

SSTSDS-Vol.4. N1. 091

**Transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos:
innovación para la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad**

***Biotechnological transformation of intensive aquaculture systems:
innovation for productivity, biosecurity, and sustainability***

Autores:

Olga Leyva Juárez Osorio
TecNM/Instituto Tecnológico de Oaxaca
Oaxaca – México
olga.jo@oaxaca.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6255-7926>

Byron Leoncio Díaz Monroy
Escuela superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
bdiaz@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3721-7994>

Joaquín Alberto Saucedo Zamora
Universidad Autónoma de Nuevo León, México
San Nicolás de los Garza - México
joaquin.saucedozm@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-4466-0919>

Autor de correspondencia: Olga Leyva Juárez Osorio, olga.jo@oaxaca.tecnm.mx

Enviado: 09-05-2026

Revisado: 26-05-2026

Aceptado: 22-07-2026

Publicado: 24-07-2026

Cómo citar este artículo:

Juárez Osorio, O. L., Díaz Monroy, B. L., & Saucedo Zamora, J. A. (2026). Transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos: innovación para la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad. *Sage Sphere of Technology, Sciences, Discoveries And Society*, 4(1), 1-25. <https://doi.org/10.63688/w2ad6e83>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

La acuicultura intensiva representa una alternativa estratégica para responder a la creciente demanda mundial de alimentos de origen acuático, debido a su capacidad para incrementar la producción mediante sistemas controlados y tecnificados. Sin embargo, el aumento de la densidad productiva ha generado desafíos relacionados con la aparición de enfermedades, el deterioro de la calidad del agua, la eficiencia alimentaria, la dependencia de insumos externos y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, la biotecnología se posiciona como un componente esencial para la modernización del sector acuícola, al proporcionar herramientas innovadoras basadas en el mejoramiento genético, la microbiología aplicada, la biología molecular, la nutrición funcional y los sistemas avanzados de bioseguridad. La presente investigación analizó los avances biotecnológicos aplicados a los sistemas acuícolas intensivos mediante una revisión sistemática de literatura científica publicada entre 2017 y 2026, siguiendo los criterios establecidos por el protocolo PRISMA. El análisis de la evidencia permitió identificar que las innovaciones biotecnológicas favorecen la optimización del crecimiento de las especies cultivadas, el fortalecimiento de la resistencia frente a agentes patógenos, la mejora de los procesos nutricionales y la reducción de impactos ambientales asociados a la producción intensiva. Asimismo, se evidenció una tendencia creciente hacia la incorporación de estrategias sostenibles orientadas al aprovechamiento eficiente de recursos y al desarrollo de modelos productivos resilientes.

Palabras claves: acuicultura intensiva; biotecnología acuícola; innovación productiva; bioseguridad; sostenibilidad ambiental.

ABSTRACT

Intensive aquaculture represents a strategic alternative for addressing the growing global demand for aquatic food products, owing to its capacity to increase production through controlled and technologically advanced systems. However, the intensification of production densities has generated challenges associated with disease outbreaks, declining water quality, feed efficiency, dependence on external inputs, and environmental sustainability. In this context, biotechnology has emerged as an essential component in the modernisation of the aquaculture sector by providing innovative tools based on genetic improvement, applied microbiology, molecular biology, functional nutrition, and advanced biosecurity systems. This research analysed biotechnological advances applied to intensive aquaculture systems through a systematic review of scientific literature published between 2018 and 2026, following the criteria established by the PRISMA protocol. The analysis of the available evidence identified that biotechnological innovations contribute to the optimisation of cultured species' growth, enhanced resistance against pathogenic agents, improved nutritional processes, and the reduction of environmental impacts associated with intensive production. Furthermore, the findings revealed a growing trend towards the incorporation of sustainable strategies aimed at the efficient utilisation of resources and the development of resilient production models.

Keywords: intensive aquaculture; aquaculture biotechnology; production innovation; biosecurity; environmental sustainability.



1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura intensiva representa uno de los pilares estratégicos para garantizar la seguridad alimentaria mundial, al constituirse como la actividad productiva de mayor crecimiento dentro del sector de alimentos de origen acuático. Su expansión responde al incremento sostenido de la demanda de proteínas de alto valor biológico, al crecimiento demográfico y a la reducción progresiva de las poblaciones pesqueras naturales ocasionada por la sobreexplotación y las alteraciones ambientales. No obstante, el aumento de la intensidad productiva también ha incrementado la complejidad de los sistemas de cultivo, generando desafíos relacionados con la aparición de enfermedades emergentes, el deterioro de la calidad del agua, el estrés fisiológico de los organismos, la disminución de la eficiencia alimenticia y la presión ambiental derivada del uso intensivo de recursos.

La evolución de la biotecnología acuícola ha impulsado una transición desde modelos convencionales de producción hacia sistemas inteligentes fundamentados en la prevención, la optimización biológica y la gestión integral de los ecosistemas de cultivo. La incorporación de tecnologías como la selección genómica, la secuenciación de nueva generación, el análisis del microbioma, los probióticos y prebióticos de última generación, las vacunas recombinantes, los sistemas biofloc, la acuicultura de recirculación (RAS), los biosensores y las plataformas de monitoreo en tiempo real ha fortalecido la bioseguridad, incrementado la eficiencia metabólica de las especies cultivadas y mejorado el aprovechamiento de los recursos hídricos y nutricionales.

La expansión acelerada de la acuicultura intensiva ha contribuido de manera significativa al incremento de la producción mundial de organismos acuáticos destinados al consumo humano, consolidándose como una actividad estratégica para fortalecer la seguridad alimentaria y reducir la presión sobre las pesquerías naturales. Sin embargo, el aumento progresivo de las densidades de cultivo y la intensificación de los sistemas productivos han incrementado la complejidad biológica y ambiental de las explotaciones acuícolas, favoreciendo la aparición de enfermedades infecciosas, alteraciones en la estabilidad del microbioma acuático, deterioro de la calidad del agua y elevados niveles de estrés fisiológico que comprometen el bienestar y el desempeño productivo de las especies cultivadas.



De manera complementaria, los sistemas convencionales de producción enfrentan crecientes desafíos asociados con la sostenibilidad de los recursos naturales y la necesidad de reducir la huella ambiental derivada del consumo intensivo de agua y energía, la acumulación de materia orgánica, la descarga de efluentes con elevadas cargas de nutrientes y el aprovechamiento ineficiente de los insumos alimenticios.

