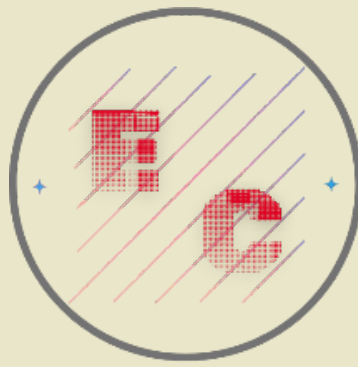




REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 4
Octubre-Diciembre 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 4
Octubre-Diciembre 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



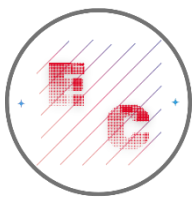
Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 4, Octubre-Diciembre 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 octubre 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 4, 2026, octubre-diciembre

DOI: <https://doi.org/10.71112/aqghh102>

**DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA DOCUMENTACIÓN
TÉCNICA DE PROCESOS EN UNA PLANTA ACUÍCOLA**

**PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAMS (P&ID) FOR TECHNICAL PROCESS
DOCUMENTATION IN AN AQUACULTURE PLANT**

Óscar Wladimir Gómez-Morales

Ronald Humberto Rovira Jurado

Sonnya Patricia Mendoza Lombana

Marcia Marisol Bayas Sampedro

Ecuador

Diagramas de tuberías e instrumentación para la documentación técnica de procesos en una planta acuícola

Piping and instrumentation diagrams (p&id) for technical process documentation in an aquaculture plant

Óscar Wladimir Gómez-Morales^{a,*}

oscargomez@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4654-7231>

Ronald Humberto Rovira Jurado^a

rrovira@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4686-7289>

Sonnya Patricia Mendoza Lombana^a

smendoza@docentes.educacion.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3283-9199>

Marcia Marisol Bayas Sampedro^a

mbayas@upse.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0636-4951>

*Autor de correspondencia: oscargomez@upse.edu.ec, ^a Universidad Estatal Península de Santa Elena – UPSE, Ecuador

RESUMEN

La documentación técnica de una planta de maduración acuícola debe representar con claridad las rutas de agua a temperatura ambiente, de agua caliente, de aireación, de energía térmica y de servicios auxiliares que sustentan la operación. Este trabajo organizó la información obtenida mediante recorridos de campo, la revisión de antecedentes disponibles y las consultas realizadas durante el levantamiento. Un equipo de tres estudiantes de Electrónica y Automatización, con orientación y revisión docente, identificó equipos, tuberías, válvulas, instrumentos y conexiones, y trasladó la información a diagramas de tuberías e instrumentación elaborados con la simbología ISA-5.1. El paquete resultante contiene 51 láminas P&ID y

representa la relación entre la captación y el bombeo, los filtros de grava, los reservorios, las calderas, la distribución térmica, la recirculación, las salas de producción, la aireación y la estación de GLP. Los resultados son descriptivos: documentan la configuración funcional observada y proporcionan una base potencial para localizar activos, interpretar continuidades entre áreas, apoyar el mantenimiento y conservar el conocimiento técnico. No se atribuyen mejoras de desempeño ni indicadores cuantitativos que no hayan sido medidos en la planta.

Palabras clave: documentación técnica; instrumentación industrial; ISA S5.1; planta acuícola; P&ID.

ABSTRACT

Technical documentation for an aquaculture plant must clearly represent the ambient-temperature water, hot-water, aeration, thermal-energy, and auxiliary-service paths that support its operation. This study organized information from field walkdowns, available records, and consultations conducted during data collection. A team of three Electronics and Automation students, with instructor guidance and review, identified equipment, piping, valves, instruments, and connections and transferred the information into piping and instrumentation diagrams prepared using ISA-5.1 symbology. The resulting package contains 51 P&ID sheets and represents the relationships among water intake and pumping, gravel filters, reservoirs, boilers, heat distribution, recirculation, production rooms, aeration, and the LPG station. The findings are descriptive: they document the observed functional configuration and provide a potential basis for locating assets, interpreting continuity between plant areas, supporting maintenance, and preserving technical knowledge. The authors claim no performance improvements or quantitative indicators unless supported by facility measurements.

Keywords: aquaculture plant; industrial instrumentation; ISA S5.1; P&ID; technical documentation.

Recibido: 14 septiembre 2026 | Aceptado: 30 septiembre 2026 | Publicado: 1 octubre 2026

INTRODUCCIÓN

La intensificación de la acuicultura incrementa la dependencia de sistemas hidráulicos, térmicos y de aireación que deben operar de manera coordinada. El crecimiento del sector y su aporte a la producción de alimentos acuáticos hacen que la continuidad de los servicios y la conservación de la información técnica sean asuntos relevantes para la operación industrial (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024). En una planta de maduración acuícola, el agua puede atravesar distintas fases secuenciales: captación, bombeo, filtración, almacenamiento, acondicionamiento térmico, aireación, compensación iónica, desinfección, distribución y retorno. Por ello, una modificación local puede afectar áreas alejadas del punto de captación.

Cuando la información permanece dispersa entre planos parciales, fichas de equipos y el conocimiento del personal, resulta difícil determinar la configuración física y funcional de la planta. Los P&ID proporcionan una representación funcional de los equipos, las líneas, las válvulas, los instrumentos y las señales. La norma ANSI/ISA-5.1-2024 establece convenciones para representar e identificar las funciones de medición y control, lo que facilita una interpretación común entre las áreas de operación, mantenimiento e ingeniería (International Society of Automation [ISA], 2024). Su aplicación no automatiza el proceso, pero sí proporciona una base coherente para describirlo.

En acuicultura, la instrumentación debe interpretarse en conjunto con el comportamiento del sistema. La temperatura, la presión, el nivel, el caudal y la calidad del agua se relacionan con el funcionamiento de las bombas, los filtros, los reservorios y los sistemas térmicos. Las soluciones recientes de monitoreo integran sensores, redes de comunicación y plataformas de supervisión; sin embargo, su utilidad depende de la ubicación de los sensores, del

mantenimiento metrológico y del contexto del proceso (Chen et al., 2022; Flores-Iwasaki et al., 2025; Singh & Walingo, 2024). La selección de sensores también puede basarse en criterios de observabilidad para evitar mediciones aisladas sin una función definida (Inderaja et al., 2022).

