, las tecnologías de sostenibilidad y adaptación climática se concentran en regiones expuestas a riesgos ambientales, reforzando la resiliencia productiva (Adegbola *et al.* 2022, Mdoe *et al.* 2025). En síntesis, los estudios muestran que los pequeños productores tienden a innovaciones de bajo coste, mientras que los medianos y asociaciones adoptan tecnologías intensivas en capital, apoyados en redes que facilitan la difusión de conocimiento (Joffre *et al.* 2020, Albers *et al.* 2021).

Categoría de tecnología	Ejemplos de innovaciones	Tipo de productor	Cultivos principales	Estudios (n)
Manejo y producción	Biofloc, RAS, IAS, policultivo	Pequeños y medianos	Camarón, tilapia, bagre	15
Buenas prácticas de acuicultura (GAP)	Protocolos sanitarios, bioseguridad, estandarización de procesos	Principalmente pequeños	Tilapia, camarón, policultivo	5
Alimentación y nutrición	Dietas balanceadas, ingredientes alternativos, alimentación adaptativa	Pequeños	Tilapia, camarón	3
Digitalización y automatización	Sensores IoT, monitoreo remoto, IA	Medianos y asociaciones	Tilapia, camarón	2
Procesamiento y poscosecha	Refrigeración, conservación, empaques	Pequeños y medianos	Bagre, tilapia	3
Sostenibilidad y adaptación climática	Prácticas resilientes al clima, manejo eficiente del agua	Pequeños y medianos	Tilapia, camarón, policultivo	7
Sistemas de innovación y redes	Redes de productores, <i>clusters</i> , cooperativas	Pequeños y medianos	Camarón	5

Tabla 2

Tipo de tecnología acuícola estudiada

Fuente: elaboración propia.

3.3. Determinantes de adopción de tecnologías en la acuicultura

La bibliografía académica constata que el fenómeno responde a un conjunto diverso de determinantes socioeconómicos, demográficos, tecnológicos, institucionales, sociales y culturales (tabla 3). Entre los más influyentes, destacan los factores socioeconómicos, como el ingreso, la disponibilidad de activos y el acceso a crédito, que condicionan especialmente a los pequeños productores en la implementación de innovaciones como biofloc o sistemas de recirculación (Amankwah y Quagraine 2019, Betanzo-Torres *et al.* 2020). En productores medianos, estos factores siguen siendo relevantes, aunque la mayor capacidad de inversión propia permite superar parcialmente las limitaciones (Lan *et al.* 2022).

La evidencia revisada sugiere que determinados rasgos demográficos influyen de manera significativa en la disposición de los productores a incorporar nuevas tecnologías. En particular, factores como la edad, el grado de educación y la experiencia anterior están relacionados con distintos modos de adopción. Los productores más jóvenes y con mayor educación tienden a tener una postura más positiva con respecto a los procesos de digitalización y automatización. Por otro lado, la experiencia obtenida en el ámbito productivo parece favorecer la adopción de prácticas tecnológicamente más avanzadas, al disminuir la incertidumbre vinculada a su implementación (Diedrich *et al.* 2019, Awuor *et al.* 2023).

Al mismo tiempo, las características propias de las tecnologías desempeñan un rol fundamental en la toma de decisiones. Según la bibliografía, los elementos que inciden directamente en la adopción son: la compatibilidad con las prácticas productivas actuales, la evidencia concreta de beneficios y el hecho de percibir que es fácil de usar. En esta línea, los productores pequeños tienden a preferir innovaciones económicas y de rápida adopción, mientras que los medianos y las organizaciones colectivas presentan una mayor habilidad para integrar instrumentos más complejos, como sistemas de RAS o sensores digitales (Obiero *et al.* 2019, Chowdhury *et al.* 2025).

Por otra parte, los factores institucionales se destacan como un componente esencial, particularmente en contextos de menor escala. El acceso a la formación, el soporte técnico constante y la implicación en programas de extensión ayudan a disminuir las diferencias de información y a robustecer las competencias requeridas para adoptar tecnología. Según diferentes investigaciones, estos respaldos son esenciales para facilitar la adopción de innovaciones en unidades productivas con recursos escasos (Joffre *et al.* 2018, Cheruiyot y Adhiaya 2023). Por otro lado, en los productores más grandes, estos apoyos desempeñan un papel más complementario.

Por último, los factores sociales y culturales (entre los que se encuentran la confianza entre pares, la pertenencia a asociaciones y las costumbres productivas) tienen un impacto considerable. La participación en redes posibilita que el conocimiento se transfiera y disminuye la percepción del riesgo (Zornu *et al.* 2023, Albers *et al.* 2021), pero las prácticas tradicionales pueden demorar la adopción de innovaciones en algunos escenarios (Oparinde 2019).

En conjunto, los estudios muestran que la adopción de tecnologías en el sector depende de un equilibrio entre factores universales (socioeconómicos y tecnológicos) y factores contextuales (demográficos, institucionales y culturales) que varían según la escala del productor y el entorno regional. Esta evidencia refuerza la idea de que la adopción no responde a un modelo único, sino a configuraciones diferenciadas de determinantes que condicionan tanto la viabilidad como los beneficios potenciales de las innovaciones acuícolas (Kumar *et al.* 2018).

Categoría de determinante	Aspectos clave	Tipo de productor más afectado	Ejemplos de tecnologías	Estudios (n)
Socioeconómicos	Ingresos, activos, acceso a crédito	Pequeños y medianos	Biofloc, GAP, RAS	18
Demográficos	Edad, educación, experiencia, género	Principalmente pequeños	Biofloc, GAP	7
Tecnológicos	Facilidad de uso, compatibilidad, coste, evidencia de beneficios	Todos, mayor relevancia en medianos y asociaciones	Digitalización, RAS, biofloc	20
Institucionales / Extensión	Capacitación, asistencia técnica, apoyo institucional	Principalmente pequeños	Biofloc, GAP, manejo ambiental	12
Sociales / Redes	Asociaciones, cooperativas, confianza entre pares	Pequeños y medianos	Redes de innovación, GAP	8
Culturales	Tradiciones, creencias, aversión al riesgo	Principalmente pequeños	Prácticas tradicionales de cultivo	4

Tabla 3

Determinantes de la adopción de tecnologías acuícolas, según tipo de productor y tecnología

Fuente: elaboración propia.

3.4. Barreras a la adopción de tecnologías

Los productores acuícolas se enfrentan a múltiples barreras a la hora de adoptar o implementar nuevas tecnologías, especialmente los productores pequeños y medianos. Las más frecuentes son las económicas y financieras, vinculadas al elevado coste de tecnologías intensivas en capital como biofloc y RAS, así como el acceso restringido a crédito y subsidios (tabla 4). Estas limitaciones han sido ampliamente documentadas en Asia, África y América Latina, donde condicionan la viabilidad de la difusión de innovaciones entre los productores, incluso cuando se trata de tecnologías con beneficios probados a largo plazo (Amankwah y Quagrainie 2019, Betanzo-Torres *et al.* 2020).