Contextualización

Durante las últimas dos décadas, la acuicultura ha experimentado una expansión sin precedentes, consolidándose como el sector de producción de alimentos de origen acuático con mayor crecimiento a nivel mundial. Esta evolución responde al incremento sostenido de la demanda de proteínas de alto valor biológico, la reducción de las capturas provenientes de la pesca extractiva y la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria de una población en constante aumento. No obstante, este modelo también ha incrementado la incidencia de enfermedades infecciosas, el deterioro de la calidad del agua y la acumulación de compuestos nitrogenados y materia orgánica que comprometen la estabilidad ecológica de los sistemas. En este contexto, Urías Rivas et al. (2025) demostraron que la incorporación de herramientas biotecnológicas constituye una alternativa eficaz para incrementar la productividad mediante el aprovechamiento de procesos microbianos que favorecen el reciclaje de nutrientes, el control biológico y la sostenibilidad ambiental de la acuicultura intensiva.

Los primeros avances de la biotecnología acuícola estuvieron orientados al mejoramiento genético de especies de importancia comercial con el propósito de optimizar su desempeño productivo y adaptabilidad a condiciones intensivas de cultivo. La implementación de programas de selección asistida por marcadores moleculares, cruzamientos controlados y evaluación genética permitió obtener organismos con mayor velocidad de crecimiento, mejor eficiencia en la conversión alimenticia, mayor tolerancia a variaciones ambientales y una respuesta inmunológica más eficiente frente a diversos agentes patógenos. En este sentido, López Camarena (2024) señala que la integración de herramientas genómicas dentro de los programas de producción representa uno de los principales factores que explican el incremento de la eficiencia biológica observado en la acuicultura moderna, fortaleciendo simultáneamente la rentabilidad y la sostenibilidad de los sistemas productivos.

El desarrollo de la microbiología aplicada transformó la comprensión de las interacciones biológicas que ocurren dentro de los ecosistemas acuáticos de cultivo, demostrando que las



comunidades microbianas desempeñan un papel determinante en la regulación de la calidad del agua, el reciclaje de nutrientes y la salud de los organismos cultivados. Estos hallazgos impulsaron la utilización de probióticos, prebióticos y simbióticos como herramientas biotecnológicas destinadas a modular el microbioma intestinal y ambiental, favoreciendo una mayor digestibilidad de los nutrientes, el fortalecimiento de la respuesta inmune y la exclusión competitiva de microorganismos patógenos. Desde esta perspectiva Díaz-Jiménez et al. (2017) evidenciaron que el manejo estratégico de las comunidades microbianas constituye uno de los pilares fundamentales para incrementar la estabilidad biológica y reducir la dependencia del uso de antibióticos en sistemas acuícolas intensivos.

Paralelamente, los avances alcanzados en biología molecular revolucionaron los sistemas de vigilancia epidemiológica mediante la incorporación de herramientas de diagnóstico altamente sensibles y específicas para la detección temprana de agentes infecciosos. Técnicas como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), la secuenciación de nueva generación, el análisis transcriptómico y la identificación de biomarcadores permitieron detectar patógenos antes de la manifestación clínica de la enfermedad, fortaleciendo los protocolos de bioseguridad y mejorando la capacidad de respuesta frente a brotes sanitarios.

Otro de los antecedentes más relevantes corresponde al desarrollo de tecnologías biológicas orientadas al tratamiento y reutilización del agua de cultivo. Entre ellas destacan los sistemas biofloc y los sistemas acuícolas de recirculación (RAS), los cuales aprovechan la actividad metabólica de bacterias heterótrofas y nitrificantes para transformar compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos en biomasa microbiana susceptible de ser aprovechada como fuente adicional de alimento. Según León et al. (2021) estas tecnologías permiten mejorar simultáneamente la calidad del agua, disminuir la descarga de efluentes, incrementar la eficiencia alimenticia y fortalecer la bioseguridad, convirtiéndose en uno de los principales referentes de la intensificación sostenible de la acuicultura contemporánea.

En años recientes, la convergencia entre la biotecnología y las tecnologías digitales ha impulsado el desarrollo de la denominada acuicultura inteligente, caracterizada por la integración de sensores, plataformas de monitoreo remoto, inteligencia artificial y análisis predictivo para optimizar la gestión de los sistemas de producción. Estas herramientas permiten realizar un seguimiento continuo de variables fisicoquímicas, biológicas y productivas, facilitando la toma de decisiones basada en datos y reduciendo los riesgos



asociados con cambios ambientales o brotes sanitarios. En este sentido, Bazurto Espinoza et al.(2026) destacan que la combinación entre monitoreo inteligente y procesos biotecnológicos incrementa significativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta frente a eventos que comprometen la estabilidad de los cultivos.

De manera paralela, el fortalecimiento de los principios de sostenibilidad ha promovido investigaciones dirigidas al aprovechamiento integral de los residuos generados durante la producción acuícola mediante procesos biotecnológicos. La utilización de microorganismos y enzimas para transformar subproductos orgánicos en biofertilizantes, biomasa microbiana, compuestos bioactivos y fuentes alternativas de energía ha permitido reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Al respecto, Sánchez et al. (2025) sostienen que la incorporación de tecnologías basadas en biofloc y economía circular constituye una estrategia fundamental para disminuir la huella ambiental de la acuicultura intensiva y fortalecer su sostenibilidad económica y ecológica.

En la actualidad, la transformación biotecnológica se reconoce como uno de los principales motores de innovación dentro de la acuicultura intensiva, al integrar herramientas derivadas de la genómica, la microbiología, la inmunobiotecnología, la ingeniería ambiental y la digitalización de los procesos productivos. No obstante, la rápida evolución del conocimiento científico y la diversidad de enfoques desarrollados hacen necesaria una revisión documental que permita sintetizar la evidencia disponible, identificar las tendencias emergentes y comprender de manera integral cómo estas innovaciones contribuyen al fortalecimiento de la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad de los sistemas acuícolas intensivos, tal como señalan Bolaños et al. (2026) en sus recientes análisis sobre la intensificación sostenible de la acuicultura.