Esta relación entre las variables medidas y la configuración del proceso cobra especial importancia en los sistemas de recirculación, donde la reutilización del agua conecta las unidades de tratamiento y de cultivo. Modelos dinámicos recientes muestran que el caudal, el pH, el oxígeno y los compuestos carbonatados y nitrogenados deben analizarse como variables acopladas (dos Santos et al., 2023; Yang et al., 2023a). La documentación previa del circuito permite identificar dónde se originan las corrientes, dónde se mezclan y qué equipos intervienen antes de diseñar estrategias de monitoreo o de control.

El caso documentado en Texcumar S.A. comprendió una red de procesos y servicios representada en un paquete consolidado de P&ID. Las láminas abarcaron el flujo general, la captación y el bombeo, los filtros de grava, los reservorios, las calderas, la distribución de calor, las bombas de calor, la recirculación, las salas de producción, el desove, la resiembra, la eclosión, el despacho, los sopladores principales y la estación de GLP. El artículo se concentra en el levantamiento realizado, la organización funcional del conjunto documental y los hallazgos que pueden sostenerse directamente a partir de las láminas disponibles.

La literatura sobre acuicultura inteligente describe tecnologías de captura y tratamiento de datos, entre ellas, sistemas IoT para la calidad del agua, lógica difusa y recomendaciones operativas (Hemal et al., 2024; Nagothu et al., 2025; Olanubi et al., 2024). Estos desarrollos se presentan únicamente como contexto para etapas posteriores. El objetivo de este trabajo es describir el levantamiento y la organización funcional de los P&ID de la planta mediante un conjunto estructurado de láminas que relaciona la captación, la preparación del agua, el acondicionamiento térmico, la recirculación, la producción y los servicios auxiliares. Esta

documentación constituye una referencia para futuras decisiones. El estudio se limita a la configuración observada y no evalúa el desempeño de la planta.

METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló a partir de la observación de los sistemas y de las áreas funcionales de la planta. Cada uno fue analizado y posteriormente representado en una lámina. El levantamiento fue realizado por tres estudiantes de Electrónica y Automatización, con orientaciones iniciales y revisiones posteriores por parte del equipo docente. Durante los recorridos, se consultó al personal disponible para aclarar los equipos, las rutas y las funciones. La revisión se centró en elementos visibles y continuidades reconocibles; no se realizaron ensayos de desempeño ni se calcularon indicadores de eficiencia.

La recolección comenzó con recorridos técnicos por las instalaciones. Las líneas se siguieron desde su origen hasta su destino reconocible y se registraron cambios de dirección, derivaciones, válvulas, bombas, tanques, filtros, calderas, intercambiadores y puntos de enlace con otras áreas. La observación se contrastó con los documentos disponibles y con aclaraciones operativas obtenidas durante las visitas. Cuando una continuidad no podía confirmarse visualmente, se registraba como pendiente de verificación y no como una inferencia definitiva.

Durante el levantamiento se identificaron las variables y funciones habituales de la instrumentación industrial: la presión, la temperatura, el nivel, el caudal y la velocidad, así como los elementos de medición, de actuación y de energía asociados. La nomenclatura se organizó con base en ISA-5.1, diferenciando los equipos, los instrumentos, las válvulas y las señales.

Los diagramas se prepararon con simbología normalizada y un código de colores para diferenciar los servicios. En las láminas revisadas, el verde identifica agua salada; el azul, agua dulce; el rojo, agua caliente o circuitos térmicos, según la leyenda particular; y el gris, aireación.

Otros colores se reservan para el combustible o la refrigeración. Las hojas contienen campos para título, área, sistema, norma, formato, escala, unidades, revisión y leyenda. La expresión «no a escala» indica que la geometría es funcional y no una representación dimensional de la instalación.

La revisión preliminar consistió en comparar las láminas con la información recopilada y en comprobar la correspondencia visible entre los equipos, las rutas y las continuidades. También se revisó la legibilidad de los códigos de identificación y de los enlaces entre las hojas. Como resultado, se identificaron continuidades pendientes de verificar antes de emitir los diagramas como documentación as-built.

Para el análisis documental, se examinaron las 51 láminas P&ID del archivo. Las láminas se clasificaron según el área funcional representada, a partir de sus títulos y de su contenido gráfico.

