



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA  
SUPERVISIÓN CONTINUA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL  
AGUA EN CULTIVOS DE CAMARÓN UTILIZANDO TECNOLOGÍA  
LORAWAN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** Alejandro Isaac Sánchez Tenesaca  
Nick Kevin Juela Bohórquez  
**TUTOR:** Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa

Guayaquil - Ecuador  
2026

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a hand-drawn oval border. The signature is stylized and appears to be the name of the tutor, Tomás Santiago Gavilánez Gamboa.

19/02/26

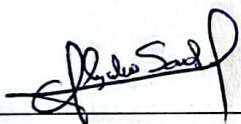
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Alejandro Isaac Sánchez Tenesaca** con documento de identificación N° **0956910483** y **Nick Kevin Juela Bohórquez** con documento de identificación N° **0942134271**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



---

Alejandro Isaac Sánchez Tenesaca  
0956910483



---

Nick Kevin Juela Bohórquez  
0942134271

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Alejandro Isaac Sanchez Tenesaca** con documento de identificación N° **0956910483** y **Nick Kevin Juela Bohórquez** con documento de identificación N° **0942134271**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA SUPERVISIÓN CONTINUA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN CULTIVOS DE CAMARÓN UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORAWAN**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

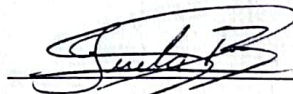
Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



---

Alejandro Isaac Sanchez Tenesaca  
0956910483



---


Nick Kevin Juela Bohórquez  
0942134271

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Tomás Santiago Gavilánez Gamboa**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA SUPERVISIÓN CONTINUA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN CULTIVOS DE CAMARÓN UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORAWAN**, realizado por **Alejandro Isaac Sanchez Tenesaca** con documento de identificación N° **0956910483** y por **Nick Kevin Juela Bohórquez** con documento de identificación N° **0942134271**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2026

Atentamente,



Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa, Mg.  
1802792646

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Alejandro José Sánchez Almeida y Margarita del Rocío Tenesaca Santos, quienes han sido mi inspiración y el motor constante en cada etapa de mi vida. Su amor, ejemplo y sacrificio han hecho posible este logro.

A mi novia, Alejandra Maydene Madero Lascano, por acompañarme con paciencia y cariño durante este proceso, siendo apoyo y motivación en cada momento.

**Alejandro Isaac Sanchez Tenesaca**

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre Filomena Clementina Bohórquez Garcia, quien es el motor de mi vida y gracias a su esfuerzo y gran sacrificio lograré terminar mis estudios universitarios. A mi padre Segundo Angel Juela Lata quien me enseñó a trabajar arduamente para conseguir y lograr todos mis objetivos, quien en vida me enseña lo importante que es la perseverancia y lo duro que puede ser la vida, pero a pesar de la dificultad mientras exista un rayo de luz nada malo pasara. Ambos me guiaron con su amor y perseverancia a lo largo de mi vida. A mi hermana Maria Carolina Juela Bohórquez quien a demás de mis padres ha estado en todo momento en cada paso que he dado como también en cada caída.

Dedico esta investigación a toda mi familia, que me han enseñado que el mejor regalo que se puede dar en la vida es la educación, el cual es un puente que nos permite aprender e innovar a nuevos mundos en donde los sueños son posibles.

**Nick Kevin Juela Bohórquezl**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mis padres, Alejandro José Sánchez Almeida y Margarita del Rocío Tenesaca Santos, por brindarme el apoyo moral y los recursos necesarios para culminar mi formación profesional.

Al tutor de tesis, Tomas Gavilanez, por su asesoría académica, orientación metodológica y acompañamiento constante en el desarrollo de este trabajo investigativo.

A mi novia, Alejandra Maydene Madero Lascano, por su comprensión durante las jornadas de dedicación a este proyecto y por su apoyo emocional a lo largo de esta etapa.

**Alejandro Isaac Sanchez Tenesaca**

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. Su guía y bendición han sido fundamentales en cada desafío enfrentado durante este camino.

Expreso mi sincero agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, quienes han formado parte esencial de mi crecimiento académico y profesional. Gracias a su conocimiento, dedicación y apoyo constante, me brindaron las herramientas necesarias para proyectarme hacia un futuro exitoso como Ingeniero Mecatrónico.

Asimismo, agradezco a todas las amistades que la universidad me permitió conocer, tanto de manera directa como indirecta. Cada una de ellas ha sido parte importante de este proceso, demostrando ser grandes seres humanos que me brindaron su apoyo incondicional, especialmente en los momentos más difíciles. Gracias por acompañarme y por hacer de este camino una experiencia más enriquecedora y significativa.

**Nick Kevin Juela Bohórquez**

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolló e implementó una plataforma IoT para la supervisión continua de parámetros fisicoquímicos del agua en cultivos de camarón, utilizando tecnología de comunicación LoRaWAN. El sistema fue diseñado con el objetivo de optimizar el monitoreo en tiempo real de variables críticas como pH, temperatura, oxígeno disuelto y salinidad, contribuyendo a la prevención de enfermedades y a la mejora del rendimiento productivo en granjas acuícolas.

El prototipo implementado integra sensores especializados conectados a un microcontrolador ESP32 con tecnología LoRa, permitiendo la transmisión de datos hacia un gateway LoRaWAN y su posterior almacenamiento en una base de datos InfluxDB. Para la visualización y análisis de la información se desarrollaron dashboards en Node-RED y Grafana, facilitando la supervisión remota y la generación de alertas ante valores fuera de los rangos óptimos. Adicionalmente, se diseñó una estructura mecánica flotante mediante SolidWorks para la instalación segura del sistema en campo, garantizando estabilidad y protección de los componentes electrónicos.