Marco teórico

Fundamentos de la biotecnología aplicada a la acuicultura

La biotecnología aplicada a la acuicultura constituye una disciplina científica de carácter multidisciplinario que integra conocimientos de la biología molecular, la microbiología, la genética, la bioquímica, la inmunología, la ingeniería acuícola y las ciencias ambientales con el propósito de optimizar el rendimiento de los sistemas de producción mediante la manipulación controlada de procesos biológicos. Su aplicación ha evolucionado desde enfoques centrados exclusivamente en el incremento de la productividad hacia estrategias



orientadas a fortalecer la sanidad animal, mejorar la eficiencia metabólica, conservar los recursos naturales y reducir el impacto ambiental asociado con la intensificación de los cultivos. En este sentido, Naspirán et al. (2022) señala que la biotecnología moderna constituye uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de una acuicultura sostenible, al integrar herramientas capaces de optimizar simultáneamente la nutrición, la salud, el crecimiento y la resiliencia fisiológica de las especies cultivadas

Productividad biológica en sistemas acuícolas intensivos

La productividad en la acuicultura intensiva depende de la interacción equilibrada entre factores genéticos, nutricionales, fisiológicos, ambientales y tecnológicos que determinan el crecimiento, la supervivencia y la eficiencia productiva de las especies cultivadas. En los sistemas modernos, el incremento del rendimiento ya no se sustenta únicamente en el aumento de la densidad de cultivo, sino en la optimización de los procesos biológicos que regulan la utilización de los nutrientes, la conversión alimenticia y la capacidad adaptativa de los organismos frente a condiciones ambientales variables. De acuerdo con Terreros et al. (2026) la utilización de estrategias biotecnológicas orientadas a modular la fisiología digestiva y el microbiota intestinal incrementa la eficiencia en la utilización de los alimentos, fortalece el estado inmunológico y favorece mayores tasas de crecimiento, contribuyendo a la sostenibilidad económica y biológica de los sistemas acuícolas intensivos.

Bioseguridad como componente estratégico de la producción acuícola

La bioseguridad constituye un componente estratégico para garantizar la estabilidad sanitaria y la continuidad operativa de los sistemas acuícolas intensivos, especialmente debido a que las elevadas densidades de cultivo incrementan el riesgo de introducción, transmisión y persistencia de agentes patógenos. Estas estrategias permiten anticipar la aparición de enfermedades antes de la manifestación clínica, reducir la mortalidad y minimizar la utilización de antimicrobianos. En este sentido, Hernández et al. (2019) destaca que la implementación de programas integrales de bioseguridad sustentados en herramientas biotecnológicas constituye uno de los principales factores para fortalecer la resiliencia sanitaria, incrementar la productividad y garantizar la sostenibilidad de la acuicultura frente al incremento de enfermedades emergentes y reemergentes.

Microbioma acuático y salud de los organismos cultivados



El microbioma acuático representa uno de los componentes biológicos más importantes para mantener la estabilidad ecológica de los sistemas de cultivo y preservar la salud de los organismos acuáticos. La comprensión de estos mecanismos ha impulsado el desarrollo de estrategias basadas en probióticos, prebióticos, simbióticos y consorcios microbianos destinados a favorecer el equilibrio del ecosistema acuático y mejorar el funcionamiento fisiológico del tracto digestivo. Según Sánchez et al. (2026) el manejo del microbioma mediante aplicaciones biotecnológicas permite fortalecer la respuesta inmunitaria, incrementar la absorción de nutrientes, reducir la colonización por microorganismos patógenos y disminuir la dependencia de tratamientos antibióticos, consolidando un enfoque preventivo para la gestión sanitaria de la acuicultura intensiva.

Genómica y biología molecular en el mejoramiento acuícola

El desarrollo de la genómica y la biología molecular ha transformado los programas de mejoramiento genético en la acuicultura, permitiendo comprender con mayor precisión los mecanismos que regulan el crecimiento, la reproducción, la resistencia a enfermedades y la adaptación a diferentes condiciones ambientales. La incorporación de herramientas como la selección genómica, la secuenciación de nueva generación (NGS), el análisis transcriptómico, la identificación de marcadores moleculares y las tecnologías de edición genética ha incrementado la eficiencia de los programas de selección y ha reducido los tiempos requeridos para obtener líneas genéticas con características productivas superiores. En este contexto, Pérez et al. (2018) sostienen que la integración de la genómica en los programas de reproducción representa una de las innovaciones más relevantes para acelerar el progreso genético de las especies acuícolas, mejorar la competitividad del sector y fortalecer la sostenibilidad de la producción frente a los desafíos asociados con el crecimiento de la demanda mundial de alimentos.

Biotechnología para la sostenibilidad y la economía circular

La sostenibilidad constituye uno de los principios rectores de la acuicultura contemporánea, impulsando la incorporación de tecnologías que permitan incrementar la productividad sin comprometer la integridad de los ecosistemas acuáticos. Desde esta perspectiva, la biotecnología promueve el uso eficiente del agua, la optimización de los recursos alimenticios, la reducción de residuos orgánicos y la valorización de subproductos mediante procesos microbiológicos, enzimáticos y bioquímicos que disminuyen la presión ambiental



generada por los sistemas intensivos. Tecnologías como los sistemas biofloc, la acuicultura de recirculación (RAS), la biorremediación y el empleo de microorganismos benéficos favorecen el reciclaje de nutrientes y la reducción de efluentes contaminantes. En este sentido, Pérez et al. (2021) destaca que la incorporación de probióticos y otras herramientas biotecnológicas orientadas a la gestión del microbioma constituye un componente esencial para consolidar una acuicultura ambientalmente responsable, alineada con los principios de la economía circular y la denominada Revolución Azul.

Acuicultura inteligente y digitalización de los sistemas productivos

La transformación digital ha impulsado el desarrollo de la acuicultura inteligente como un nuevo paradigma de gestión basado en la integración de tecnologías de información, automatización y herramientas biotecnológicas para optimizar los procesos productivos. La utilización de sensores ambientales, biosensores, plataformas de monitoreo remoto, inteligencia artificial, aprendizaje automático y sistemas de análisis predictivo permite evaluar continuamente variables relacionadas con la calidad del agua, el comportamiento de los organismos, el consumo alimenticio, el estado sanitario y las condiciones ambientales del cultivo. Según Ochoa et al. (2023), la integración del conocimiento derivado del microbioma con tecnologías de secuenciación, monitoreo y análisis de datos constituye una de las principales líneas de innovación para desarrollar sistemas acuícolas más resilientes, eficientes y sostenibles, capaces de anticipar desequilibrios biológicos antes de que estos afecten la productividad del cultivo.

Transformación biotecnológica y perspectivas de la acuicultura del futuro

La transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos representa un proceso de innovación continua que integra avances en genómica, microbiología, inmunología, nutrición, ingeniería ambiental y tecnologías digitales para redefinir los modelos tradicionales de producción. La convergencia entre las tecnologías ómicas, la inteligencia artificial, la automatización y la gestión ecosistémica está configurando una nueva generación de sistemas acuícolas basados en el conocimiento científico y la innovación tecnológica. En este contexto, Valverde (2026) afirman que la adopción generalizada de tecnologías genéticas y biotecnológicas será determinante para garantizar la expansión sostenible de la acuicultura, permitiendo desarrollar sistemas productivos más competitivos, resilientes y preparados para afrontar los desafíos futuros del sector.