RESULTADOS

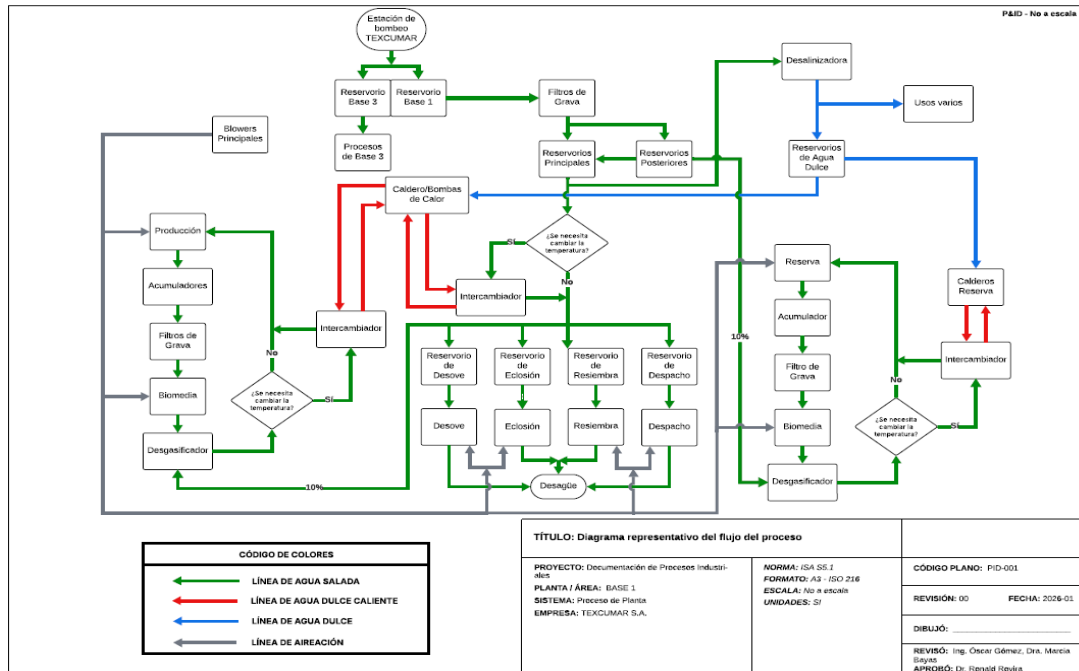
El resultado principal es un paquete de 51 láminas P&ID que permite recorrer la representación de la planta desde una vista general hasta las áreas específicas. La primera lámina sintetiza el flujo entre la captación y el bombeo, los reservorios, los filtros, las áreas de producción, los acumuladores, los medios de filtración biológica (biomedia), la desgasificación, el acondicionamiento térmico y los puntos de uso de agua dulce. Este diagrama general sirve como índice funcional del conjunto y muestra la relación entre los servicios antes de presentar el detalle de los equipos y las válvulas.

La lectura conjunta permitió distinguir cuatro familias principales de corrientes: el agua salada, el agua dulce, el agua caliente y el aire de los sistemas de aireación. Las leyendas incorporan otros servicios cuando aparecen el GLP, el combustible o la refrigeración. El color facilita el seguimiento visual, pero la identificación no debe depender exclusivamente de él; los

nombres de las líneas, las flechas de dirección y los códigos de identificación deben conservar la información cuando el documento se reproduce en escala de grises.

Figura 1

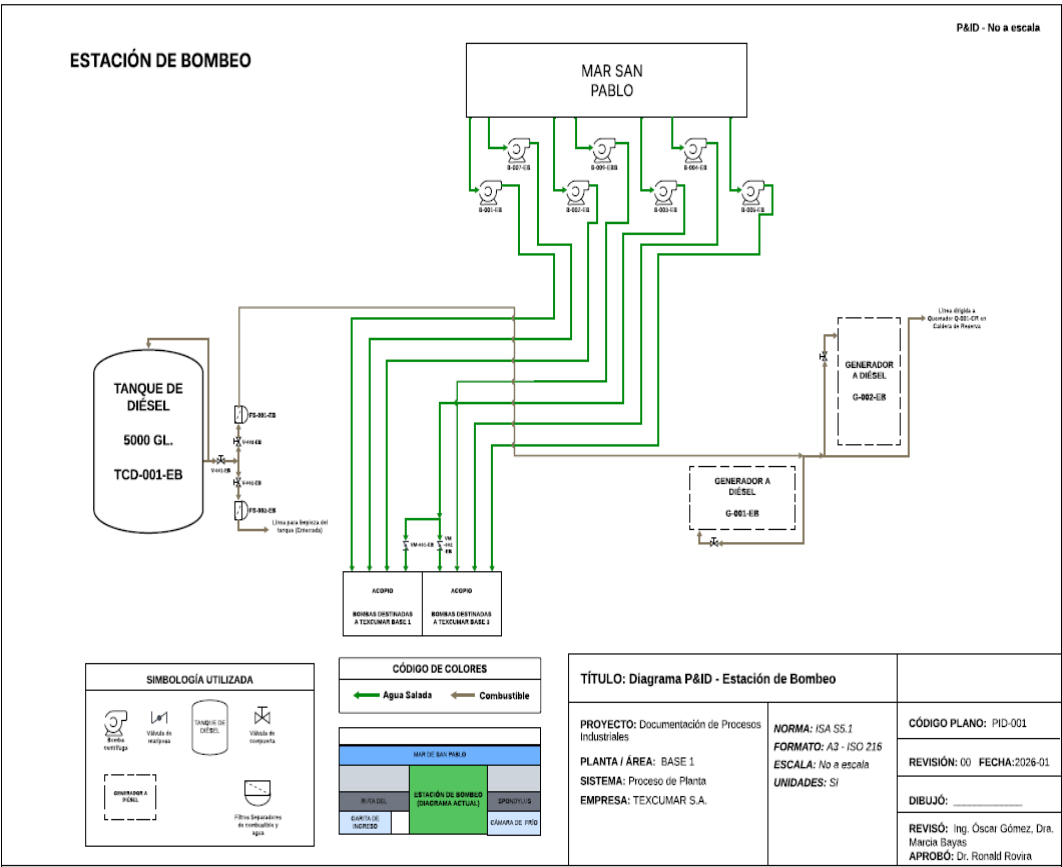
Diagrama representativo del flujo general del proceso



Nota. Diagrama general del proceso de la planta acuícola Texcumar S.A. , donde se levantó la información de los P&IDs ; se preservan las rutas y la leyenda del proceso.

La estación de bombeo representa la captación del mar y la distribución hacia distintos puntos de acopio. La misma lámina documenta el tanque de diésel, los elementos de aislamiento, los filtros separadores y los generadores. La coexistencia de agua salada y combustible en un plano funcional permite reconocer interfaces entre servicios, aunque cada sistema mantiene una ruta y una identificación diferenciadas.