La validación del sistema se realizó en una piscina camaronera, donde se comprobó la correcta adquisición, transmisión y almacenamiento de datos en tiempo real. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de tecnologías IoT basadas en LoRaWAN representa una alternativa eficiente y de bajo costo para pequeños y medianos productores, permitiendo mejorar la toma de decisiones, reducir riesgos sanitarios y fortalecer la sostenibilidad del sector camaronero ecuatoriano.

**Palabras claves:** IoT, LoRaWAN, calidad del agua, acuicultura, camaroneras, monitoreo remoto, pH, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad.

## ABSTRACT

In the present thesis work, an IoT-based platform was developed and implemented for the continuous monitoring of physicochemical water parameters in shrimp farming systems, using LoRaWAN communication technology. The system was designed to optimize real-time monitoring of critical variables such as pH, temperature, dissolved oxygen, and salinity, contributing to disease prevention and improved productivity in aquaculture farms.

The implemented prototype integrates specialized sensors connected to an ESP32 microcontroller with LoRa technology, enabling data transmission to a LoRaWAN gateway and subsequent storage in an InfluxDB database. For data visualization and analysis, dashboards were developed using Node-RED and Grafana, facilitating remote supervision and alert generation when parameters exceed optimal ranges.

Additionally, a floating mechanical structure was designed using SolidWorks to ensure safe field installation, providing stability and protection for electronic components. System validation was carried out in a shrimp pond, where proper data acquisition, transmission, and real-time storage were successfully verified.

The obtained results demonstrate that the implementation of LoRaWAN-based IoT technologies represents an efficient and low-cost alternative for small and medium-scale producers, improving decision-making processes, reducing sanitary risks, and strengthening the sustainability of the Ecuadorian shrimp farming sector.

**Keywords:** IoT, LoRaWAN, water quality, aquaculture, shrimp farming, remote monitoring, pH, dissolved oxygen, temperature, salinity.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>Introducción</b>	1
<b>II.</b>	<b>Problema</b>	2
<b>III.</b>	<b>Justificación</b>	3
<b>IV.</b>	<b>Objetivos</b>	4
IV-A.	Objetivo general . . . . .	4
IV-B.	Objetivos específicos . . . . .	4
<b>V.</b>	<b>Marco Teórico</b>	5
V-A.	El camarón y su contexto biológico . . . . .	5
V-A1.	Introducción al camarón . . . . .	5
V-A2.	Especies de camarón en el Ecuador . . . . .	6
V-A3.	Biología y fisiología del camarón . . . . .	7
V-A4.	Alimentación del camarón . . . . .	10
V-A5.	Factores de estrés . . . . .	11
V-B.	Producción camaronera en el Ecuador . . . . .	11
V-B1.	Ciclo de producción del camarón . . . . .	12
V-B2.	Impacto del camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> en el Ecuador . . . . .	15
V-B3.	Parámetros ideales para el crecimiento del camarón . . . . .	16
V-B4.	Indicadores clave para camaroneras . . . . .	18
V-C.	Sistemas aplicados a la acuicultura . . . . .	20
V-C1.	Crecimiento de la industria camaronera . . . . .	20
V-C2.	Sistemas tecnológicos aplicados en la acuicultura camaronera . . . . .	21
V-D.	El IOT . . . . .	24
V-D1.	Introducción al Internet de las Cosas (IoT) . . . . .	24
V-D2.	Protocolos y comunicación en IoT . . . . .	24
V-D3.	Estructura general de un sistema IOT . . . . .	25
V-D4.	Capas funcionales . . . . .	25
<b>VI.</b>	<b>Marco Metodológico</b>	27
VI-A.	Análisis del entorno y requerimientos . . . . .	27
VI-B.	Diseño . . . . .	29
VI-B1.	Diseño IOT . . . . .	29
VI-B2.	Diseño mecánico . . . . .	34
VI-B3.	Diseño electrónico . . . . .	35
VI-B4.	Software del sistema . . . . .	40
VI-C.	Construcción e implementación del prototipo . . . . .	44
VI-C1.	Adquisición y selección de materiales . . . . .	44
VI-C2.	Ensamblaje del sistema electrónico . . . . .	44
VI-C3.	Construcción y fabricación de base flotadora del prototipo . . . . .	45
VI-C4.	Validación del sistema instalado en campo . . . . .	46
<b>VII.</b>	<b>Resultados</b>	48
VII-A.	Análisis según lecturas de sensado . . . . .	48
VII-A1.	Comportamiento del pH . . . . .	49
VII-A2.	Comportamiento de la temperatura . . . . .	49
VII-A3.	Comportamiento del oxígeno disuelto . . . . .	50