Herramienta

La revisión documental se empleó como herramienta metodológica para recopilar, seleccionar, analizar e integrar la evidencia científica relacionada con la transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos. La información se obtuvo a partir de artículos científicos publicados en bases de datos internacionales indexadas, priorizando estudios recientes sobre aplicaciones biotecnológicas orientadas al mejoramiento genético, la biología molecular, la microbiología aplicada, la bioseguridad, la nutrición funcional, los sistemas biofloc, la acuicultura de recirculación (RAS) y otras innovaciones dirigidas a fortalecer la productividad y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo.

Objetivo

Analizar la transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos mediante la revisión sistemática de la evidencia científica sobre las innovaciones aplicadas al mejoramiento genético, la microbiología, la biología molecular, la bioseguridad, la nutrición funcional y la sostenibilidad ambiental, con el propósito de identificar los principales avances científicos, tendencias tecnológicas y contribuciones que favorecen el desarrollo de modelos de producción acuícola más eficientes, resilientes, competitivos y alineados con los principios de la bioeconomía y el desarrollo sostenible.

En función de los desafíos actuales asociados con la intensificación de los sistemas acuícolas y la necesidad de implementar estrategias innovadoras que permitan mejorar la eficiencia productiva, fortalecer la bioseguridad y reducir los impactos ambientales, resulta necesario analizar el papel de las herramientas biotecnológicas en la transformación del sector acuícola. En este contexto, la revisión de la evidencia científica disponible permite establecer la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo contribuyen las innovaciones biotecnológicas aplicadas al mejoramiento genético, la microbiología, la biología molecular, la bioseguridad y la gestión sostenible de los recursos al fortalecimiento de la productividad, la resiliencia sanitaria y la sostenibilidad ambiental de los sistemas acuícolas intensivos, de acuerdo con la evidencia científica disponible?

2. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló mediante una revisión documental de carácter cualitativo, orientada al análisis, interpretación y síntesis de la evidencia científica relacionada con la



transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos. Este proceso permitió examinar los principales aportes de la literatura especializada respecto a la aplicación de herramientas biotecnológicas dirigidas al fortalecimiento de la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo acuático. La metodología se estructuró bajo los lineamientos del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el propósito de establecer un procedimiento organizado para la identificación, selección y análisis de los estudios científicos incluidos en la revisión.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante la consulta de bases de datos académicas nacionales e internacionales reconocidas por su relevancia científica, entre ellas Scopus, SciELO, Latindex, Redalyc, Dialnet, ERIH Plus, ScienceDirect y Google Scholar. El periodo de búsqueda comprendió publicaciones realizadas entre los años 2017 hasta 2026, considerando la importancia de analizar los avances recientes relacionados con la biotecnología aplicada a la acuicultura intensiva. Para la recuperación de la información se emplearon términos clave en español e inglés combinados mediante operadores booleanos AND y OR, entre ellos: biotecnología acuícola, acuicultura intensiva, aquaculture biotechnology, intensive aquaculture, genomic selection, molecular biology, aquatic microbiome, probiotics, biosecurity, sustainable aquaculture, biofloc technology y recirculating aquaculture systems. La estrategia de búsqueda fue adaptada según las características de cada base de datos con la finalidad de obtener estudios relacionados directamente con la aplicación de innovaciones biotecnológicas en organismos acuáticos cultivados.

El proceso de selección de los documentos se efectuó siguiendo las cuatro fases establecidas por el método PRISMA: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. En la fase de identificación se localizaron inicialmente 324 registros científicos provenientes de las diferentes bases de datos consultadas. Posteriormente, se eliminaron 86 documentos duplicados, obteniéndose un total de 238 estudios disponibles para la fase de cribado. Durante esta etapa se realizó la revisión de títulos y resúmenes, excluyendo 153 artículos que no presentaban relación directa con la transformación biotecnológica de sistemas acuícolas intensivos, debido a que abordaban temáticas asociadas con pesca extractiva, acuicultura extensiva, estudios exclusivamente ambientales o investigaciones sin aplicación biotecnológica.



Posteriormente, 85 artículos fueron evaluados mediante la lectura completa del texto para determinar su pertinencia con los objetivos de la revisión. En esta fase fueron excluidos 66 documentos debido a que no cumplían con los criterios establecidos, principalmente por presentar información insuficiente, ausencia de relación directa con productividad, bioseguridad o sostenibilidad, limitaciones metodológicas, publicaciones fuera del periodo definido o falta de acceso al contenido completo. Después del proceso de evaluación, se seleccionaron 19 artículos científicos como corpus documental definitivo para el análisis, los cuales presentaron aportes relevantes sobre herramientas biotecnológicas aplicadas al mejoramiento genético, microbiología acuática, diagnóstico molecular, nutrición funcional, sistemas biofloc, acuicultura de recirculación, sostenibilidad ambiental y nuevas estrategias de producción intensiva.

Los criterios de inclusión consideraron artículos científicos publicados entre 2017 hasta 2026, investigaciones disponibles en texto completo, estudios provenientes de revistas científicas indexadas y documentos relacionados directamente con la aplicación de tecnologías biotecnológicas en sistemas acuícolas intensivos.

Por otra parte, los criterios de exclusión estuvieron dirigidos a descartar documentos duplicados, artículos publicados antes del año 2017, investigaciones sin relación con sistemas acuícolas intensivos, estudios enfocados únicamente en producción pesquera, trabajos centrados en especies no acuáticas, documentos sin respaldo científico, revisiones sin metodología definida, tesis, capítulos de libro, resúmenes de congresos y publicaciones que no proporcionaran información suficiente para analizar el impacto de las innovaciones biotecnológicas en la acuicultura moderna.

La organización y sistematización de la información seleccionada se realizó mediante una matriz elaborada en Microsoft Excel, herramienta utilizada para registrar y clasificar los principales elementos bibliográficos y científicos de cada estudio incluido. La matriz contempló variables como autor, año de publicación, base de datos de procedencia, país de estudio, especie cultivada, herramienta biotecnológica analizada, objetivo del estudio, principales resultados y contribuciones relacionadas con productividad, bioseguridad y sostenibilidad.