Las barreras técnicas se refieren a la complejidad de operación, la falta de insumos y la incompatibilidad con prácticas locales. Aunque afectan a todos los tipos de productores, los pequeños muestran mayor vulnerabilidad por limitaciones en formación y recursos (Obiero *et al.* 2019, Aswathy y Joseph 2020).

Un tercer grupo corresponde a las barreras de conocimiento y capacitación, que incluyen la falta de formación técnica y la ausencia de programas de extensión. En unidades productivas de pequeña escala, la combinación de estas limitaciones tiende a afectar no solo a la comprensión de los beneficios potenciales de las innovaciones, sino también a su implementación efectiva en las condiciones reales de producción (Joffre *et al.* 2018, Albers *et al.* 2021).

Las barreras institucionales y políticas, como trámites burocráticos, ausencia de programas de certificación o apoyos insuficientes, reducen las oportunidades de adopción, particularmente en países en desarrollo (Cheruiyot y Adhiaya 2023, Dompok *et al.* 2024).

En la bibliografía, también se pone de relieve la influencia de barreras de carácter sociocultural en los procesos de adopción tecnológica. Factores como la resistencia al cambio o la persistencia de prácticas productivas tradicionales pueden dificultar la incorporación de innovaciones, especialmente en comunidades donde los niveles de confianza entre pares son bajos y los mecanismos de aprendizaje colectivo están poco desarrollados (Oparinde 2019, Zornu *et al.* 2023). En estos contextos, la adopción tecnológica suele percibirse como un riesgo adicional más que como una oportunidad, lo que ralentiza o incluso bloquea los procesos de cambio.

Junto a estas dimensiones sociales, los factores ambientales aparecen de manera recurrente como obstáculos relevantes para la adopción tecnológica, en particular en unidades productivas de

pequeña escala. La evidencia revisada hace referencia a condiciones que escapan, en gran medida, al control directo de los productores y que inciden en la estabilidad de los sistemas acuícolas, como la presencia de enfermedades, la variabilidad climática o las limitaciones en la infraestructura física básica. Deficiencias en el abastecimiento de agua, el suministro de energía o los sistemas de saneamiento no solo afectan al desempeño productivo, sino que también incrementan la incertidumbre asociada a la introducción de nuevas tecnologías.

Si bien este tipo de restricciones puede encontrarse en distintos contextos productivos, su efecto resulta particularmente intenso en pequeños productores. La menor capacidad de inversión, la limitada gestión del riesgo y las reducidas posibilidades de adaptación tecnológica amplifican el impacto de estas barreras, restringiendo de manera diferenciada las oportunidades de adopción y profundizando en las brechas existentes frente a unidades productivas de mayor escala.

Categoría de barrera	Aspectos clave	Tipo de productor más afectado	Ejemplos de tecnologías	Estudios (n)
Económicas	Alto coste inicial, acceso limitado a crédito/subsidios	Pequeños y medianos	Biofloc, RAS, GAP	16
Técnicas	Complejidad de operación, falta de insumos, incompatibilidad	Todos; más críticos en pequeños	RAS, biofloc, GAP	18
Conocimiento	Escasa formación técnica, asesoría insuficiente	Principalmente pequeños	Biofloc, GAP, nutrición	12
Institucionales	Trámites, ausencia de programas de extensión/certificación	Pequeños y medianos	GAP, manejo ambiental	10
Socioculturales	Resistencia al cambio, prácticas tradicionales, baja confianza	Principalmente pequeños	GAP, prácticas locales	6

Tabla 4

Barreras a la adopción de tecnologías acuícolas por tipo de productor

Fuente: elaboración propia.

3.5. Facilitadores de la adopción de tecnologías acuícolas

Además de las barreras, en la bibliografía, se identifican diversos facilitadores, que incrementan la probabilidad de la adopción (tabla 5). Entre los más relevantes, destacan los factores

económicos y financieros, como el acceso a crédito, la existencia de subsidios e incentivos, que permiten afrontar, con mayor facilidad, los requerimientos de altas inversiones iniciales que conllevan las tecnologías intensivas en capital (Amankwah y Quagrainie 2019, Betanzo-Torres *et al.* 2020).

Los facilitadores técnicos también son determinantes: la compatibilidad con prácticas existentes, la facilidad de uso y la evidencia de beneficios productivos de las tecnologías favorecen la adopción, particularmente entre productores medianos y grandes, que buscan optimizar sistemas avanzados como RAS o digitalización (Obiero *et al.* 2019, Chowdhury *et al.* 2025).

En el ámbito del conocimiento, los programas de capacitación y extensión constituyen un soporte crítico, especialmente para pequeños productores que requieren acompañamiento técnico para reducir la percepción de riesgo y garantizar la correcta implementación (Joffre *et al.* 2018, Albers *et al.* 2021).

Los factores institucionales y políticos, como las políticas claras, los programas de extensión y los subsidios, refuerzan la probabilidad de adopción en contextos donde los productores cuentan con respaldo gubernamental o de agencias de desarrollo (Cheruiyot y Adhiaya 2023, Peñalosa-Martinell *et al.* 2025).

Asimismo, los facilitadores sociales y de redes (incluyendo la participación en asociaciones, cooperativas y *clusters*) contribuyen a la difusión de innovaciones, al generar confianza, intercambio de experiencias y aprendizaje colectivo (Joffre *et al.* 2020, Zornu *et al.* 2023). Finalmente, la gestión de riesgos ambientales, mediante asesoría técnica, infraestructura adecuada o programas de prevención de enfermedades, también aumenta la disposición a adoptar tecnologías, al reducir la vulnerabilidad de los sistemas acuícolas (Larson *et al.* 2023, Mdoe *et al.* 2025).

En conjunto, los estudios muestran que la adopción de nuevas tecnologías entre los productores del sector no depende únicamente de su disponibilidad, sino de la existencia de un entorno favorable, donde se combinen recursos económicos, apoyo institucional, capacitación y redes sociales, con efectos diferenciados, según la escala productiva.

Categoría de facilitador	Aspectos clave	Tipo de productor más beneficiado	Ejemplos de tecnologías	Estudios (n)
---------------------------------	-----------------------	--	--------------------------------	---------------------

Económicos	Acceso a crédito, subsidios, percepción de rentabilidad	Pequeños y medianos	Biofloc, RAS, GAP	15
Técnicos	Compatibilidad, facilidad de uso, evidencia de mejoras	Todos; más relevantes en medianos y asociaciones	RAS, digitalización, biofloc	17
Conocimiento	Capacitación, asesoría técnica, extensión	Principalmente pequeños	GAP, biofloc, nutrición	11
Institucionales	Programas de apoyo, políticas de promoción, incentivos	Pequeños y medianos	GAP, manejo ambiental	10
Sociales/redes	Asociaciones, cooperativas, <i>clusters</i> , confianza	Pequeños y medianos	Redes de innovación, GAP	9
Ambientales/riesgo	Asesoría en prevención de enfermedades, infraestructura de mitigación	Todos; mayor impacto en pequeños	Biofloc, GAP, manejo ambiental	8

Tabla 5

Facilitadores a la adopción tecnológica en la acuicultura

Fuente: elaboración propia.