VII-A4. Comportamiento de la salinidad . . . . .	51
VII-B. Comparación de los diferentes horarios de lecturas sensadas . . . . .	51
VII-C. Registro de cosechas y cultivos . . . . .	54
<b>VIII. Cronograma</b>	<b>57</b>
<b>IX. Presupuesto</b>	<b>58</b>
<b>X. Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>XI. Recomendaciones</b>	<b>60</b>
<b>Referencias</b>	<b>61</b>
<b>Anexo A: Programación</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	El camarón, Molinos Champion . . . . .	5
2.	Especies de camarón en el Ecuador, LinkedIn Ecuador informacion acuicola . . . . .	6
3.	Anatomía externa del camarón, GRUPO DIOSMAR. . . . .	7
4.	Exoesqueleto del camarón, Molinos Chamapion. . . . .	8
5.	Ciclo vital de un camarón peneido, FAO. . . . .	9
6.	Fisiología del camarón, Biotecnia. . . . .	9
7.	Sistema circulatorio del camarón, Slideshare. . . . .	10
8.	Alimentación del camarón blanco, Cinvestav. . . . .	10
9.	Señales de estrés en el camarón, Global Seafood Alliance. . . . .	11
10.	Ciclo de vida del camarón., GRUPO DIOSMAR. . . . .	12
11.	Transferencia de juveniles o pre-cría, SEAGATE. . . . .	13
12.	Etapas de engorde P. Vannamei, FAO. . . . .	14
13.	Etapas de cosecha P. Vannamei, ETEC. . . . .	14
14.	Datos del primer semestre de cada año, monto en millones de USD., PRIMICIAS. . . . .	15
15.	Principales áreas de pesca de camarón en la costa ecuatoriana. . . . .	15
16.	Aireadores utilizados en cultivos de camarón. . . . .	16
17.	El pH en la cría de camarones. . . . .	17
18.	¿Cómo afecta la temperatura en los cultivos de camarón?. . . . .	17
19.	Salinidad en cultivos de camarón. . . . .	18
20.	Uso de atarraya para el muestreo en camaroneras, El PRODUCTO. . . . .	20
21.	Crecimiento de exportación de camarón en Ecuador, Cámara nacional de acuicultura CNA. . . . .	20
22.	Alimentadores automatizados para camaroneras . . . . .	21
23.	Aireadores eléctricos para camaroneras, SAGAR . . . . .	22
24.	Cosechadoras para granjas acuícolas, SEIMEX . . . . .	22
25.	Sistemas de monitoreo de la calidad del agua, Bluesensor . . . . .	23
26.	Inteligencia artificial aplicada en camaroneras . . . . .	23
27.	Representación de un sistema de IOT, CIC . . . . .	24
28.	Esquema de protocolos de comunicación, Innotica . . . . .	25
29.	Arquitectura LoraWan, The things network . . . . .	25
30.	Arquitectura en una granja acuícola, Rastegari . . . . .	26
31.	Camaronera intervenida, Juela y Sanchez . . . . .	28
32.	Diagrama de flujo . . . . .	29
33.	Arquitectura de cuatro capas del sistema IOT, Juela y Sanchez . . . . .	31
34.	Esquema de funcionamiento del sistema IOT, Juela y Sanchez . . . . .	32
35.	Esquema de microcontrolador wifi lora esp32 V3 . . . . .	33
36.	Rak Wisgate lite 2 versión sin LTE . . . . .	33
37.	Conexión de gateway . . . . .	33
38.	Diseño de estructura flotante en SolidWorks, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	34
39.	Vista isométrica del prototipo IOT en SolidWorks, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	34
40.	Sensor de oxígeno disuelto, Df Robot. . . . .	35
41.	Sensor de PH . . . . .	36
42.	Sensor de temperatura. . . . .	37
43.	Sensor de salinidad. . . . .	38
44.	Esquemático general diseño en EasyEda, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	39
45.	Diseño de PCB en EasyEda con ruteo de pistas y distribución, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	39
46.	Diseño 3D de PCB en EasyEda, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	40
47.	validación de comunicación entre microcontrolador, sensores y gateway LoRaWAN . . . . .	40
48.	Programación principal de nodos en Node-red . . . . .	41
49.	InfluxDB como base de datos . . . . .	42

50.	Diseño de Dashboard en Node-red . . . . .	42
51.	Implementación de influxDB como base de datos . . . . .	43
52.	Diseño de dashboard en Grafana . . . . .	43
53.	Ensamblaje de módulos y placa pcv de prototipo . . . . .	45
54.	Ensamblaje electrónico completado . . . . .	45
55.	Fabricación de base flotadora de prototipo . . . . .	46
56.	Pruebas de comunicación a 500 metros, Juela y Sanchez . . . . .	46
57.	Pruebas de comunicación a 250 metros, Juela y Sanchez . . . . .	47
58.	Comprobación del envío de alarmas a usuario, por N. Juela y A. Sanchez . . . . .	47
59.	Prototipo IOT instalado en campo, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	48
60.	Base de datos, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	49
61.	Resultados de medición de PH, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	49
62.	Resultados de medición de temperatura, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	50
63.	Resultados de medición de oxígeno disuelto, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	50
64.	Resultados de medición en la salinidad, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	51
65.	Indicador de PH, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	52
66.	Recopilación de datos en la noche, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	52
67.	Recopilación de datos en la tarde, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	53
68.	Instalación y evaluación de prototipo, por A. Sanchez y N. Juela . . . . .	56

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Tabla de especies de camarón en el Ecuador, por N. Juela e I. Sanchez, FAO, 1986. . . . .	6
II.	Mediciones óptimas para el cultivo de camarón . . . . .	18
III.	Tabla comparativa de protocolos de comunicación, por N. Juela e I. Sanchez. . . . .	30
IV.	Tabla comparativa sensor de oxígeno disuelto , por N. Juela e I. Sanchez. . . . .	35
V.	Tabla comparativa de sensor de PH, por N. Juela e I. Sanchez. . . . .	36
VI.	Tabla comparativa de sensor de temperatura, por N. Juela e I. Sanchez. . . . .	37
VII.	Tabla comparativa de sensor de salinidad, por N. Juela e I. Sanchez. . . . .	37
VIII.	Lista de materiales complementarios y accesorios para prototipo . . . . .	44
IX.	Detalle de costos de producción Julio-Octubre . . . . .	54
X.	Resumen de la cosecha correspondiente al período julio–octubre . . . . .	54
XI.	Detalle actualizado de costos de producción . . . . .	55
XII.	Resumen de la cosecha correspondiente al período noviembre–diciembre . . . . .	55
XIII.	Cronograma . . . . .	57