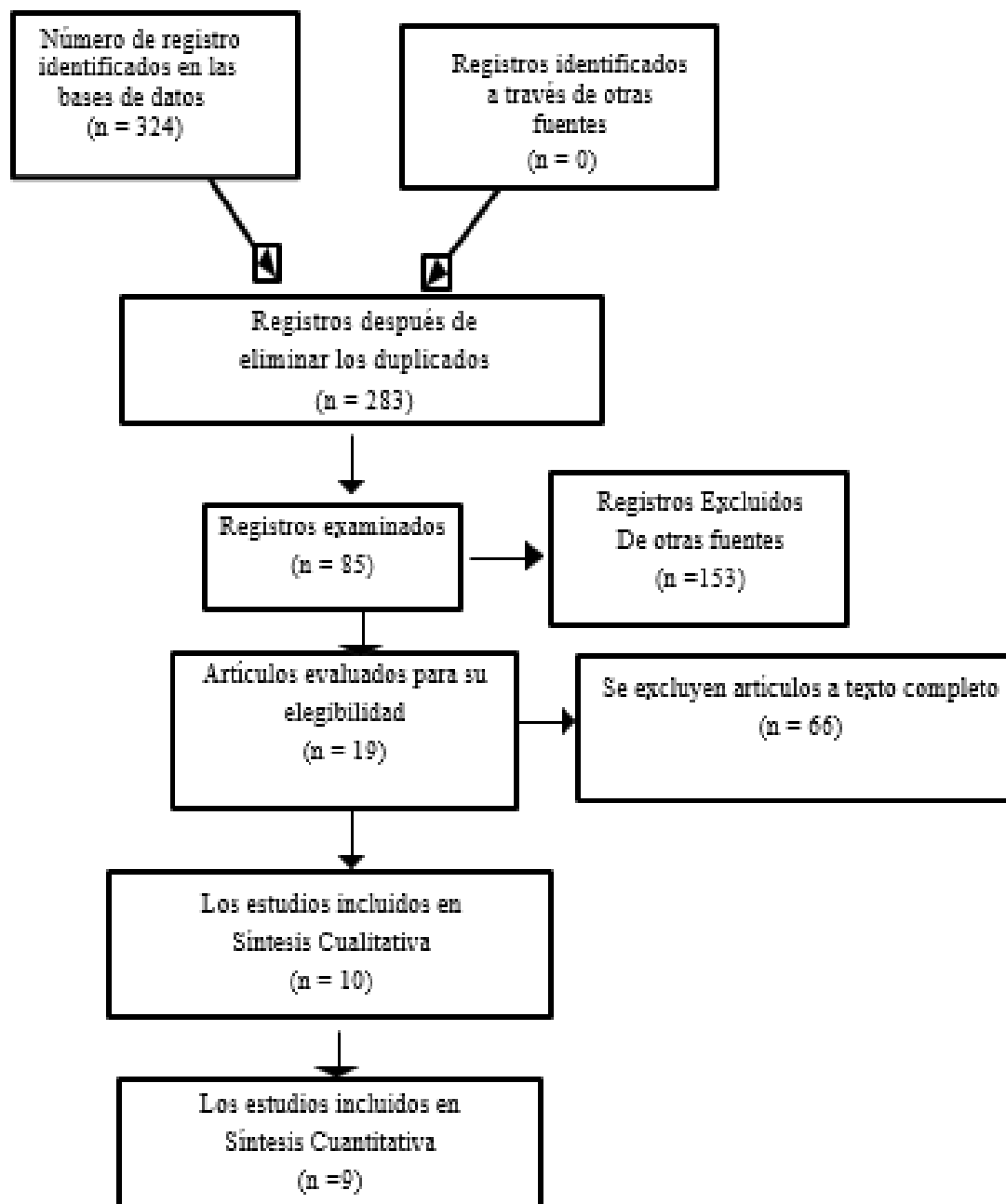
El análisis de la información recopilada se realizó mediante una interpretación temática de los estudios seleccionados, agrupando los hallazgos según las principales áreas de aplicación



biotecnológica identificadas. Este proceso permitió reconocer la importancia de la integración entre genética, microbiología, biología molecular, sistemas de producción sostenibles y herramientas digitales como elementos fundamentales para la evolución de la acuicultura intensiva.

Gráfico 1

Método Prisma



Nota. Proceso de cribado mediante el diagrama PRISMA. Elaboración propia.

3. RESULTADOS

El análisis integrado de la evidencia científica permitió establecer que la transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos constituye actualmente uno de los principales factores que impulsan la modernización de la producción acuícola. Los estudios examinados evidenciaron una transición desde modelos de manejo convencionales hacia sistemas productivos sustentados en la aplicación de herramientas genómicas, microbiológicas, moleculares, inmunobiotecnológicas y ambientales, orientadas a optimizar el desempeño fisiológico de las especies cultivadas, incrementar la eficiencia en el uso de los recursos productivos y fortalecer la capacidad de respuesta frente a riesgos sanitarios.

La evidencia científica también reveló una convergencia entre las investigaciones al identificar el mejoramiento genético, la microbiología aplicada, la biología molecular, la nutrición funcional, los sistemas biofloc, la acuicultura de recirculación (RAS), las estrategias de bioseguridad y la digitalización de los procesos productivos como los principales componentes que sustentan la innovación biotecnológica en la acuicultura intensiva.

A partir de los resultados obtenidos, se estructuró una matriz de síntesis que reúne las principales contribuciones científicas reportadas en los estudios seleccionados, integrando información relacionada con los objetivos de cada investigación, las herramientas biotecnológicas implementadas, los hallazgos más relevantes y su contribución al fortalecimiento de la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad de los sistemas acuícolas intensivos.