3.6. Efectos/resultados de la adopción tecnológica en la acuicultura

Los efectos trascienden la productividad y la rentabilidad, alcanzando dimensiones sociales y ambientales (tabla 6). En el caso de las tecnologías de manejo y producción (biofloc, RAS e IAS), los estudios reportan incrementos significativos en rendimiento y eficiencia en el uso de recursos, lo que repercute en mayores ingresos y mejores condiciones de bienestar familiar en productores medianos y *clusters*. Además, estas tecnologías reducen la carga contaminante y contribuyen a un uso más racional del agua (Joffre *et al.* 2018, Awuor *et al.* 2023). Entre pequeños productores, los beneficios son más limitados y dependen del acompañamiento institucional (Obiero *et al.* 2019, Sunny *et al.* 2022).

Las tecnologías de alimentación y nutrición mejoran la supervivencia y el crecimiento de los cultivos, generando incrementos en la disponibilidad de alimentos y aportando a la seguridad alimentaria local. Cuando se aplican en esquemas colectivos, amplían los beneficios económicos y reducen los desperdicios (Amankwah y Quagrainie 2019, Rahman *et al.* 2023).

Las GAP son las que muestran efectos más inmediatos y transversales: mejoran ingresos, elevan la calidad y seguridad del producto, fortalecen la sostenibilidad ambiental mediante bioseguridad y reducción de impactos y tienen un efecto positivo directo en el bienestar de las familias de acuicultores (Oparinde 2019, Casinillo *et al.* 2024).

En cuanto al procesamiento y poscosecha, las innovaciones en conservación y empaque permiten la reducción de pérdidas, mejoran la calidad del alimento de origen acuícola y aumentan el acceso a mercados, con los consiguientes efectos positivos en seguridad alimentaria y generación de ingresos (Adetomiwa y Yesufu 2020, Mboya *et al.* 2023).

Las tecnologías digitales y de automatización contribuyen a la eficiencia productiva y la gestión ambiental, con impactos en bienestar a través de ingresos más estables, aunque sus beneficios se concentran en productores con mayor capacidad de inversión (Lan *et al.* 2022, Chowdhury *et al.* 2025).

Finalmente, los sistemas de innovación y redes destacan por favorecer la difusión de conocimiento, lo que fortalece la resiliencia productiva, la sostenibilidad ambiental y la equidad en el acceso a innovaciones en comunidades de pequeños productores (Joffre *et al.* 2020, De Vries *et al.* 2024).

En conjunto, los estudios muestran que las tecnologías adoptadas contribuyen a mejorar la productividad, los ingresos y el bienestar social; fortalecen la seguridad alimentaria mediante la reducción de pérdidas y la disponibilidad de proteínas acuáticas, y apoyan la sostenibilidad ambiental a través de prácticas más eficientes y resilientes.

Categoría de tecnología	Productividad/rentabilidad	Bienestar social	Seguridad alimentaria	Sostenibilidad ambiental	Estudios (n)
Manejo y producción (Biofloc, RAS, IAS)	↑ Rendimiento y eficiencia	↑ Ingresos y bienestar familiar (medianos, <i>clusters</i>)	Contribuye a disponibilidad estable del producto	↓ Impactos contaminantes; uso eficiente del agua	14
Alimentación y nutrición	↑ Crecimiento y supervivencia	↑ Ingresos moderados	↑ Disponibilidad de proteínas locales	↓ Desperdicio de alimento	7
Buenas prácticas de acuicultura (GAP)	↑ Productividad e ingresos	↑ Bienestar de hogares acuícolas	↑ Calidad y seguridad del producto	↓ Riesgos sanitarios; bioseguridad	6

Procesamiento y poscosecha	↑ Valor agregado; ↓ pérdidas	↑ Ingresos por acceso a mercados	↑ Disponibilidad y calidad del alimento	↓ Desperdicio poscosecha	4
Digitalización y automatización	↑ Eficiencia y rentabilidad	↑ Estabilidad de ingresos (medianos, <i>clusters</i>)	Impacto indirecto vía eficiencia	Optimización de parámetros ambientales	5
Sistemas de innovación y redes	↑ Difusión de tecnologías	↑ Equidad y resiliencia comunitaria	↑ Acceso compartido a innovaciones	↑ Prácticas sostenibles colectivas	5

Tabla 6

Efectos/resultados de la adopción por tipo de tecnología y tipo de productor

Fuente: elaboración propia.

3.7. Integración de tecnología, determinantes y tipo de productor

La evidencia revisada muestra que la efectividad de la adopción de tecnologías acuícolas depende de la interacción entre el tipo de tecnología, los determinantes de adopción y la escala productiva (tabla 7). En tecnologías de manejo y producción intensivos como biofloc, RAS o IAS, los pequeños productores se enfrentan a barreras críticas asociadas al coste y la complejidad técnica, lo que limita su implementación (Joffre *et al.* 2018, Adegbola *et al.* 2022). En cambio, los medianos logran beneficios moderados, gracias a un acceso parcial a financiamiento y capacitación, mientras que los *clusters* y asociaciones alcanzan un aprovechamiento óptimo mediante coordinación colectiva y difusión de conocimiento (Albers *et al.* 2021, Awuor *et al.* 2023).

En tecnologías de alimentación y nutrición, de complejidad y coste intermedio, los pequeños productores requieren apoyos institucionales para superar limitaciones de insumos, mientras que los medianos y asociaciones aprovechan mejor la capacitación y la cooperación en redes (Amankwah y Quagraine 2019, Ouko *et al.* 2022). De manera similar, las GAP se adoptan de forma relativamente homogénea en todos los tipos de productores, ofreciendo mejoras rápidas en productividad y sostenibilidad (Oparinde 2019, Islam *et al.* 2024).

En el caso de procesamiento y poscosecha, la inversión inicial y la necesidad de conocimientos técnicos representan un obstáculo para pequeños productores, mientras que, en medianos y asociaciones, la adopción es más factible, gracias a procesos de capacitación colectiva (Obiero *et al.* 2019, Betanzo-Torres *et al.* 2020).

Las tecnologías de digitalización, automatización y uso de IA evidencian una fuerte segmentación: resultan prácticamente inaccesibles para pequeños productores por su alto coste e infraestructura requerida, pero se convierten en herramientas de gran impacto para medianos y *clusters* que cuentan con capacidades técnicas y financieras (Lan *et al.* 2022, Chowdhury *et al.* 2025).