## I. INTRODUCCIÓN

La industria camaronera es uno de los pilares productivos de Ecuador, y su éxito depende en gran medida de mantener condiciones adecuadas en el agua de cultivo. Parámetros como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad influyen directamente en el crecimiento y supervivencia del camarón. Sin embargo, en muchos casos el monitoreo aún se realiza de forma manual y en intervalos específicos, lo que dificulta detectar cambios repentinos que puedan afectar la producción. Ante esta realidad, surge la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan una supervisión más constante y confiable.

En este contexto, la presente investigación propone el desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua en una piscina camaronera. La solución integra sensores para medir los principales parámetros físico-químicos, un sistema de comunicación de largo alcance y una plataforma de visualización remota que facilita el acceso a la información desde cualquier lugar. De esta manera, se busca aportar una herramienta práctica y accesible que contribuya a mejorar la toma de decisiones en el cultivo, integrando conocimientos de electrónica, programación y telecomunicaciones propios de la Ingeniería Mecatrónica.

## II. PROBLEMA

La calidad del agua es un factor clave para el éxito, tanto en el consumo humano como en la salud de los ecosistemas acuáticos, siendo la acuicultura de camarón una de las actividades más sensibles a este aspecto. Uno de los principales desafíos en este sector es mantener una calidad de agua óptima, ya que el equilibrio de los parámetros fisicoquímicos resulta fundamental para prevenir la proliferación de organismos patógenos y asegurar la sostenibilidad del proceso productivo [1]. Una mala calidad del agua puede generar condiciones de estrés en los organismos, lo que repercute negativamente en el consumo de alimento, el crecimiento, la supervivencia y la reproducción [2].

Uno de los problemas más fuertes que afecta al camarón durante su etapa de crecimiento y engorde es el síndrome de la mancha blanca (WSSV), una enfermedad viral altamente contagiosa que provoca elevadas tasas de mortalidad. Este y otros brotes, como el síndrome de mortalidad temprana (EMS/AHPND), han impactado gravemente a países asiáticos. Por ejemplo, Tailandia, que en su momento fue líder en exportación de camarón, sufrió una fuerte caída en su producción debido a estas enfermedades, las cuales se propagaron rápidamente por la región, afectando significativamente la sostenibilidad de los cultivos acuícolas [3][4].

En Latinoamérica, países como Ecuador, México, Chile, Brasil y Colombia se destacan como exportadores de camarón, enfrentando cada uno diversos desafíos para mantener condiciones óptimas en sus granjas acuícolas. En el caso de México, la expansión descontrolada de estanques camaroneros ha provocado la pérdida de millones de hectáreas de manglares, afectando la integridad del ecosistema y reduciendo su capacidad de resistencia frente a eventos extremos [5]. Por su parte, en Perú, la contaminación del río Majes por vertidos mineros e industriales provocó una caída de más del 60 % en la extracción de camarón artesanal, evidenciando la presencia de sustancias tóxicas que afectan la supervivencia y salud de los cultivos [6].

Ecuador, líder mundial en exportación de camarón, enfrenta desafíos importantes debido a la falta de monitoreo en tiempo real de la calidad del agua en sus granjas acuícolas. Investigaciones recientes evidencian que las aguas residuales de camaroneras presentan hasta 2.5 veces más amonio y fósforo que cuerpos de agua naturales, lo que afecta negativamente el equilibrio químico y la salud del cultivo [7]. En los últimos años, Ecuador ha enfrentado rebrotes recurrentes del virus de la mancha blanca (White Spot Syndrome Virus, WSSV), que siguen poniendo en riesgo la producción nacional. En 2024, Colombia y Brasil suspendieron temporalmente sus importaciones de camarón ecuatoriano tras detectar WSSV en lotes exportados, lo que evidencia que el contagio aún persiste y afecta la confianza comercial internacional [8][9].

Numerosos pequeños productores de camarón en Ecuador carecen de recursos para tecnologías avanzadas y dependen de métodos tradicionales, como recambios frecuentes de agua y observación empírica. Esta forma de manejo resulta insuficiente para mantener parámetros óptimos durante fluctuaciones térmicas o de salinidad, ya que no garantiza una detección rápida de desequilibrios. Según un estudio de 2023, la ausencia de automatización en piscinas camaroneras disminuye significativamente la oxigenación del agua, afectando el crecimiento y aumentando la mortalidad del cultivo, lo cual pone en riesgo la sostenibilidad y los ingresos de los pequeños productores [10].

### III. JUSTIFICACIÓN

En Ecuador, la industria camaronera abarca aproximadamente 233.000 hectáreas del territorio nacional, lo cual representa un valor significativo, especialmente en las zonas costeras [11]. Esta actividad económica es muy importante para muchas comunidades; sin embargo, en ocasiones resultan afectadas por las malas condiciones del agua que no son detectadas a tiempo, las nuevas tecnologías como el internet de las cosas IOT, es posible vigilar en tiempo real factores clave como el pH, la temperatura y el oxígeno reduciendo la mortalidad de la especie [12]. La implementación de estas nuevas tecnologías como el IOT y redes de monitoreo pueden optimizar la toma de decisiones logrando una mejor eficiencia en la producción acuícola [13].