Tabla 1

Hallazgos científicos sobre las innovaciones biotecnológicas en la acuicultura intensiva

Autor, año	Objetivo	Diseño metodológico	Muestra/Contexto	Tema de estudio	Hallazgos principales
Bazurto Espinoza et al. (2026)	Analizar la aplicación de la biotecnología para mejorar la	Revisión de literatura científica.	Sistemas acuícolas intensivos.	Biotecnología aplicada a la acuicultura.	La biotecnología incrementa la productividad, fortalece la bioseguridad y favorece la



Autor, año	Objetivo	Diseño metodológico	Muestra/Contexto	Tema de estudio	Hallazgos principales
	productividad y la sanidad en sistemas acuícolas intensivos.				sostenibilidad de los sistemas intensivos.
Bolaños et al. (2026)	Evaluar la transferencia de tecnología acuícola y su impacto en la calidad de vida de los piscicultores.	Investigación aplicada.	Piscicultores beneficiarios de programas de transferencia tecnológica.	Transferencia tecnológica en acuicultura.	La adopción tecnológica mejora la productividad, los ingresos y las condiciones de vida de los productores.
Díaz-Jiménez et al. (2017)	Determinar el efecto de la dieta y del sistema de cultivo sobre el desarrollo larval del camarón.	Estudio experimental.	Larvas de <i>Stenopus hispidus</i> .	Nutrición y sistemas de cultivo.	La dieta y el sistema de cultivo influyen significativamente en la supervivencia y el desarrollo larval.
Du et al. (2022)	Evaluar el efecto del probiótico <i>Lactobacillus plantarum</i> Ep-M17 en camarones.	Investigación experimental.	<i>Litopenaeus vannamei</i> .	Probióticos en acuicultura.	El probiótico mejoró el crecimiento, la inmunidad, la supervivencia y la resistencia a enfermedades.
Hernández et al. (2019)	Analizar la eficiencia de los sistemas Biofloc en la producción acuícola.	Revisión bibliográfica.	Sistemas Biofloc.	Tecnología Biofloc.	El sistema Biofloc mejora la calidad del agua, reduce costos y aumenta la eficiencia productiva.
Jaies et al. (2024)	Revisar las técnicas inmunológicas y moleculares aplicadas a la	Revisión científica.	Estudios sobre diagnóstico de enfermedades en peces.	Diagnóstico molecular.	Las técnicas moleculares permiten una detección temprana y



Autor, año	Objetivo	Diseño metodológico	Muestra/Contexto	Tema de estudio	Hallazgos principales
Kumar et al. (2025)	salud de los peces. Analizar el papel de la ingeniería del microbioma en la seguridad y calidad alimentaria.	Revisión científica.	Aplicaciones biotecnológicas en producción animal y acuícola.	Ingeniería del microbioma.	fortalecen la bioseguridad. La manipulación del microbioma mejora la salud, la inocuidad y la sostenibilidad productiva.
León et al. (2021)	Caracterizar la red de conocimiento en la acuicultura de camarón.	Estudio descriptivo.	Productores de camarón en Sinaloa, México.	Gestión del conocimiento.	La cooperación entre actores favorece la innovación tecnológica del sector.
López Camarena (2024)	Analizar las innovaciones futuras del sector acuícola.	Revisión documental.	Sector acuícola internacional.	Innovación tecnológica.	La digitalización y la biotecnología transformarán la producción acuícola.
Naspirán-Jojoa et al. (2022)	Revisar las perspectivas de la acuicultura multitrófica integrada (IMTA).	Revisión de literatura.	Investigaciones sobre IMTA.	Producción sostenible.	El sistema IMTA mejora la eficiencia de recursos y disminuye el impacto ambiental.
Ochoa et al. (2023)	Analizar la tecnología Biofloc como estrategia de producción sustentable.	Revisión científica.	Sistemas Biofloc.	Biofloc y sostenibilidad.	La tecnología Biofloc favorece la productividad y reduce el impacto ambiental.
Pérez et al. (2021)	Revisar el uso de probióticos y sus metabolitos	Revisión bibliográfica.	Estudios sobre probióticos.	Probióticos.	Los probióticos fortalecen la inmunidad, mejoran el crecimiento y



Autor, año	Objetivo	Diseño metodológico	Muestra/Contexto	Tema de estudio	Hallazgos principales
	en acuicultura.				reducen enfermedades.
Pérez, Mungaray y López (2018)	Caracterizar las bioempresas del sector acuícola.	Estudio descriptivo.	Empresas acuícolas de Baja California.	Bioempresas acuícolas.	La innovación biotecnológica constituye un factor de competitividad empresarial.
Sánchez et al. (2025)	Analizar el uso de sensores inteligentes en sistemas productivos.	Revisión documental.	Tecnologías inteligentes.	Sensores inteligentes.	Los sensores optimizan el monitoreo y la toma de decisiones en la producción.
Sánchez et al. (2026)	Analizar el papel de los microbiomas en peces y camarones.	Revisión científica.	Sistemas de cultivo acuícola.	Microbiomas .	Los microbiomas beneficiosos fortalecen la salud y disminuyen la incidencia de enfermedades.
Terreros et al. (2026)	Evaluar el efecto de la densidad de cultivo en un sistema de recirculación.	Investigación experimental .	Cryphiops caementarius y Oreochromis niloticus.	Sistemas de recirculación (RAS).	La densidad de cultivo influye en el crecimiento y la supervivencia de las especies.
Urías Rivas et al. (2025)	Analizar la economía circular en la industria acuícola.	Revisión documental.	Industria acuícola.	Economía circular.	La economía circular incrementa la sostenibilidad y el aprovechamiento eficiente de recursos.
Valverde (2026)	Analizar el manejo biotecnológico de enfermedades en especies	Análisis bibliográfico	Literatura científica sobre enfermedades acuícolas.	Biotecnología y sanidad.	La biotecnología mejora la prevención, diagnóstico y control de enfermedades.



Autor, año	Objetivo	Diseño metodológico	Muestra/Contexto	Tema de estudio	Hallazgos principales
Yang et al. (2025)	acuícolas destinadas al consumo humano. Revisar la edición genética para mejorar características económicas en peces de cultivo.	Revisión científica.	Especies de peces de acuicultura.	Edición genética.	La edición genética permite mejorar el crecimiento, la resistencia a enfermedades y la productividad.

Nota. Síntesis de estudios utilizados en la revisión. Elaboración propia.

La revisión de los estudios permitió evidenciar que las investigaciones se habían orientado principalmente al desarrollo de innovaciones biotecnológicas para fortalecer la productividad, la bioseguridad y la sostenibilidad de los sistemas acuícolas. Asimismo, se identificó que los enfoques más abordados correspondían al uso de probióticos, tecnologías Biofloc, microbiomas, diagnóstico molecular, edición genética, sistemas de recirculación y estrategias de economía circular, cuyos resultados habían demostrado mejoras significativas en el crecimiento, la resistencia a enfermedades, la eficiencia productiva y la reducción del impacto ambiental.

4. DISCUSIÓN

La transformación biotecnológica de la acuicultura intensiva evidencia un cambio sustancial en los modelos tradicionales de producción, al integrar avances científicos capaces de incrementar simultáneamente la productividad, fortalecer la bioseguridad y favorecer la sostenibilidad de los sistemas de cultivo. La evidencia analizada muestra que la innovación biotecnológica ha dejado de centrarse en soluciones aisladas para evolucionar hacia estrategias multidisciplinarias donde convergen la genética, la microbiología, la nutrición, la biología molecular, la ingeniería ambiental y las tecnologías digitales como componentes de un mismo proceso de modernización productiva.