Por último, los sistemas de innovación y redes se constituyen en un facilitador transversal: los productores pequeños se benefician mediante el aprendizaje colectivo, los medianos a través de la integración tecnológica y los *clusters*, mediante la implementación colectiva y la difusión tecnológica acelerada (Joffre *et al.* 2020, De Vries *et al.* 2024).

En síntesis, los hallazgos sugieren que la escala del productor determina la forma en que interactúan los factores socioeconómicos, institucionales, tecnológicos y sociales, modulando los beneficios potenciales de cada tipo de tecnología.

Tipo de tecnología	Principales determinantes	Pequeños productores	Medianos productores	Clusters/asociaciones
Manejo y producción (Biofloc, RAS, IAS)	Costes, capacitación, complejidad técnica	Barrera crítica: alto coste y falta de habilidades	Beneficio moderado con apoyo institucional	Alta adopción, vía uso colectivo y coordinación
Alimentación y nutrición	Acceso a insumos, capacitación	Adopción limitada; requiere apoyos externos	Factible; mejora sostenida	Adopción colectiva con beneficios ampliados
Buenas prácticas de acuicultura (GAP)	Capacitación, bioseguridad, facilidad de uso	Alta adopción; beneficios rápidos	Adopción estable y rentable	Estandarización colectiva; amplia difusión
Procesamiento y poscosecha	Inversión inicial, conocimientos técnicos	Limitada por costes y formación	Factible mediante capacitación	Optimización colectiva; valor agregado

Digitalización y automatización	Capital, infraestructura, capacitación especializada	Inaccesible en la mayoría de los casos	Adopción parcial con recursos propios	Alta adopción con infraestructura compartida
Sistemas de innovación y redes	Redes de confianza, cooperación, apoyo institucional	Aprendizaje colectivo; facilita adopción	Integración tecnológica en red	Difusión acelerada y adopción conjunta

Tabla 7

Relación de tipo de tecnología, factor determinante y tipo de productor

Fuente: elaboración propia.

4

Discusión

El análisis conjunto de los estudios incluidos en esta revisión muestra que la adopción tecnológica en la acuicultura se configura a partir de una combinación diversa de prácticas e innovaciones, estrechamente vinculadas tanto a la evolución técnica del sector como a las condiciones socioeconómicas e institucionales en las que operan los productores. La evidencia revisada señala una presencia recurrente de tecnologías asociadas al manejo y a los sistemas de producción; entre ellas, la tecnología biofloc y los sistemas RAS, junto con la adopción de GAP y mejoras en los procesos de alimentación y nutrición. En comparación, las tecnologías digitales y de automatización aparecen con menor frecuencia, aunque su presencia es cada vez más visible en determinados contextos productivos. Este patrón coincide con lo reportado por revisiones previas, donde se destaca el papel central de las innovaciones orientadas a mejorar la eficiencia productiva y avanzar hacia esquemas de mayor sostenibilidad ambiental en la acuicultura contemporánea (Troell *et al.* 2014, Suyamud *et al.* 2024).

Otro aspecto que adquiere relevancia al examinar el conjunto de la evidencia es su distribución geográfica. La mayoría de los estudios empíricos se concentra en países de ingresos medios y bajos de Asia, América Latina y África, regiones donde la acuicultura cumple una función estratégica en términos de seguridad alimentaria y generación de medios de vida rurales. De manera

complementaria, también se identifican investigaciones realizadas en países de ingresos altos, caracterizados por sistemas acuícolas intensivos y altamente tecnificados. Esta heterogeneidad territorial resulta clave para interpretar los patrones de adopción observados, ya que las capacidades económicas, institucionales y tecnológicas varían de forma sustantiva entre contextos nacionales. Esta heterogeneidad geográfica resulta clave para interpretar los patrones de adopción tecnológica observados, ya que la capacidad económica, el nivel de desarrollo institucional y la disponibilidad de infraestructura condicionan tanto el tipo de tecnologías adoptadas como la velocidad y profundidad de su incorporación. En contextos de menor desarrollo económico, predominan innovaciones de bajo coste y fácil implementación, mientras que, en países con mayores niveles de capitalización e institucionalidad, se observa una mayor adopción de tecnologías intensivas en capital y conocimiento, como los RAS, la automatización y las herramientas digitales.

Un aporte distintivo de este estudio es la incorporación explícita de los sistemas de innovación y redes como categoría analítica en el análisis de la adopción tecnológica. A diferencia de revisiones centradas principalmente en tecnologías productivas específicas, esta aproximación reconoce que redes de productores, asociaciones, *clusters* y plataformas de intercambio funcionan como estructuras organizativas que facilitan la cooperación, la confianza y la transferencia de conocimiento, incrementando la probabilidad de adopción, especialmente entre pequeños productores con recursos limitados (Joffre *et al.* 2018, Diedrich *et al.* 2019, Joffre *et al.* 2020). Esta evidencia coincide con la bibliografía sobre innovación agrícola y acuícola, donde destacan el aprendizaje colectivo y la interacción social como componentes clave de los procesos de difusión tecnológica (Kaminski *et al.* 2020, Montes de Oca-Munguía *et al.* 2021).

El examen de la evidencia empírica sugiere que los procesos de adopción tecnológica están mediados por la interacción de múltiples determinantes, entre los que destacan factores socioeconómicos e institucionales. Variables como el «nivel educativo», la «disponibilidad de capital» y la «experiencia productiva» se combinan con el acceso a capacitación, asistencia técnica y programas de extensión para configurar condiciones más o menos favorables a la adopción. La formación técnica y el acceso a financiación son importantes en estos procesos, porque disminuyen la incertidumbre relacionada con la adopción de nuevas tecnologías, como se ha indicado en varios estudios (Amankwah *et al.* 2018, Kumar *et al.* 2018, Feyisa 2020). Sin embargo, la importancia relativa de estos factores no es constante, porque está determinada por el contexto territorial y la escala de producción en la que se llevan a cabo las actividades acuícolas. Esto respalda la

concepción de que adoptar tecnología es un fenómeno fuertemente contextualizado (Radosavljevic *et al.* 2025).

La adopción sigue siendo limitada, debido a la continuidad de barreras estructurales, particularmente en las unidades productivas de menor tamaño, lo que matiza este panorama. En la bibliografía, se mencionan frecuentemente barreras de carácter técnico, cognitivo y económico. Entre ellas, destacan los altos costes de inversión iniciales, la percepción del riesgo y la escasez de infraestructura y consejo especializado. En diferentes situaciones de América Latina, Asia y África, se han registrado estas limitaciones, que impactan especialmente en la adopción de tecnologías con un alto uso de capital, como los sistemas RAS o los biofloc. Estos hallazgos dialogan con discusiones más extensas acerca de los límites que tiene la modernización tecnológica en contextos rurales y de pequeña escala (Joffre *et al.* 2017, FAO 2020). A la vez, en algunos estudios, se propone que la unión de formas organizativas colectivas y apoyo institucional puede ayudar a mitigar estas barreras, lo que promueve trayectos de adopción más inclusivos (Kumar *et al.* 2018, Joffre *et al.* 2020).