Figura 2
P&ID de la estación de bombeo

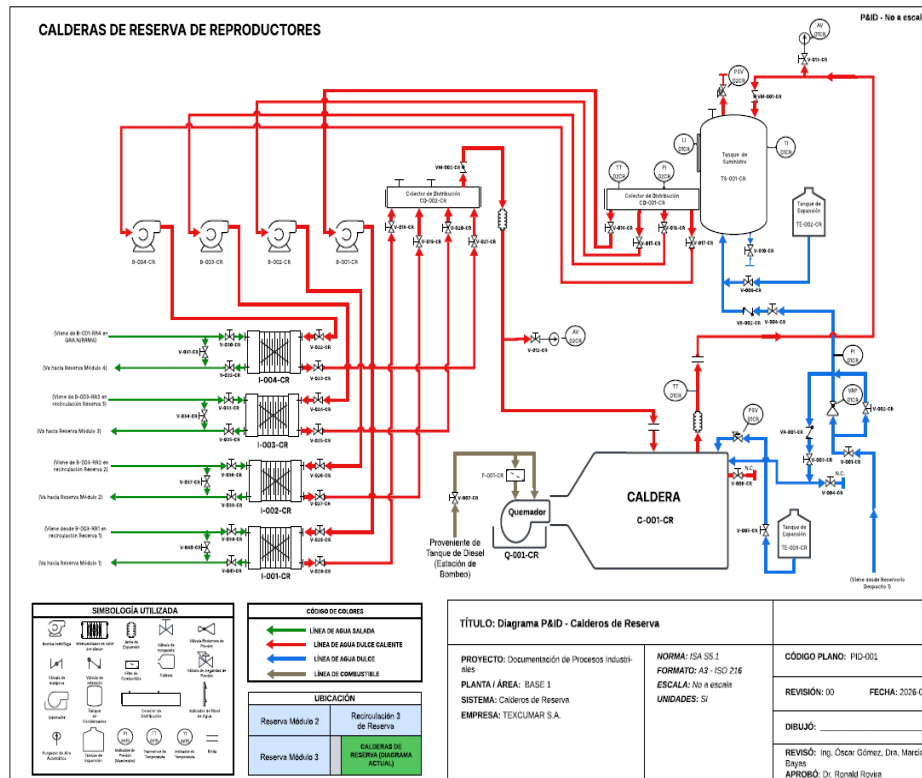


Nota. Diagrama P&ID del área de bombeo. Se observan bombas identificadas, colectores de salida, un tanque de diésel y generadores.

El sistema térmico se documentó mediante láminas de las calderas de producción, los distribuidores de calor, las bombas de calor, el sistema de enfriamiento y las calderas de reserva. En la representación de las calderas de producción se muestran los equipos Q-001-CP y Q-002-CP, la alimentación de agua dulce, el retorno y la salida de agua caliente, la línea de GLP, las válvulas y los indicadores de presión. La hoja permite asociar el suministro de combustible con el circuito de agua sin confundir ambos servicios.

Figura 3

P&ID de las calderas de reserva de reproductores.

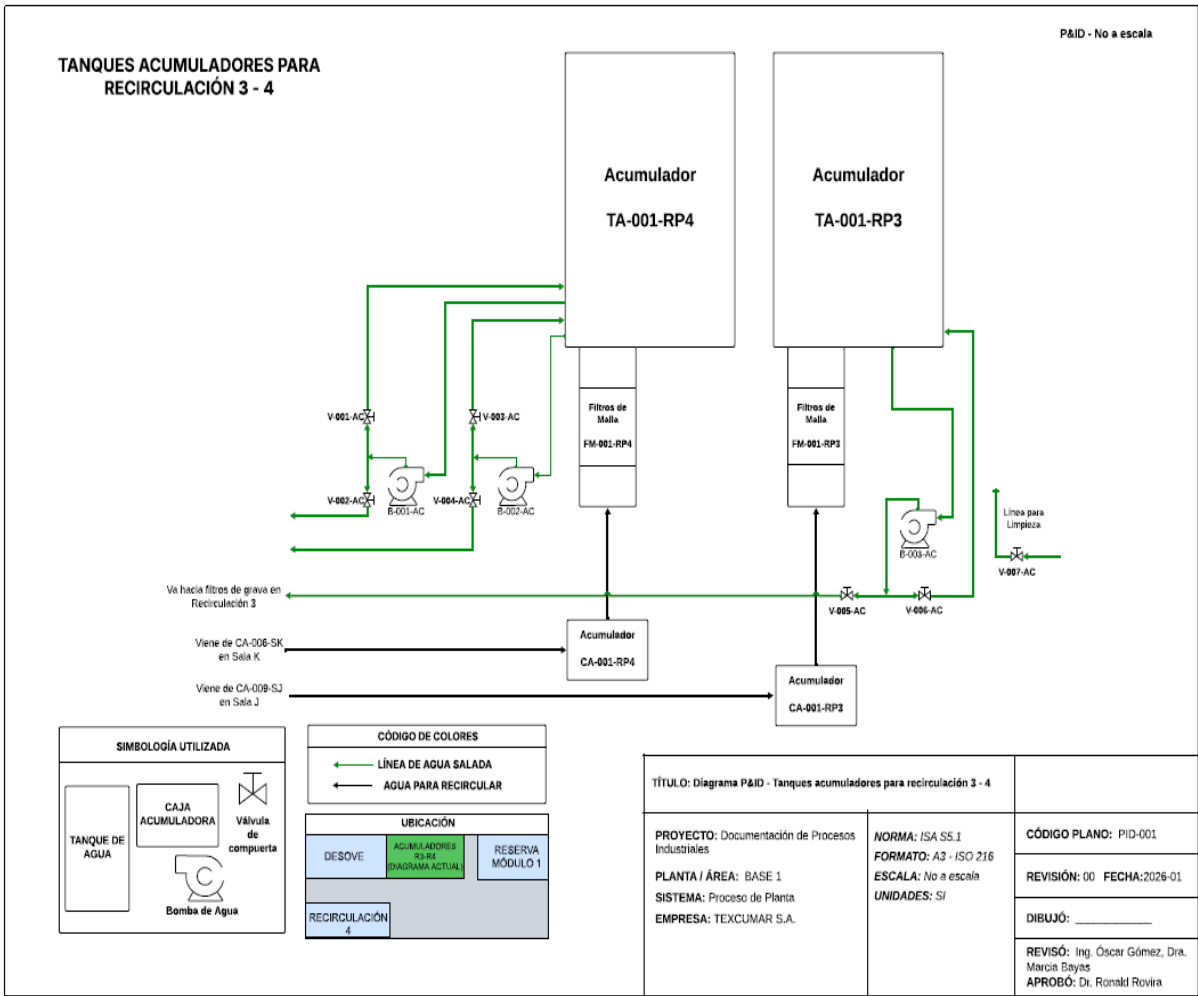


Nota. Diagrama P&ID del área de calderas. La imagen muestra calderas, quemadores, líneas de agua y de GLP, válvulas e indicación de presión.