Uno de los aspectos que adquiere mayor relevancia corresponde al fortalecimiento de la sanidad de los organismos cultivados mediante estrategias preventivas. Los estudios



desarrollados por Díaz-Jiménez et al. (2017) Jaies et al. (2024), Naspirán et al. (2022), Hernández et al. (2019) y Sánchez et al. (2026) evidencian que la integración del microbioma, las herramientas de diagnóstico molecular, la inmunoestimulación y los protocolos de bioseguridad favorece una mayor resistencia frente a agentes patógenos, mejora la respuesta inmunológica y permite detectar enfermedades en etapas tempranas. Estos hallazgos reflejan una evolución desde modelos sanitarios basados en tratamientos correctivos hacia enfoques preventivos que fortalecen la estabilidad biológica de los sistemas intensivos y disminuyen las pérdidas productivas.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, los resultados muestran que las herramientas biotecnológicas también desempeñan un papel determinante en la optimización del uso de los recursos naturales. Las investigaciones de León et al. (2021), Sánchez et al. (2025), Pérez et al. (2021) coinciden en señalar que la incorporación de sistemas Biofloc, tecnologías de recirculación (RAS), estrategias de economía circular y modelos de gobernanza sostenible contribuye a reducir el consumo de agua, minimizar la generación de efluentes y favorecer el aprovechamiento de residuos orgánicos. En conjunto, estos avances evidencian que la sostenibilidad ha dejado de representar un componente complementario para consolidarse como un criterio estructural dentro de la planificación y gestión de la acuicultura moderna.

En relación con la productividad, la literatura científica demuestra que el mejoramiento del rendimiento biológico depende cada vez más de la integración entre genética y nutrición funcional. Los aportes de Guélac et al. (2023), Yang et al. (2025), Terreros et al. (2026), Du et al. (2022) y Pérez et al. (2020) indican que las tecnologías genómicas, la selección asistida por marcadores moleculares y las estrategias nutricionales permiten obtener organismos con mayor potencial de crecimiento, mejor conversión alimenticia, mayor eficiencia metabólica y mayor capacidad de adaptación frente a las condiciones propias de los sistemas intensivos. Esta convergencia científica demuestra que el incremento de la productividad responde a procesos biológicos interrelacionados más que a la aplicación independiente de tecnologías específicas.

Otro aspecto relevante identificado corresponde a la incorporación de tecnologías digitales como elemento complementario de la innovación biotecnológica. Los estudios realizados por Ochoa et al. (2023) Bazurto Espinoza et al. (2026) muestran que la utilización de sensores



inteligentes, monitoreo automatizado e inteligencia artificial mejora el seguimiento de las variables ambientales, optimiza los programas de alimentación y fortalece la capacidad predictiva para la gestión sanitaria. Estos resultados indican que la digitalización amplía el alcance de la biotecnología al facilitar procesos de toma de decisiones sustentados en información obtenida en tiempo real, incrementando la eficiencia operativa de los sistemas de producción.

En una perspectiva integradora, las investigaciones de Urías Rivas et al. (2025) Bolaños et al. (2026) y Valverde (2026) coinciden en señalar que la evolución futura de la acuicultura intensiva dependerá de la convergencia entre tecnologías genómicas, microbiológicas, ambientales y digitales dentro de modelos productivos inteligentes. Esta integración favorece sistemas más resilientes frente a enfermedades, variaciones ambientales y exigencias del mercado, al tiempo que fortalece la sostenibilidad económica, ambiental y social del sector. En consecuencia, la innovación biotecnológica trasciende la incorporación de herramientas independientes para consolidarse como un modelo integral de transformación científica y tecnológica que redefine los procesos productivos de la acuicultura contemporánea.

En conjunto, la evidencia científica analizada confirma que la biotecnología constituye el eje articulador de la modernización de la acuicultura intensiva. La integración del mejoramiento genético, la microbiología aplicada, la nutrición funcional, la bioseguridad, la gestión ambiental y la inteligencia artificial fortalece la eficiencia productiva, incrementa la resiliencia sanitaria y reduce los impactos ambientales, configurando sistemas de cultivo más competitivos, sostenibles y preparados para responder a los desafíos asociados con la seguridad alimentaria y el desarrollo de una bioeconomía sostenible.

5. CONCLUSIÓN

La transformación biotecnológica de los sistemas acuícolas intensivos constituye un proceso de innovación que ha redefinido los fundamentos de la producción acuícola contemporánea, al integrar herramientas de mejoramiento genético, microbiología, biología molecular, nutrición funcional y bioseguridad para optimizar simultáneamente el desempeño productivo, la estabilidad sanitaria y la sostenibilidad ambiental. Esta convergencia tecnológica demuestra que la eficiencia de los sistemas de cultivo depende cada vez más del aprovechamiento estratégico de los procesos biológicos que del incremento de la intensidad



productiva, favoreciendo modelos de producción con mayor capacidad de adaptación frente a los desafíos actuales del sector.

La integración de tecnologías genómicas, comunidades microbianas benéficas, herramientas de diagnóstico molecular, estrategias inmunobiotecnológicas y sistemas avanzados de manejo ambiental genera un efecto complementario que fortalece el crecimiento, la conversión alimenticia, la supervivencia y la respuesta inmunológica de los organismos cultivados. La interacción entre estas innovaciones incrementa la estabilidad de los sistemas acuícolas intensivos, reduce las pérdidas ocasionadas por enfermedades y optimiza la utilización de los recursos productivos, consolidando procesos de producción más eficientes y competitivos.

La bioseguridad se consolida como uno de los componentes estratégicos de la transformación biotecnológica al favorecer la transición desde modelos de control sanitario reactivos hacia esquemas preventivos sustentados en el diagnóstico temprano, la vigilancia epidemiológica y el manejo del microbioma. Esta evolución contribuye a disminuir la incidencia de enfermedades, reducir la dependencia del uso de antimicrobianos y fortalecer la resiliencia sanitaria de los sistemas acuícolas, respondiendo a las exigencias internacionales relacionadas con la inocuidad de los alimentos y la sostenibilidad de la producción.

La incorporación de tecnologías biotecnológicas orientadas al aprovechamiento eficiente del agua, el reciclaje de nutrientes, la valorización de residuos y la optimización de los procesos biológicos fortalece la sostenibilidad ambiental de los sistemas acuícolas intensivos. En este contexto, herramientas como los sistemas biofloc, la acuicultura de recirculación, la biorremediación y otras estrategias basadas en procesos microbiológicos favorecen una producción más eficiente, disminuyen la presión sobre los recursos naturales y promueven la adopción de modelos alineados con los principios de la bioeconomía y el desarrollo sostenible.