Existen granjas donde las infraestructuras de comunicación son limitadas, por esa razón la tecnología LoRaWAN es una solución de comunicación de largo alcance y su capacidad de dispositivos conectados por Gateway es alto [14]. LoRaWAN ofrece una alternativa eficiente frente a sistemas tradicionales, gracias a su bajo consumo de energía y amplio alcance. En la Universidad Nacional de Chimborazo se probó un sistema basado en esta tecnología, logrando mediciones precisas y constantes durante tres días los resultados demostraron que LoRaWAN no solo es una opción viable y económica, sino también muy útil para la gestión ambiental[15].

Además de ofrecer conectividad, los sistemas IoT permiten predecir y anticipar situaciones de riesgo en los cultivos. Por ejemplo, un modelo predictivo que integra sensores IoT con técnicas de aprendizaje automático, permite mejorar significativamente la gestión en acuicultura [16]. Gracias al uso de sensores conectados y redes inalámbricas, los acuicultores ahora pueden vigilar en todo momento las condiciones del entorno. Lo que permite recibir alertas en tiempo real ante posibles riesgos y activar de forma automática acciones como la aireación o el recambio de agua, mejorando así la salud del cultivo sin necesidad de estar presentes todo el tiempo [17].

Investigaciones recientes han evidenciado mejoras en la confiabilidad del monitoreo en tiempo real en cultivos de camarón mediante IoT con tecnología LoRa [18]. Por ello, el cultivo de camarón, especialmente de la especie vannamei, exige un control constante de la calidad del agua, ya que las malas condiciones afectan su salud y crecimiento, provocando la muerte de estos animales. Esta investigación propone un sistema de monitoreo inteligente basado en sensores conectados a través de LoRaWAN, capaces de enviar datos en tiempo real a servidores accesibles desde un teléfono móvil [19].

El uso de estas tecnologías también responde a un compromiso global con la sostenibilidad ambiental. [20] ha enfatizado la importancia de adoptar soluciones digitales en la acuicultura para asegurar la productividad sin comprometer los ecosistemas. Proyectos como el propuesto no solo contribuyen al desarrollo tecnológico, sino también a la conservación del medio ambiente mediante una gestión más controlada y responsable del recurso hídrico.

## IV. OBJETIVOS

### *IV-A. Objetivo general*

Implementar una plataforma IoT basada en tecnología LoRaWAN para la supervisión continua de los parámetros de calidad del agua como pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura en cultivos de camarón.

### *IV-B. Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema de adquisición de datos para la medición de los parámetros clave de calidad del agua como pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura.
- Implementar una plataforma IoT que permita la supervisión continua de los datos mediante tecnología LoRaWAN.
- Validar el desempeño del Sistema en condiciones reales en una granja acuícola, incorporando alertas ante posibles anomalías en los parámetros monitoreados para una toma de decisiones.

## V. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan el proyecto, abordando los conceptos y antecedentes necesarios para comprender la aplicación de tecnologías IoT en la industria camaronera. Se incluyen definiciones relacionadas con la fisiología del camarón, los factores de cultivo y las tecnologías empleadas en la acuicultura moderna, así como los principios de comunicación y monitoreo utilizados en sistemas inteligentes. Esta base teórica permite establecer los lineamientos técnicos y científicos que orientan el desarrollo de la propuesta.

### V-A. *El camarón y su contexto biológico*

La presente sección aborda al camarón desde su contexto biológico, considerando aspectos fundamentales como sus características generales, las principales especies de interés acuícola en el Ecuador, su biología y fisiología, así como los factores de estrés que pueden afectar su desarrollo. La comprensión de estos elementos permite identificar las condiciones ambientales necesarias para un cultivo eficiente, lo que respalda la implementación de sistemas de monitoreo orientados a optimizar la calidad del agua y mejorar la productividad en entornos acuícolas.

*V-A1. Introducción al camarón:* El camarón es un crustáceo de agua salada o de agua dulce, pertenece al orden Decapoda al igual que las langostas y los cangrejos. Se caracteriza por tener un cuerpo alargado, segmentado y flexible, con un exoesqueleto que debe mudar a medida que crece. Posee antenas largas y un abdomen desarrollado que le permite nadar con rapidez. Entre las especies más conocidas y comercializadas se encuentran el camarón blanco (*vannamei*) como se puede observar en la Figura 1, ampliamente cultivado en distintas regiones del mundo; el camarón rosa, reconocido por su tonalidad característica y sabor intenso, muy valorado en la gastronomía; el camarón café, común en las costas del Pacífico, cuya carne magra presenta un gusto suave; el camarón rojo, que habita en aguas profundas y destaca por la firmeza de su carne y un sabor más pronunciado [21].



Figura 1. El camarón, Molinos Champion

En la siguiente sección se abordarán las diferentes especies de camarón que se cultivan en el Ecuador.

V-A2. *Especies de camarón en el Ecuador*: El Ecuador cuenta desde hace varias décadas con una pesquería de camarón sólidamente establecida, la cual constituye uno de los pilares de la actividad pesquera nacional y ha recibido especial atención de instituciones como el Instituto Nacional de Pesca. Las especies que integran estas capturas pertenecen principalmente a la familia Penaeidae, y su proporción varía de acuerdo con las zonas de pesca y las épocas del año. Es importante señalar que mientras ciertas especies se obtienen exclusivamente mediante la pesca en aguas marinas, otras como *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris* han sido adaptadas y cultivadas en sistemas acuícolas, debido a sus condiciones de vida y su alto valor comercial. Sin embargo, el seguimiento de la migración y el comportamiento natural del resto de las especies resulta complejo, ya que dependen de factores ambientales y biológicos que aún no se conocen en su totalidad. A continuación, se observa en la Figura 2 las diferentes especies comercializadas.