Las láminas de recirculación muestran tanques, cajas acumuladoras, bombas, filtros de malla, válvulas y conexiones con otras salas. En los tanques acumuladores de los circuitos 3 y 4 se observan corrientes que retornan desde áreas de producción y líneas que se dirigen a la filtración o a la limpieza. La representación hace visible la relación entre el almacenamiento temporal, el bombeo y la separación mecánica.

Figura 4

P&ID de tanques acumuladores para recirculación 3-4

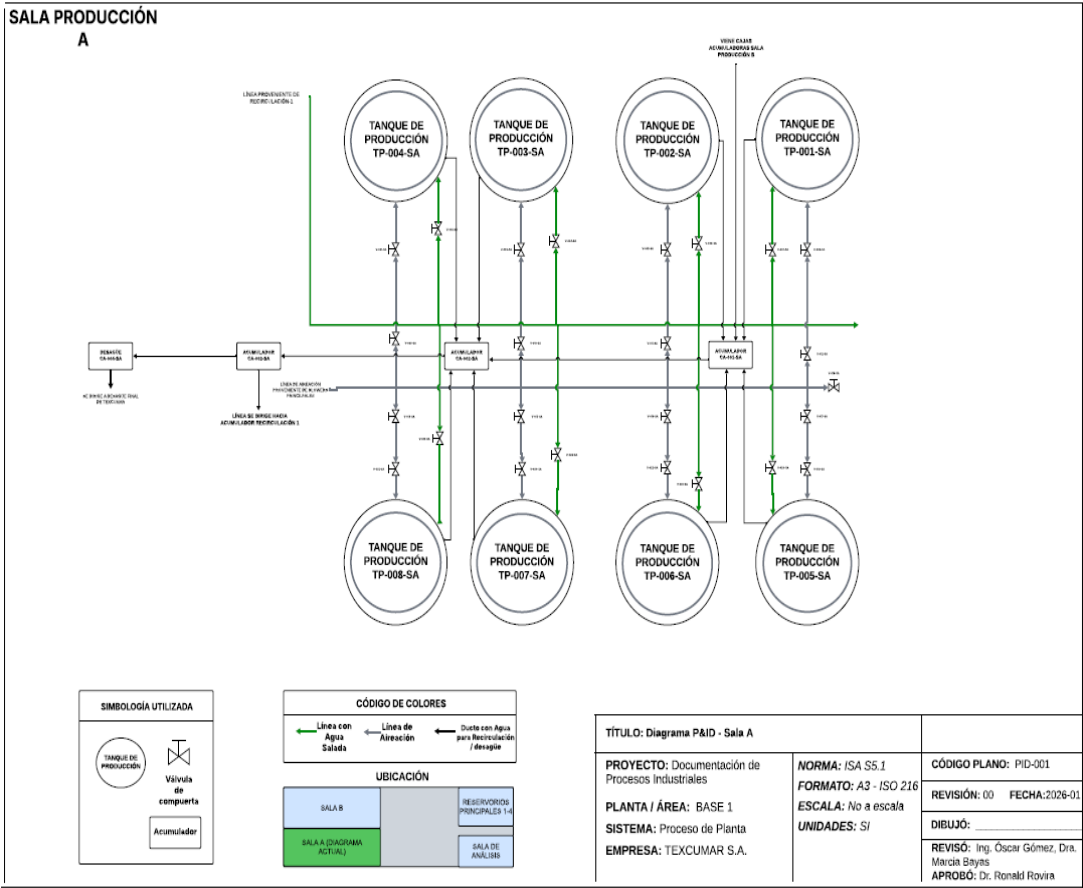


Nota. Diagrama P&ID del área de tanques acumuladores. Se muestran acumuladores, bombas, filtros de malla y líneas de recirculación.

Las salas de producción se representaron mediante tanques individuales, válvulas, líneas de agua salada, de aireación y de agua dulce, y ductos de retorno hacia los acumuladores. La lámina de la sala M muestra nueve tanques de producción conectados a colectores comunes y varias cajas acumuladoras. La estructura gráfica permite seguir la

alimentación, la aireación, el retorno y el desagüe sin atribuir caudales ni capacidades que no figuran en la documentación.

Figura 5
P&ID de la sala de producción A



Nota. Diagrama P&ID de la sala de producción. Se observan tanques de producción, válvulas, colectores, aireadores, agua dulce y acumuladores.

El levantamiento permitió identificar y organizar los principales sistemas de proceso, equipos, líneas de conducción, elementos de control e instrumentación asociados con la operación. A partir de los recorridos, la inspección visible y el seguimiento de tuberías, los P&ID se agruparon según la función de cada sistema en la planta.

La Tabla 1 presenta la organización funcional resultante. La clasificación resume la relación entre la captación y la preparación del agua, la generación y la distribución térmica, la recirculación, las áreas de producción y los servicios auxiliares.

Tabla 1.
Organización funcional de los sistemas representados mediante diagramas P&ID.

Bloque funcional	Sistemas y áreas representadas
Vista general del proceso	Flujo general e interconexión de los principales sistemas de la planta
Captación, bombeo y preparación	Estación de bombeo, filtros de grava y reservorios
Sistema térmico	Calderas, distribuidores térmicos, bombas y sistemas de reserva
Recirculación y acumulación	Circuitos de recirculación, filtros, bombas y acumuladores
Salas de producción	Salas A y C–N, tanques de producción, sistemas de aireación y líneas de retorno
Etapas de proceso	Desove, resiembra, eclosión y despacho
Servicios auxiliares	Blowers principales, distribución de aire y estación de GLP

El conjunto representa las conexiones funcionales entre las distintas etapas del proceso acuícola. Incluye el desove, la resiembra, la eclosión y el despacho, así como los servicios auxiliares que abastecen las áreas de producción. La estación de GLP reúne los elementos de almacenamiento, regulación de la presión, indicación, protección contra incendios y suministro

a las calderas. Los sopladores principales suministran aire a los tanques, las salas de producción y las unidades con medios de filtración biológica.