En cuanto a resultados, las mejoras en la productividad, el incremento de la eficiencia al utilizar recursos y, en numerosas ocasiones, la disminución de los efectos sobre el medio ambiente se relacionan con la adopción tecnológica. No obstante, la distribución de estos beneficios es inequívocamente desigual. Los productores que poseen una capacidad organizativa y financiera más alta suelen apoderarse de un porcentaje más grande de los beneficios generados por la innovación, a diferencia de los productores menores, quienes tienen problemas para manejar los riesgos propios de la adopción y para hacerse cargo de los costes iniciales. Esta asimetría reproduce tensiones que han sido ampliamente registradas en la bibliografía acerca del desarrollo de actividades acuícolas y agrícolas, en la cual la innovación puede incrementar las desigualdades preexistentes, si no se implementan políticas y mecanismos de respaldo apropiados (FAO 2020, Short *et al.* 2021).

La articulación entre la naturaleza de la tecnología, el tamaño del productor y las variables que determinan la adopción posibilita una mejor comprensión del rol que desempeñan las economías de escala en la factibilidad de diferentes innovaciones. Según Kumar *et al.* (2023b), las tecnologías intensivas en capital tienden a ser más rentables y realizables en esquemas grupales o en unidades productivas medianas, mientras que los productores de menor tamaño prefieren innovaciones más baratas y fáciles de implementar, como la mejora incremental en el manejo y la

alimentación o las GAP. Estos patrones subrayan la importancia de tener enfoques distintos en cuanto a política pública y extensión, que admitan abiertamente la diversidad estructural del sector.

Finalmente, la revisión revela vacíos que permanecen en la bibliografía. A pesar del aumento de interés en la digitalización y el empleo de IA en acuicultura, los datos empíricos sobre su implementación y sus impactos en escenarios de pequeña escala continúan siendo escasos. También son pocos los estudios longitudinales que posibilitan la evaluación de efectos duraderos en términos de resiliencia ambiental, bienestar social y productividad. Al igual que antes, las dimensiones de género, sociales y territoriales siguen siendo secundarias en numerosos análisis, a pesar de ser cruciales para entender la sostenibilidad de los sistemas acuícolas. Al tratar estos vacíos, se establece una agenda prioritaria para las investigaciones futuras con un enfoque en procesos de innovación más inclusivos y contextualizados.

En general, los resultados de esta revisión posibilitan establecer un marco conceptual integrador para la adopción tecnológica en acuicultura. Este marco incluye determinantes socioeconómicos, socioculturales, institucionales y tecnológicos, que se relacionan dinámicamente con los facilitadores y las barreras. Así, se forman caminos distintos de adopción en función del contexto territorial y de la escala productiva. Desde el punto de vista de las estrategias de adopción de innovaciones y los sistemas de innovación, la incorporación tecnológica no se ajusta a un proceso lineal; más bien, sigue dinámicas coevolutivas entre estructuras organizacionales, capacidades productivas y redes del conocimiento. En este contexto, las redes de innovación y los modos asociativos surgen como instrumentos que disminuyen la incertidumbre, promueven el aprendizaje en grupo y extienden el acceso a tecnologías, sobre todo para los pequeños productores. Esta integración conceptual hace posible entender, de forma más integral, las consecuencias sociales, productivas y medioambientales de la adopción tecnológica. El marco conceptual se resume en la figura 2, donde se propone un marco analítico que puede ser valioso para dirigir investigaciones futuras y elaborar políticas públicas contextualizadas y estrategias de extensión acuícola.

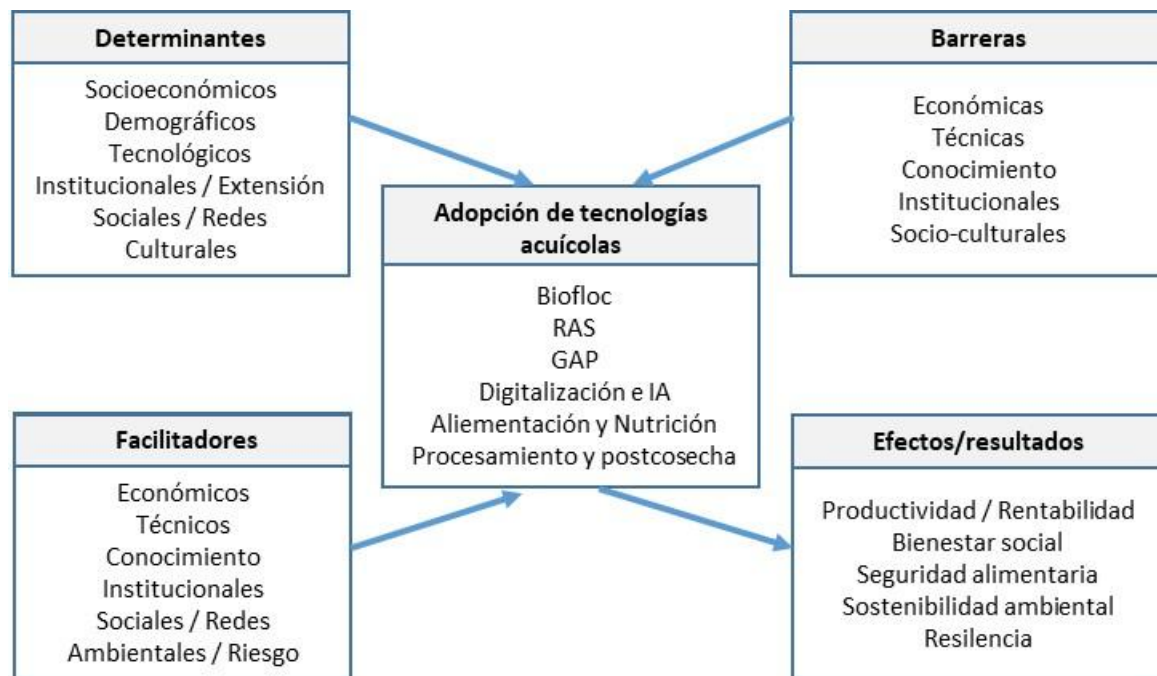


Figura 2

Marco conceptual de la adopción tecnológica en la acuicultura

Fuente: elaboración propia.

5

Conclusiones

Esta revisión de la bibliografía, fundamentada en el estudio de 45 investigaciones empíricas a nivel mundial, posibilita proporcionar una perspectiva unificada acerca de la adopción de tecnologías acuícolas y los elementos que afectan a su evolución. Las tecnologías que más se han investigado y adoptado, según la evidencia revisada, están enfocadas en los sistemas de producción y manejo, especialmente la tecnología biofloc y los sistemas de recirculación RAS. Por otro lado, las buenas prácticas acuícolas (GAP) se presentan con más regularidad como un primer camino de adopción tecnológica entre los productores pequeños. Además, las innovaciones relacionadas con la digitalización, la automatización y la implementación de IA están mostrando un potencial en

aumento, particularmente en los productores medianos y en esquemas organizativos como los *clusters* o las asociaciones.