Figura 2. Especies de camarón en el Ecuador, LinkedIn Ecuador informacion acuicola

A continuación, se presenta la Tabla 1 que resume las principales especies comercializadas en el Ecuador, tanto provenientes del mar como de cultivo.

Tabla I  
TABLA DE ESPECIES DE CAMARÓN EN EL ECUADOR, POR N. JUELA E I. SANCHEZ, FAO, 1986.

Especie	Grupo	Profundidad de pesca usual / Hábitat	Importancia relativa en las capturas
<i>Penaeus occidentalis</i>	Camarón blanco	Aguas someras (≈ 1,5 a 20 brazas; lo más frecuente entre 4-16 brazas)	Es la especie más común, con más del 70 % de las capturas silvestres.
<i>Penaeus stylirostris</i>	Camarón blanco	Aguas someras (≈ 1,5 a 20 brazas; lo más frecuente entre 4-16 brazas)	Contribuye con alrededor del 20-25 % de las capturas blancas.
<i>Penaeus vannamei</i>	Camarón blanco	Aguas someras (≈ 1,5 a 20 brazas; lo más frecuente entre 4-16 brazas)	Aunque presente, es relativamente menos abundante en capturas silvestres (2-3 %) en comparación con las otras dos, pero muy importante para cultivo.
<i>Penaeus californiensis</i>	Camarón café o marrón	A mayores profundidades (≈ 25-40 brazas)	Menor porcentaje de captura (2-3 %).
<i>Penaeus brevisrostris</i>	Camarón rojo/rosado	Profundidades mayores, entre 25-50 brazas	Aproximadamente el 5 % de las capturas silvestres.
<i>Trachypenaeus byrdi</i> , <i>T. facea</i> , <i>T. similis pacificus</i>	Camarón tigre / cebra / carabalí	Aguas costeras cercanas a la costa, poca profundidad	Menores proporciones, pero forman parte del "camarón tigre/zebra" capturado con especies blancas.
<i>Xiphopenaeus riveti</i> y <i>Protrachypene precipua</i>	Especies de menor tamaño, menor valor comercial	Áreas menos profundas, junto con camarón blanco	Contribuyen en capturas menores, tamaño pequeño, menos valor comercial.

Si bien en aguas ecuatorianas existen diversas especies de camarón de interés pesquero, la acuicultura se ha enfocado principalmente en dos especies. El *Litopenaeus vannamei* representa cerca del 95 % de la producción nacional por su resistencia y adaptabilidad, mientras que el *Litopenaeus stylirostris* aporta en menor medida, con alrededor del 4-5 %. Esta concentración ha favorecido la consolidación del país como referente mundial en el cultivo de camarón [22].

*V-A3. Biología y fisiología del camarón:* El camarón es un crustáceo decápodo de cuerpo alargado y segmentado, cubierto por un exoesqueleto quitinoso que le brinda protección. Su fisiología está adaptada a ambientes acuáticos, destacándose un sistema branquial que le permite el intercambio de oxígeno disuelto y la regulación osmótica frente a variaciones de salinidad. Presenta un aparato digestivo simple pero eficiente para aprovechar nutrientes, un sistema circulatorio abierto que transporta la hemolinfa y un sistema nervioso centralizado que coordina sus movimientos. Estas características biológicas y fisiológicas influyen directamente en su crecimiento, reproducción y en la sensibilidad que presenta frente a los cambios en la calidad del agua [23].

*Anatomía del camarón:* El cuerpo del camarón se divide en dos partes principales cefalotórax y abdomen, las cuales se describen a continuación

- **Cefalotórax:** Corresponde a la fusión de la cabeza y el tórax, protegido por un caparazón (exoesqueleto quitinoso). En esta zona se encuentran los ojos compuestos, las antenas y anténulas que cumplen funciones sensoriales, así como la boca rodeada de apéndices bucales. También se ubican las branquias, responsables del intercambio gaseoso.
- **Periópodos:** Son los apéndices torácicos (generalmente cinco pares) que cumplen funciones locomotoras y de manipulación de alimento.
- **Abdomen:** Compuesto por segmentos móviles que proporcionan flexibilidad y fuerza para el nado. Incluye los pleópodos, apéndices natatorios que en las hembras también intervienen en el transporte de huevos.
- **Urópodos y telson:** Forman la llamada “cola” del camarón. Estos apéndices aplanados junto al telson permiten un movimiento de escape rápido hacia atrás, fundamental como mecanismo de defensa.
- **Exoesqueleto:** Conocido también como cutícula, es una estructura rígida que protege al camarón de factores ambientales externos.

Como se puede observar en la Figura 3. En conjunto, esta anatomía le brinda al camarón la capacidad de desplazarse, defenderse, alimentarse, reproducirse y adaptarse a diferentes condiciones de su entorno acuático.

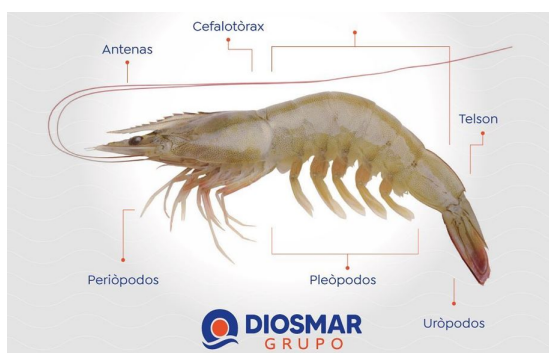


Figura 3. Anatomía externa del camarón, GRUPO DIOSMAR.