Durante la elaboración de los P&ID se asignaron códigos de identificación a las bombas, los tanques, los acumuladores, los filtros, las válvulas y los instrumentos. Esta codificación permite diferenciar los equipos con funciones similares y seguir las conexiones entre los sistemas. También se incorporaron referencias entre las láminas para representar la continuidad de las tuberías y los servicios que atraviesan distintas áreas, evitando concentrar toda la información en un único esquema.

En conjunto, las láminas documentan las rutas principales de agua, de aireación, de energía térmica y de servicios auxiliares. Esta representación constituye una base técnica potencial para identificar activos, seguir las líneas de proceso, interpretar las interdependencias y planificar actividades posteriores de mantenimiento, instrumentación, control o automatización.

DISCUSIÓN

La principal contribución del conjunto P&ID es hacer explícitas las relaciones entre las áreas. El diagrama general muestra la secuencia funcional, mientras que las láminas específicas incluyen los códigos de identificación, las válvulas y las conexiones. Esta combinación proporciona una representación común para futuras revisiones técnicas y es coherente con el propósito de ISA-5.1, que es uniformar la representación y la identificación de las funciones de instrumentación y control (ISA, 2024).

La documentación de los sistemas de bombeo, almacenamiento y recirculación permitió representar las relaciones entre los equipos y las rutas del agua. Este resultado es relevante porque el monitoreo acuícola requiere considerar conjuntamente la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y otras variables en la configuración del proceso (Al-Mutairi & Al-Aubidy, 2023;

Amaliah et al., 2023; Kumar et al., 2022). En este contexto, los P&ID proporcionan la información funcional necesaria para analizar posteriormente dónde ubicar los instrumentos y qué función debería cumplir cada medición.

Las tecnologías de bajo costo, como LoRa e IoT, amplían las posibilidades de adquisición remota (Hu et al., 2022; Jayadi et al., 2022; Silalahi et al., 2022; Susanti et al., 2022; Zamzari et al., 2022). No obstante, las láminas analizadas no demuestran que estas tecnologías estén instaladas. Distinguir la configuración representada de las alternativas futuras evita atribuir a la planta capacidades no confirmadas.

La representación conjunta de los elementos de los circuitos térmicos permite identificar las interfaces entre el suministro de combustible y el circuito de agua. Esto resulta relevante porque el bombeo, el tratamiento del agua y el acondicionamiento térmico figuran entre los componentes asociados al consumo energético de los sistemas acuícolas (Ayuso-Virgili et al., 2023; Viglia et al., 2022). Los P&ID proporcionan una base para planificar un análisis energético posterior, que deberá complementarse con mediciones de la instalación.

La representación de los colectores compartidos y de los retornos hacia los acumuladores permite identificar puntos en los que una intervención podría afectar a varios tanques. Esta información funcional constituye un antecedente para futuras estrategias de supervisión y control, cuyos modelos requieren datos confiables y una definición clara del proceso representado (Wei et al., 2023; Yang et al., 2023a, 2023b).

Las áreas de desove, resiembra, eclosión y despacho muestran que el flujo documental acompaña las distintas etapas operativas. La incorporación futura de sensores, controladores y sistemas de análisis aumentaría la necesidad de mantener códigos de identificación y revisiones consistentes (Hegde et al., 2022; Liu et al., 2025). Sin embargo, dichas tecnologías no forman parte de los resultados del presente levantamiento.

La automatización futura podría incluir la supervisión de la calidad del agua, las alarmas, el historial de variables y el control de equipos. En sistemas acuapónicos y acuícolas, se han investigado estrategias basadas en aprendizaje automático para la regulación y optimización de nutrientes (Dhal et al., 2022a, 2022b), así como técnicas de control predictivo orientadas a la operación de sistemas acuícolas de recirculación (Patrón & Ricardez-Sandoval, 2023). Estas alternativas, junto con soluciones basadas en lógica difusa, IoT, blockchain y monitoreo de estanques (Kumar et al., 2023; Nagothu et al., 2025; Premkkumar et al., 2023; Setiawan & Surantha, 2023), representan posibilidades para etapas posteriores de modernización y automatización, pero no constituyen resultados del presente proyecto.

La documentación también puede apoyar análisis posteriores de bioseguridad y bienestar, pues la pérdida de la aeración, la circulación o el acondicionamiento térmico puede generar condiciones adversas. Las investigaciones sobre hipoxia y la detección automática de mortalidad muestran interés en relacionar variables ambientales con la observación de los organismos (Müller et al., 2023; Ranjan et al., 2023). El archivo analizado no contiene registros biológicos que permitan evaluar dichos efectos en la planta.

Las tecnologías de tratamiento avanzado también requieren documentación de los límites, las mediciones y los elementos de seguridad. Xue et al. (2023) documentaron efectos positivos y riesgos biológicos asociados a O₃ y O₃/UV en condiciones experimentales. Esta evidencia no se extrapola a Texcumar; únicamente refuerza la necesidad de representar cada incorporación tecnológica junto con sus condiciones de operación y de protección.

La administración del conjunto requiere controlar las revisiones. Para conservar su utilidad, cada cambio físico deberá originar una actualización coordinada de los P&ID, las listas de equipos, las fichas técnicas, los planos eléctricos y la lógica de control, cuando corresponda. La entrega digital e impresa también debería ir acompañada de un procedimiento de gestión documental y de capacitación para quienes consulten o modifiquen las láminas.