El proceso de adopción tecnológica en la actividad acuícola es multidimensional, y los resultados muestran que tiene lugar una interacción entre elementos sociales, tecnológicos, institucionales y socioeconómicos. Patrones de adopción distintos se establecen a partir de la interacción entre el acceso a asistencia técnica, capacitación y apoyo institucional, con variables como la experiencia laboral, el nivel educativo y la disponibilidad de recursos económicos. Simultáneamente, aún existen obstáculos de infraestructura, técnicos y económicos que siguen restringiendo la adopción de innovaciones, sobre todo en unidades productivas pequeñas.

Un aspecto que emerge de manera consistente en la bibliografía revisada es el papel que desempeñan los factores sociales y organizativos. No solo ayuda a la difusión de información y al traspaso de saberes, sino que además colabora en disminuir la percepción del riesgo y aumentar las oportunidades de aceptación colectiva de tecnologías más complejas, el estar involucrado en agrupaciones, redes de productores o *clusters*. Estos hallazgos enfatizan la importancia de enfoques innovadores que vayan más allá del ámbito técnico y aprecien el valor de las dinámicas relacionales en los sistemas acuícolas.

En cuanto a sus efectos, la adopción de tecnologías se vincula con un incremento en la eficiencia del uso de recursos, una mejor productividad y progresos en términos de sostenibilidad ambiental, además de tener un impacto favorable en el bienestar social. Sin embargo, la evidencia analizada también alerta que estos beneficios no se reparten de manera uniforme. Los productores que tienen más capacidad de organización y financiera suelen obtener una parte más alta de los beneficios relacionados con la innovación, en contraste con los pequeños productores, que tienen más problemas para asumir los costes iniciales y administrar los riesgos propios de la adopción tecnológica. En particular en entornos rurales y de pequeña escala, esta situación supone retos importantes con respecto a la equidad y al acceso a la innovación.

Desde un punto de vista aplicado, los resultados indican que es necesario diseñar las políticas públicas y los programas de extensión acuícola teniendo en cuenta explícitamente la diversidad de los productores y la variabilidad de las situaciones territoriales. Para los productores de menor tamaño, es fundamental robustecer las estructuras de capacitación, asistencia técnica y financiamiento. Por su parte, entre productores medianos y estructuras asociativas, la coordinación

institucional y la transferencia de conocimiento pueden desempeñar un papel central en la adopción de tecnologías digitales y sistemas avanzados de producción.

La revisión también posibilita la detección de diversas líneas prioritarias para futuras investigaciones. La adopción de tecnologías digitales y de IA en situaciones de pequeña escala, así como sus impactos a medio y largo plazo en cuanto a sostenibilidad, resiliencia y bienestar social, todavía tiene escasa evidencia empírica. Además, el número de investigaciones longitudinales donde se analice el impacto duradero de la adopción tecnológica es todavía limitado y, en muchos estudios, las dimensiones sociales, territoriales y de género siguen siendo secundarias. Tratar estas brechas ayudará a entender de una manera más amplia y detallada los procesos innovadores en la acuicultura.

Se debe admitir como una limitación del estudio la diversidad geográfica y metodológica de los trabajos incluidos, lo que limita el rango de generalización de los hallazgos. Sin embargo, la utilización de un protocolo sistemático y de criterios claros para la selección posibilitó el desarrollo de una síntesis comparativa sólida de las pruebas disponibles. En conjunto, los hallazgos respaldan la pertinencia de enfoques integrales de política y gestión que promuevan la adopción tecnológica en acuicultura, atendiendo de manera simultánea los desafíos productivos, sociales y ambientales a los que se enfrenta el sector.

6

Bibliografía

ABDEL-HADY MM, HAGGAG SM (2023). Analyzing Ownership Models and Their Effects on Aquaculture Productivity in Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries* 27(5):1051-1095. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2023.323733>.

ADEGBOLA YP, CRINOT GF, AROUNA A (2022). Fish farming systems diversity and implications in the Republic of Benin: fish farm types and their economic performance. *Aquaculture, Fish and Fisheries* 2(6):522-539. <https://doi.org/10.1002/aff2.79>.

ACHOM BE (2024). Drivers of adoption of multiple sustainable aquaculture technologies among smallholder fish farmers in the Lake Victoria basin region, Kenya. Tesis doctoral. Strathmore University.

- ADETOMIWA K, YESUFU OA (2020). Determinants of adoption of improved processing technology among catfish producer-processors in Southwestern Nigeria. *Food & Agrribusiness Management (FABM)* 1(2):94-99. <http://doi.org/10.26480/fabm.02.2020.94.99>.
- ALBERS HJ, BAQUEDANO M, CHÁVEZ C, DRESDNER J, YUBINI K (2021). Opportunities and challenges for small-scale aquaculture: the stakeholders' perspective in Los Lagos Region, Chile. *International Journal of Agriculture and Natural Resources* 48(3):259-287. <https://revistacienciapolitica.uc.cl/index.php/ijanr/article/view/48937>, acceso 24 de septiembre de 2025.
- ALGHAMDI M, HARAZ YG (2025). Smart Biofloc Systems: Leveraging Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) for Sustainable Aquaculture Practices. *Processes* 13(7):2204. <https://doi.org/10.3390/pr13072204>.
- AMANKWAH AA, QUAGRANIE KK (2019). Aquaculture feed technology adoption and smallholder household welfare in Ghana. *Journal of the World Aquaculture Society* 50(4):827-841. <https://doi.org/10.1111/jwas.12544>.
- AMANKWAH A, QUAGRANIE KK, PRECKEL PV (2018). Impact of aquaculture feed technology on fish income and poverty in Kenya. *Aquaculture Economics & Management* 22(4):410-430. <https://doi.org/10.1080/13657305.2017.1413689>.
- ASWATHY N, JOSEPH I (2020). A logit analysis of the factors affecting cage fish farming adoption decisions in the southwest coast of India. *Current Journal of Applied Science and Technology* 39(40):29-34. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i4031109>.
- AUNG YM, KHOR LY, TRAN N, AKESTER M, ZELLER M (2023). The impact of sustainable aquaculture technologies on the welfare of small-scale fish farming households in Myanmar. *Aquaculture Economics & Management* 27(1):66-95. <https://doi.org/10.1080/13657305.2021.2011988>.
- AWUOR FJ, MACHARIA IN, MULWA RM (2023). Adoption and intensity of integrated agriculture aquaculture among smallholder fish farmers in Kenya. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7:1181502. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1181502>.
- BETANZO-TORRES EA, PIÑAR-ÁLVAREZ MA, SANDOVAL-HERAZO LC, MOLINA-NAVARRO A, RODRÍGUEZ-MONTORO I (2020). Factors that limit the adoption of biofloc technology in aquaculture production in Mexico. *Water* 12(10):2775. <https://doi.org/10.3390/w12102775>.