A continuación, en la Figura 4 se presenta el exoesqueleto el cual afecta a su crecimiento, debe renovar periódicamente su cubierta mediante el proceso de muda. Considerar los ciclos de muda resulta fundamental para predecir la eficiencia y el rendimiento del cultivo. Dicho proceso se divide en las siguientes etapas:

- Post-muda: Etapa de recuperación tras la muda anterior, en la cual el camarón absorbe un gran volumen de agua para expandir su nuevo exoesqueleto, que se endurece progresivamente en las horas siguientes.
- Inter-muda: El exoesqueleto se encuentra completamente funcional; durante esta fase el crecimiento es continuo siempre que la actividad alimentaria sea estable y de buena calidad.
- Pre-muda: Corresponde a la preparación de su próxima muda, en la cual su actividad alimentaria disminuye y se inicia la formación de una nueva cutícula debajo de la anterior.



Figura 4. Exoesqueleto del camarón, Molinos Chamapion.

La muda generalmente ocurre durante las noches de luna llena, periodo en que el valor del pH tiende a disminuir. Es importante realizar un muestreo en el cultivo, ya que en esta etapa los camarones presentan músculos firmes, piel blanca y una concha aún quebradiza. Este proceso natural puede verse interrumpido por condiciones ambientales no óptimas que generan estrés en el animal, tales como variaciones en el pH, niveles inadecuados de oxígeno disuelto, presencia de patógenos o desequilibrios minerales. Este análisis sustenta lo importante de la investigación al integrar un sistema IoT como herramienta para el monitoreo de las condiciones del agua que influyen en el proceso de muda del camarón.

*Características biológicas:* El camarón es un organismo bentónico, significa que se desplaza y vive principalmente en el fondo del agua, aprovechando el sustrato para su alimentación y refugio. Consume materia orgánica en descomposición y restos biológicos presentes en el ambiente. Para crecer, el camarón debe realizar mudas periódicas de su exoesqueleto, permitiendo su expansión corporal. Es una especie poiquilotérmica, es decir, su metabolismo y tasa de crecimiento dependen directamente de la temperatura del agua. Cuenta con una tolerancia a distintos niveles de salinidad, siendo un organismo eurihalino, lo cual le permite adaptarse a ambientes marinos y estuarinos con variaciones salinas [24]. En la Figura 5, se observa al camarón peneido migrando aguas costeras o de baja

profundidad ricas en materia orgánica como esteros y manglares, hasta alcanzar la adultez migrando a mar abierto para su reproducción.

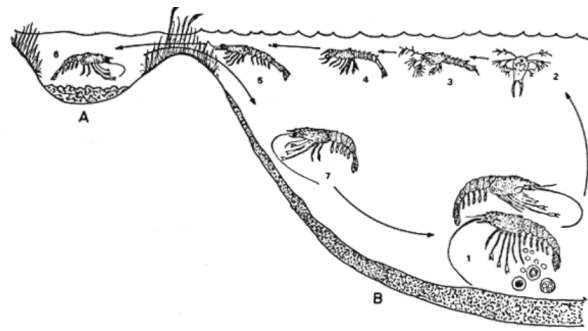


Figura 5. Ciclo vital de un camarón peneido, FAO.

*Fisiología del camarón:* La fisiología del camarón comprende el conjunto de procesos biológicos que permiten su crecimiento, reproducción y adaptación al medio acuático. Como crustáceo decápodo, su cuerpo se divide en cefalotórax y abdomen, donde se alojan los principales órganos encargados de las funciones vitales.

A continuación, la Figura 6 presenta al sistema digestivo donde inicia con la boca y continúa por el esófago hasta el estómago, donde se realiza la trituración del alimento. Luego, pasa al hepatopáncreas, órgano fundamental que cumple funciones de digestión y absorción de nutrientes, además de actuar como reserva energética. Posteriormente, los desechos no digeridos son expulsados a través del intestino y el ano.

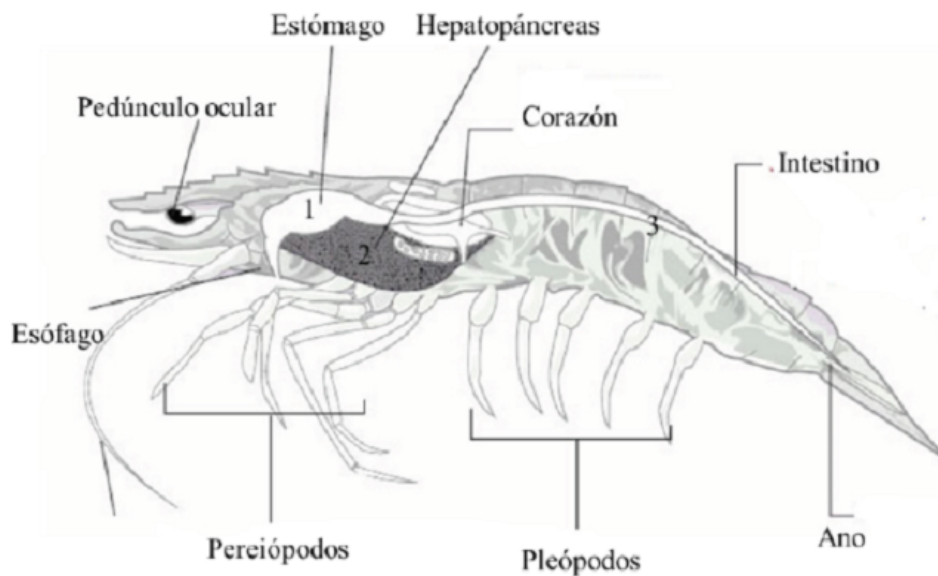


Figura 6. Fisiología del camarón, Biotecnia.