La principal limitación es que el estudio se sustenta en el paquete PDF disponible. No se contó con archivos editables de los P&ID, registros formales de validación por lámina, fotografías de campo autorizadas, una base de datos consolidada de códigos de identificación ni resultados de comisionamiento. Algunas hojas presentan títulos genéricos o códigos repetidos; estos aspectos deben revisarse antes de emitir una versión as-built. Las 51 láminas se encuentran en un archivo de 52 páginas, por lo que la página adicional no debe interpretarse como un P&ID.

Otra limitación es la falta de datos operacionales para comparar las condiciones previas y posteriores. En consecuencia, no se calculan los niveles de automatización, la cobertura de variables, la reducción de fallas, el ahorro ni el retorno económico. La literatura citada sustenta el contexto técnico, pero no se utiliza para extrapolar los resultados a Texcumar S.A. Esta separación preserva la correspondencia entre la evidencia y las afirmaciones.

CONCLUSIONES

El levantamiento y la elaboración de 51 láminas P&ID permitieron organizar en un mismo paquete documental los sistemas de captación y bombeo, filtración, almacenamiento, acondicionamiento térmico, recirculación, producción y servicios auxiliares de Texcumar S.A. El trabajo fue ejecutado por tres estudiantes de Electrónica y Automatización, con orientación y revisión del equipo docente y con consultas técnicas realizadas durante los recorridos.

Las 51 láminas P&ID contenidas en el archivo de 52 páginas constituyen evidencia de cobertura documental, no una medida de automatización ni de desempeño. Los diagramas representan los equipos, las rutas, las válvulas, los instrumentos, los códigos de color, las referencias entre hojas y los códigos de identificación. Esta estructura proporciona una base potencial para localizar activos, interpretar continuidades y conservar el conocimiento técnico.

La versión analizada no contiene datos suficientes para calcular indicadores de automatización, ahorro, inversión, retorno, reducción de fallas ni cambios productivos. Cualquier evaluación cuantitativa futura deberá basarse en inventarios aprobados, series históricas, pruebas de campo y criterios explícitos de comparación.

Antes de emitir los diagramas como documentación as-built, se recomienda cerrar las continuidades pendientes, revisar los títulos y los códigos, consolidar un índice maestro y vincular cada tag a su hoja de datos. Las actualizaciones posteriores deberán gestionarse mediante control de cambios para mantener la correspondencia entre los P&ID y la planta.

El conjunto puede servir de base para estudios posteriores de instrumentación, supervisión o control, siempre que dichas propuestas se distingan de la configuración actualmente representada. La secuencia recomendada es verificar, documentar, mantener y, posteriormente, diseñar mejoras basadas en los datos de la instalación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la participación de los tres estudiantes de Electrónica y Automatización que realizaron el levantamiento de campo y elaboraron las láminas P&ID, con orientación y revisión docentes. La identificación nominal deberá incorporarse únicamente con su consentimiento.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con este artículo

Declaración de contribución a la autoría

Óscar Wladimir Gómez Morales: Conceptualización, metodología, análisis formal, administración del proyecto, supervisión, revisión técnica, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción.

Ronald Humberto Rovira Jurado: Conceptualización, coordinación del levantamiento técnico, revisión de la identificación de equipos e instrumentación, supervisión, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción.

Sonnya Patricia Mendoza Lombana: Investigación, análisis formal, metodología, interpretación de la información técnica, validación, revisión y edición de la redacción.

Marcia Marisol Bayas Sampedro: Investigación, recopilación y organización de la información; análisis de resultados; recursos; validación, revisión y edición de la redacción.

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores utilizaron OpenAI Codex como apoyo para la revisión editorial, la corrección lingüística, la organización del texto y la comprobación de la consistencia interna. La identificación de los sistemas, la interpretación de los diagramas, las decisiones metodológicas, la selección y verificación de las fuentes y la aprobación del contenido final permanecen bajo la responsabilidad de los autores. La herramienta de inteligencia artificial no figura como autora ni sustituye la revisión técnica y científica del manuscrito.

REFERENCIAS

Al-Mutairi, A. W., & Al-Aubidy, K. M. (2023). IoT-based smart monitoring and management system for fish farming. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(3), 1435-1446. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i3.3365>

Amaliah, F. I., Gunawan, A. I., Taufiqurrahman, Dewantara, B. S. B., & Saputra, F. A. (2023). Water quality level for shrimp pond at Probolinggo area based on fuzzy classification system. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 19(1). <https://doi.org/10.17529/jre.v19i1.28631>

Ayuso-Virgili, G., Jafari, L., Lande-Sudall, D., & Lummen, N. (2023). Linear modelling of the mass balance and energy demand for a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 101, 102330. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102330>

Chen, C.-H., Wu, Y.-C., Zhang, J.-X., & Chen, Y.-H. (2022). IoT-based fish farm water quality monitoring system. *Sensors*, 22(17), 6700. <https://doi.org/10.3390/s22176700>

Dhal, S. B., Bagavathiannan, M., Braga-Neto, U., & Kalafatis, S. (2022a). Can machine learning classifiers be used to regulate nutrients using small training datasets for aquaponic irrigation? A comparative analysis. *PLOS ONE*, 17(8), e0269401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269401>

Dhal, S. B., Bagavathiannan, M., Braga-Neto, U., & Kalafatis, S. (2022b). Nutrient optimization for plant growth in aquaponic irrigation using machine learning for small training datasets. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.05.001>

dos Santos, A. M., Bernardino, L. F., Attramadal, K. J. K., & Skogestad, S. (2023). Steady-state and dynamic model for recirculating aquaculture systems with pH included. *Aquacultural Engineering*, 102, 102346. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102346>

Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., & Chapa-Gonza, S. (2025). Internet of Things sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A systematic review and bibliometric analysis. *AgriEngineering*, 7(3), 78. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Hegde, S., Kumar, G., Engle, C., Hanson, T., Roy, L. A., Cheatham, M., Avery, J., Aarattuthodiyil, S., Van Senten, J., Johnson, J., Wise, D., Dahl, S., Dorman, L., & Peterman, M. (2022). Technological progress in the US catfish industry. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2), 367-383. <https://doi.org/10.1111/jwas.12877>