- BOATENG CN, MTETHIWA A, AGYAKWAH SK (2022). Drivers of adoption intensity of pond aquaculture: the case of Ghana. *Aquaculture* 560:738597. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738597>.
- CASINILLO LF, CLAVA CA, BALES MC (2024). Modeling the Adoption of Aquaculture Technologies among the Members of 4-H Club Youth. *Canadian Journal of Family and Youth/Le Journal Canadien de Famille et de la Jeunesse* 16(1):1-15. <https://doi.org/10.29173/cjfy29978>.
- CHERUIYOT JK, ADHIAYA M (2023). Adoption of aquaculture technologies and management practices, challenges and productivity of fish-ponds in Kakamega County, Kenya. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research* 22(1):25-36. <https://doi.org/10.9734/AJFAR/2023/v22i1563>.
- CHOWDHURY A, KABIR KH, MCQUIRE M, BUREAU DP (2025). The dynamics of digital technology adoption in rainbow trout aquaculture: exploring multi-stakeholder perceptions in Ontario using Q methodology and the theory of planned behaviour. *Aquaculture* 594:741460. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741460>.
- DE VRIES CC, DEBROT AO, AHSAN MN, SARWER RH, AHMED MU, GROENEVELD RA (2024). Drivers of adoption for integrated mangrove aquaculture: its application for extensive smallholder shrimp farmers in Bangladesh. *Ocean y Coastal Management* 259:107425. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107425>.
- DIEDRICH A, BLYTHE J, PETERSEN E, EURIGA E, FATCHIYA A, SHIMADA T, JONES C (2019). Socio-economic drivers of adoption of small-scale aquaculture in Indonesia. *Sustainability* 11(6):1543. <https://doi.org/10.3390/su11061543>.
- DOMPREH EB, MANYISE T, LOZANO-LAZO D, KHONDKER MEJ, LAM RD, ROSSIGNOLI CM (2024). Exploring the potential of decentralized extension models on the sustainability of livelihoods: a food security lens on aquaculture farmers in Bangladesh. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 8:1499081. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1499081>.
- FAO (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.

- FEYISA BW (2020). Determinants of agricultural technology adoption in Ethiopia: a meta-analysis. *Cogent food & agriculture* 6(1):1855817. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1855817>.
- GUPTA S, MAKRIDIS P, HENRY I, VELLE-GEORGE M, RIBICIC D, PAPANDROULAKIS N (2024). Recent developments in recirculating aquaculture systems: a review. *Aquaculture Research* 2024(1):1-17. <https://doi.org/10.1155/are/6096671>.
- HAQUE MI, RAHMAN M, ISLAM S, CHOWDHURY T (2025). Improved aquaculture management practices and its impact on small-scale rural aquaculture farmers in Bangladesh. *Aquaculture* 594:741459. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741459>.
- HAQUE MI, RAHMAN MA, ISLAM S, UDDIN MJ, HOSSAIN MA (2022). Aquaculture status in southern Bangladesh with special emphasis on disease-induced loss. *Dhaka University Journal of Biological Sciences* 31(2):257-271. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v31i2.60884>.
- ISLAM S, HAIDER S, SAYADAT N, RAHMAN S (2024). Adoption of modern aquaculture technologies in fish farming: the case of rural Bangladesh. *World Development Sustainability* 5:100192. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100192>.
- JOFFRE OM, KLERKX L, TRAN NDK (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agronomy for Sustainable Development* 38(3):34. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0511-9>.
- JOFFRE OM, DE VRIES JR, KLERKX L, POORTVLIET PM (2020). Why are cluster farmers adopting more aquaculture technologies and practices? The role of trust and interaction within shrimp farmers' networks in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture* 523:735181. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735181>.
- JOFFRE OM, KLERKX L, DICKSON M, VERDEGEM M (2017). How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. *Aquaculture* 470:129-148. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.020>.
- KAMINSKI AM, KRUIJSSEN F, COLE SM, BEVERIDGE MC, DAWSON C, MOHAN C..., LITTLE DC (2020). A review of inclusive business models and their application in aquaculture development. *Reviews in Aquaculture* 12(3):1881-1902. <https://doi.org/10.1111/raq.12415>.

- KARIM M, LEEMANS K, AKESTER M, PHILLIPS M (2020). Performance of emergent aquaculture technologies in Myanmar: challenges and opportunities. *Aquaculture* 519:734875. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734875>.
- KASOZI N, NAMULAWA V, ABAHO I, KWIKIRIZA G, ONDHORO C, IZAARA A..., WALAKIRA J (2024). Implementing Zonal Aquaculture Innovation Platforms in Uganda: Key Lessons Learned. *Platforms* 2(3):101-117. <https://doi.org/10.3390/platforms2030007>.
- KUMAR GK, ENGLE CR, ENGLE SM (2018). Factors driving aquaculture technology adoption. *Journal of the World Aquaculture Society* 49(3):447-460. <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>.
- KUMAR G, BHUJEL RC, AGGARWAL A, GUPTA D, YADAV A, ASJAD M (2023a). Analyzing the barriers for aquaponics adoption using integrated BWM and fuzzy DEMATEL approach in Indian context. *Environmental Science and Pollution Research* 30(16):47800-47821. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27078-y>.
- KUMAR G, ENGLE C, VAN SENTEN J, SUN L, HEGDE S, RICHARDSON BM (2023b). Resource productivity and costs of aquaculture practices: economic-sustainability perspectives from US catfish farming. *Aquaculture* 574:739715. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739715>.
- LAN HY, UBINA NA, CHENG SC, LIN SS, HUANG CT (2022). Digital twin architecture evaluation for intelligent fish farm management using modified analytic hierarchy process. *Applied Sciences* 13(1):141. <https://doi.org/10.3390/app13010141>.
- LARSON S, ANDERSON C, TIITII U, MADAR L, TANIELU E, PAUL N, SWANEPOEL L (2023). Barriers and enablers for engagement in a new aquaculture activity: an example from seaweed initiatives in Samoa. *Aquaculture* 571:739328. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739328>.
- MBOYA JB, OBIERO KO, CHESEREK MJ, OUKO KO, OGELLO EO, OUTA NO, NYAUCHI AN, KYULE DN, MUNGUTI JM (2023). Factors influencing farmed fish traders' intention to use improved fish post-harvest technologies in Kenya: application of technology acceptance model. *Fisheries and Aquatic Sciences* 26 (2):105-116. <https://doi.org/10.47853/FAS.2023.e9>.
- MDOE CN, MAHONGE CP, NGOWI EE (2025). Drivers and barriers to climate-smart aquaculture adoption: insights from Mwanza and Mara Regions, Tanzania. *Aquaculture International* 33(341):34-49. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02028-2>.

- MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ (Clinical Research Ed.)* 339:b2535. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2010.02.007>.
- MONTES DE OCA-MUNGUÍA O, PANNELL DJ, LLEWELLYN R (2021). Understanding the adoption of innovations in agriculture: a review of selected conceptual models. *Agronomy* 11(1):139. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010139>.
- N'SOUVI K, LIU Y, BELLO MG, LIU X (2021). Aquaculture technology adoption and profitability of the polyculture system practiced by prawn and crab farmers: case study of Anhui Province in China. *Aquaculture Reports* 21:100896. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100896>.
- OBIERO KO, WAIDBACHER H, NYAWANDA BO (2019). Predicting uptake of aquaculture technologies among smallholder fish farmers in Kenya. *Aquaculture International* 27(6):1689-1707. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00423-0>.
- ONUCHE U, OLADIPO MA, ENIZE T, DAIKWO O (2020). Perception and uptake of aquaculture technologies in Kogi State, central Nigeria: imperative for improved management practices for sustainable aquaculture development. *African Journal of Agricultural Research* 16(6):819-828. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14558>.
- OPARINDE LO (2019). Fish output and food security under risk management strategies among women aquaculture farmers in Ondo State, Nigeria. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics* 11(1):93-105. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.294149>.
- ORJUELA-GARZON WA, SANDOVAL-ALDANA A, MENDEZ-ARTEAGA JJ (2024). Systematic Literature Review of Barriers and Enablers to Implementing Food Informatics Technologies: Unlocking Agri-Food Chain Innovation. *Foods* 13(21):3349. <https://doi.org/10.3390/foods13213349>.
- OUKO KO, MUKHEBI AW, OBIERO KO, OPONDO FA (2022). Using technology acceptance model to understand fish farmers' intention to use black soldier fly larvae meal in Nile tilapia production in Kenya. *All Life* 15(1):884-900. <https://doi.org/10.1080/26895293.2022.2112765>.
- OVHARHE OJ, NWACHI O, OMOROGIE V (2021). Functionality of aquacultural techniques in Delta State, Nigeria: Adoption approaches. *Black Sea Journal of Agriculture* 4(2):47-51. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.758109>.

- PAGE MJ, MCKENZIE JE, BOSSUYT PM, BOUTRON I, HOFFMANN TC, MULROW CD..., MOHER D (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *British Medical Journal* 372(71):1-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- PEÑALOSA-MARTINELL D, VERGARA-SOLANA FJ, VILLARREAL-COLMENARES H (2025). Analysis of the impact of aquaculture subsidies on production: the case of Mexico. *NPJ Ocean Sustainability* 4(1):Article Number 20. <https://doi.org/10.1038/s44183-025-00123-8>.
- RADOSAVLJEVIC S, VENTURINO E, ACOTTO F, WANG Q, SU J, GASPARATOS A (2025). Sustainable intensification of small-scale aquaculture systems depends on the local context and characteristics of producers. *arXiv preprint arXiv:2502.18488*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18488>.
- RAHMAN MS, KAZAL MMH, RAYHAN SJ, MANJIRA S (2023). Adoption determinants of improved management practices and productivity in pond polyculture of carp in Bangladesh. *Aquaculture and Fisheries* 8(1):96-101. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.08.009>.
- SHORT RE, GELCICH S, LITTLE DC, MICHELI F, ALLISON EH, BASURTO X, BELTON B, BRUGERE C (2021). Harnessing the diversity of small-scale actors is key to the future of aquatic food systems. *Nature Food* 2(9):733-741. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00363-0>.
- SIMON JW, GUAJARDO-SOTO G, SÁEZ CC (2023). La promoción estatal de la acuicultura sustentable: controversias sobre el desarrollo en el centro-sur de Chile. *Política y Sociedad* 60(2):e75239. <https://doi.org/10.5209/poso.75239>.
- SUNNY FA, KARIMANZIRA TTP, PENG W, RAHMAN MS, ZUHUI H (2022). Understanding the determinants and impact of the adoption of technologies for sustainable farming systems in water-scarce areas of Bangladesh. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6:961034. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.961034>.
- SUYAMUD B, CHEN Y, DONG Z, ZHAO C, HU J (2024). Antimicrobial resistance in aquaculture: occurrence and strategies in Southeast Asia. *Science of the Total Environment* 907:167942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167942>.
- TARUNAMULIA T, RATNAWATI E, KAMARIAH K, ASAF R, ATHIRAH A (2023). Factor affecting the willingness to adopt good aquaculture practices (GAPs) in traditional shrimp farming in Pinrang Regency, South Sulawesi Province, Indonesia. *BIO Web of Conferences* 74:06003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237406003>.

- TERREROS-PONCE FA (2025). Eficiencia productiva en la industria camaronera del Ecuador: influencia de factores tecnológicos y ambientales en su competitividad. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 9(1):1696-1713. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.
- TROELL M, NAYLOR RL, METIAN M, BEVERIDGE M, TYEDMERS PH, FOLKE C..., DE ZEEUW A (2014). Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(37):13257-13263. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4169979/>, acceso 20 de septiembre de 2025.
- TUN OO A, CHO A, YAN NAING S, MARIN G (2024). Determining factors and barriers to the uptake of climate change adaptation strategies of agriculture and aquaculture farm households in Myanmar. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 16(2):253-272. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-12-2023-0154>.
- WANG P, MENDES I, FRANIC R (2023). Investigating the Relationship between Aquaculture Investments, Training, and Environmental Factors in Guangdong: An Alternative Perspective. *Fishes* 8(5):237. <https://doi.org/10.3390/fishes8050237>.
- YANG D, WANG Q (2024). Evaluation of China's Marine Aquaculture Sector's Green Development Level Using the Super-Efficiency Slacks-Based Measure and Global Malmquist – Luenberger Index Models. *Sustainability* 16(8):3441. <https://doi.org/10.3390/su16083441>.
- YANG H, FENG Q, XIA S, WU Z, ZHANG Y (2025). AI-driven aquaculture: A review of technological advancements. *Artificial Intelligence in Agriculture* 15(3):508-525. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.01.012>.
- YANG J, JIA L, GUO Z, SHEN Y, LI X, MOU Z, YU K, LIN J (2023). Prediction and control of water quality in Recirculating Aquaculture System based on hybrid neural network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 121:106002. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106002>.
- YU SE, DONG SL, ZHANG ZX, ZHANG YY, SARÀ G, WANG J, DONG YW (2022). Mapping the potential for offshore aquaculture of salmonids in the Yellow Sea. *Marine Life Science y Technology* 4(3):329-342. <https://doi.org/10.1007/s42995-022-00141-2>.
- ZORNU J, OYIH M, BINDE M, VIGLO J, AGBEKPORNU H, NKANSA M..., CUDJOE KS (2023). Stakeholder perspectives on the 2023 Ghana National Aquaculture Development Plan: an integration within the ecosystem approach framework. *Aquaculture, Fish and Fisheries* 3(6):459-471. <https://doi.org/10.1002/aff2.135>.