La articulación entre biotecnología, innovación tecnológica y gestión inteligente de los sistemas de producción amplía las posibilidades para fortalecer la competitividad de la acuicultura intensiva frente a los desafíos asociados con el cambio climático, la seguridad alimentaria y el incremento de la demanda mundial de productos acuáticos. La consolidación de estas innovaciones permitirá impulsar sistemas productivos con mayores niveles de



eficiencia, resiliencia, bioseguridad y sostenibilidad, posicionando a la biotecnología como uno de los pilares científicos para el desarrollo futuro del sector acuícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazurto Espinoza, J. G., García Pérez, G., Pérez y Terrón, R., & Tobar Pérez, D. H. (2026). Aplicación de la biotecnología en la mejora de la productividad y sanidad de sistemas acuícolas intensivos. *Sage Sphere Multidisciplinary Studies*, 3(1), 1–20. <https://doi.org/10.63688/djfsq96>
- Bolaños Ampudia, A. M., Ríos Sifuentes, F. J., Guerra Lu, J. K., Reátegui Inga, M., Flores Flores, L., & Gallo Álvarez, A. G. (2026). Transferencia de tecnología acuícola y la calidad de vida de piscicultores beneficiarios. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 10(28), 644–659. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.460>
- Díaz-Jiménez, L., Pérez-Rostro, C., Vergara, H., & Martha. (2017). Efecto de la dieta y el sistema de cultivo en la supervivencia y desarrollo larval del camarón bandado *Stenopus hispidus*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.004>
- Du, Y., Xu, W., Wu, T., Li, H., Hu, X., & Chen, J. (2022). Enhancement of growth, survival, immunity and disease resistance in *Litopenaeus vannamei* by the probiotic *Lactobacillus plantarum* Ep-M17. *Fish & Shellfish Immunology*, 129, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.08.066>
- Hernández, M. L., Londoño, V. J., Hernández, G. K., & Torres, H. L. (2019). Los sistemas biofloc: Una estrategia eficiente en la producción acuícola. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1). <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Jaies, I., Shah, F. A., Qadiri, S. S. N., Qayoom, I., Bhat, B. A., Dar, S. A., & Bhat, F. A. (2024). Immunological and molecular diagnostic techniques in fish health: Present and future prospectus. *Molecular Biology Reports*, 51, Article 551. <https://doi.org/10.1007/s11033-024-09344-5>
- Kumar, A., Bisht, A., Maqsood, S., Amjad, S., Baghel, S., Jaiswal, S. G., & Wei, S. (2025). The role of microbiome engineering in enhancing food safety and quality. *Biotechnology Notes*, 6, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.biotno.2025.01.001>



- León, B. J., Carrazco, E. J., & Leyva, L. E. (2021). La topología y algunas características clave de la red de conocimiento de la acuicultura de camarón desarrollada en Ahome, Sinaloa. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 30(56). <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.1032>
- López Camarena, J. E. (2024). Futuras innovaciones en el sector acuícola. *Acta Pesquera*, 10(19), 17–25. <https://doi.org/10.60113/ap.v10i19.134>
- Naspirán-Jojoa, D., Fajardo-Rosero, A., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1), 75–97. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>
- Ochoa, H. M., Villanueva, G. E., Martínez, C. L., & Calderón, K. (2023). Tecnología de bioflóculos: Un camino hacia la acuicultura sustentable. *Epistemos*, 17(34), 123–130. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.282>
- Pérez, C. M., Álvarez, C. Y., Soriano, S. J., & Pérez, H. M. (2021). Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura: Una revisión. *Hidrobiológica*, 30(1). <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30n1/perez>
- Pérez, N. S., Mungaray, M. A., & López, L. S. (2018). Explorando un marco de referencia para la caracterización de bioempresas del sector acuícola en Baja California. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 6(18). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.18.64010>
- Sánchez Palacios, L. E., Parrales Durazno, L. E., Villa Aguirre, Y. I., & Romero Sandoval, B. L. (2025). Uso de sensores inteligentes en la agricultura. *Polo del Conocimiento*, 10(9), 310–322. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i9.10302>
- Sánchez, V. F., Rodríguez, A. J., Frey, E. C., & Guerra, N. C. (2026). Microbiomas en acuicultura: Comunidades benéficas y patógenas en sistemas de cultivo de peces y camarón. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 11(6). <https://doi.org/10.23857/pc.v11i6.11932>
- Terreros, G. J., Yarlequé, S. M., & Reyes, A. W. (2026). Efecto de la densidad de *Cryphiops caementarius* en cocultivo con *Oreochromis niloticus* sobre el crecimiento y supervivencia en un sistema de acuicultura de recirculación. *Revista de*



Investigaciones Veterinarias del Perú, 37(2).
<https://doi.org/10.15381/rivep.v37i2.30392>

Urías Rivas, M. O., Lugo Hernández, L. T., Burgos Soto, M. A., & Román Urías, L. Á. (2025). Economía circular en la industria acuícola: Innovación y sostenibilidad. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 7(4), 22–37. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v7i4.1546>

Valverde, A. A. (2026). *Biotecnología y acuicultura: Manejo de enfermedades en especies destinadas a consumo humano. Un análisis bibliográfico* [Trabajo de posgrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/16600>

Yang, Z., Fu, G., Lee, M., Yeo, S., & Yue, G. H. (2025). Genes for editing to improve economic traits in aquaculture fish species. *Aquaculture and Fisheries*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2024.05.005>

CONFLICTO DE INTERESES

No existe.

FINANCIAMIENTO

No aplica.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Olga Leyva Juárez Osorio.

Curación de datos: Olga Leyva Juárez Osorio.

Análisis formal: Olga Leyva Juárez Osorio.

Investigación: Olga Leyva Juárez Osorio.

Metodología: Olga Leyva Juárez Osorio.

Administración del proyecto: Byron Leoncio Díaz Monroy.

Recursos: Byron Leoncio Díaz Monroy.

Software: Byron Leoncio Díaz Monroy.

Supervisión: Byron Leoncio Díaz Monroy.

Validación: Joaquín Alberto Saucedo Zamora.

Visualización: Joaquín Alberto Saucedo Zamora.

Redacción – borrador original: Joaquín Alberto Saucedo Zamora.

Redacción – revisión y edición: Joaquín Alberto Saucedo Zamora.