Hemal, M. M., Rahman, A., Nurjahan, Islam, F., Ahmed, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, M. R. (2024). An integrated smart pond water quality monitoring and fish farming recommendation AquaBot system. *Sensors*, 24(11), 3682. <https://doi.org/10.3390/s24113682>

Hu, W.-C., Chen, L.-B., Wang, B.-H., Li, G.-W., & Huang, X.-R. (2022). An AIoT-based water quality inspection system for intelligent aquaculture. 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics. <https://doi.org/10.1109/GCCE56475.2022.10014181>

Inderaja, B. M., Tarigan, N. B., Verdegem, M. C. J., & Keesman, K. J. (2022). Observability-based sensor selection in fish ponds: Application to pond aquaculture in Indonesia. *Aquacultural Engineering*, 98, 102258. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102258>

International Society of Automation. (2024). ANSI/ISA-5.1-2024: Instrumentation and control - Symbols and identification. ISA.

Jayadi, A., Samsugi, S., Ardilles, E. K., & Adhinata, F. D. (2022). Monitoring water quality for catfish ponds using fuzzy Mamdani method with Internet of Things. 2022 International Conference on Information Technology Research and Innovation. <https://doi.org/10.1109/ICITRI56423.2022.9970242>

Kumar, B. V., Bharat, A., Venkat, E. G., Harsha, Y. S., & Sree, A. U. (2022). Analysis of an IoT based water quality monitoring system. 2022 6th International Conference on I-SMAC. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC55078.2022.9987360>

Kumar, S. R., Mohammed, T. K., Rao, S. S., Bakhare, R., Kumar, A., & Sarkar, S. (2023). IoT-based fish pond monitoring system to enhance its productivity. 2023 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics. <https://doi.org/10.1109/ICIPTM57143.2023.10117894>

Liu, L., Cheng, W., & Kuo, H.-W. (2025). A narrative review on smart sensors and IoT solutions for sustainable agriculture and aquaculture practices. *Sustainability*, 17(12), 5256.

<https://doi.org/10.3390/su17125256>

Müller, J., Houben, N., & Pauly, D. (2023). On being the wrong size, or the role of body mass in fish kills and hypoxia exposure. *Environmental Biology of Fishes*, 106(7), 1651-1667.

<https://doi.org/10.1007/s10641-023-01442-w>

Nagothu, S. K., Bindu Sri, P., Anitha, G., Vincent, S., & Kumar, O. P. (2025). Advancing aquaculture: Fuzzy logic-based water quality monitoring and maintenance system for precision aquaculture. *Aquaculture International*, 33, 32. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01701-2>

Olanubi, O. O., Akano, T. T., & Asaolu, O. S. (2024). Design and development of an IoT-based intelligent water quality management system for aquaculture. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 11, 15. <https://doi.org/10.1186/s43067-024-00139-z>

Patrón, G. D., & Ricardez-Sandoval, L. (2023). Economic model predictive control of a recirculating aquaculture system. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 6156-6161.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.723>

Premkkumar, V. P., Gayathri, C., Priyadharshini, P., & Praveenkumar, G. (2023). AI & IoT based control and traceable aquaculture with secured data using blockchain technology. 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems.

<https://doi.org/10.1109/ICEARS56392.2023.10085006>

Ranjan, R., Sharrer, K., Tsukuda, S., & Good, C. (2023). MortCam: An artificial intelligence-aided fish mortality detection and alert system for recirculating aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 102, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102341>

Setiawan, B., & Surantha, N. (2023). Penerapan quality function deployment pada desain smart aquaculture untuk sektor tambak udang vaname berbasis IoT. *Journal of Information System Research*, 4(2). <https://doi.org/10.47065/josh.v4i2.2806>

Silalahi, A. O., Sinambela, A., Pardosi, J. T., & Panggabean, H. M. (2022). Automated water quality monitoring system for aquaponic pond using LoRa TTGO SX1276 and Cayenne platform. 2022 International Conference of Computer, Science and Information Technology.

<https://doi.org/10.1109/ICOSNIKOM56551.2022.10034916>

Singh, Y., & Walingo, T. (2024). Smart water quality monitoring with IoT wireless sensor networks. *Sensors*, 24(9), 2871. <https://doi.org/10.3390/s24092871>

Susanti, N. D., Sagita, D., Apriyanto, I. F., Anggara, C. E., Darmajana, D. A., & Rahayuningtyas, A. (2022). Design and implementation of water quality monitoring system in aquaculture using IoT at low cost. *Advances in Biological Sciences Research*.

<https://doi.org/10.2991/absr.k.220101.002>

Viglia, S., Brown, M. T., Love, D. C., Fry, J. P., Scroggins, R., & Neff, R. A. (2022). Analysis of energy and water use in USA farmed catfish: Toward a more resilient and sustainable production system. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134796.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134796>

Wei, T. Y., Tindik, E. S., Fui, C. F., Haviluddin, & Hijazi, M. H. (2023). Automated water quality monitoring and regression-based forecasting system for aquaculture. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(1). <https://doi.org/10.11591/eei.v12i1.4464>

Xue, W., Zhang, C., & Zhou, D. (2023). Positive and negative effects of recirculating aquaculture water advanced oxidation. *Water Research*, 235, 119835.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119835>

Yang, J., Jia, L., Guo, Z., Shen, Y., Li, X., Mou, Z., Yu, K., & Lin, J. C.-W. (2023a). 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>

Yang, P.-Y., Liao, Y.-C., & Chou, F.-I. (2023b). Artificial intelligence in Internet of Things system for predicting water quality in aquaculture fishponds. *Computer Systems Science and Engineering*. <https://doi.org/10.32604/csse.2023.036810>

Zamzari, N. Z., Kassim, M., & Yusoff, M. (2022). Analysis and development of IoT-based aqua fish monitoring system. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. https://doi.org/10.46338/ijetae1022_20