El sistema circulatorio del camarón presenta la sangre (hemolinfa) que es bombeada por un corazón dorsal hacia los senos corporales, donde baña directamente los tejidos, transportando oxígeno y nutrientes como se observa en la Figura 7. El intercambio gaseoso se realiza mediante las branquias, ubicadas en el cefalotórax, las cuales permiten la absorción de oxígeno disuelto y la eliminación de dióxido de carbono.

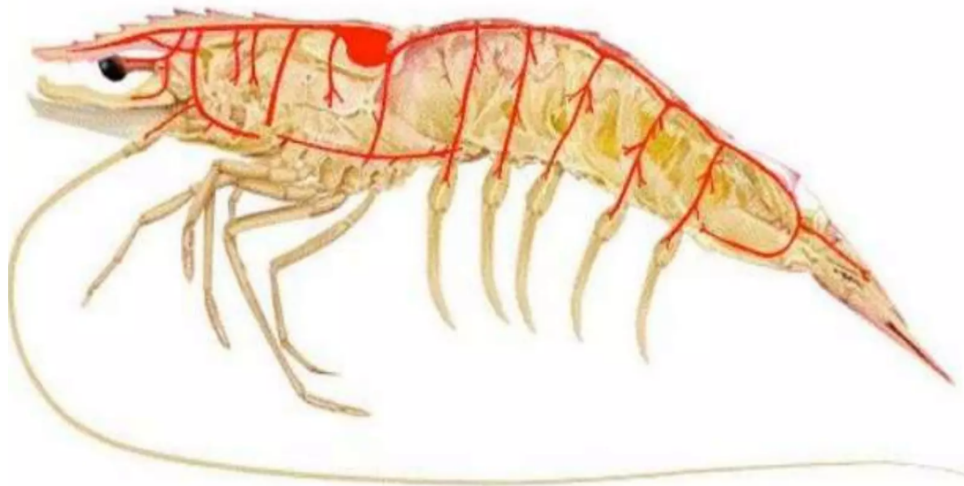


Figura 7. Sistema circulatorio del camarón, Slideshare.

Como se ha analizado, los procesos fisiológicos y biológicos del camarón dependen directamente de parámetros fisicoquímicos del agua, como el pH, los cuales influyen de manera significativa en su crecimiento y desarrollo. En las siguientes secciones, estos criterios serán considerados como base para la selección de los componentes del sistema propuesto.

V-A4. *Alimentación del camarón:* En cuanto a su alimentación se observa en la Figura 9, la mayoría son organismos omnívoros capaces de consumir tanto materia vegetal como animal. Su dieta puede incluir gusanos poliquetos, moluscos, crustáceos, algas, organismos bentónicos de lento desplazamiento, e incluso tejidos necróticos o parásitos presentes en otros animales. Algunas especies cumplen un rol particular como “camarones limpiadores”, al alimentarse de dichos tejidos y parásitos, mientras que otras recurren al consumo de carroña [25].

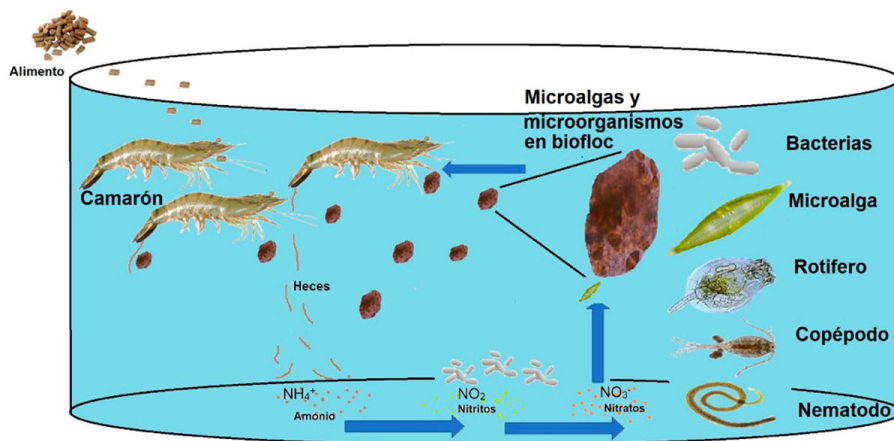


Figura 8. Alimentación del camarón blanco, Cinvestav.

El análisis de la alimentación evidencia su estrecha relación entre la disponibilidad de nutrientes y las condiciones del ecosistema acuático, las cuales influyen directamente en su crecimiento. Cuando la calidad del agua no es adecuada, este equilibrio se ve afectado, generando condiciones de estrés que repercuten negativamente en su

desarrollo. En la siguiente sección se abordan los principales factores de estrés presentes en el cultivo de camarón.

V-A5. *Factores de estrés:* El estrés en los camarones puede originarse por múltiples causas, siendo la mala calidad del agua uno de los principales factores. Niveles inadecuados de amoníaco, nitrito o sulfuro de hidrógeno generan condiciones tóxicas que afectan directamente sus funciones fisiológicas. De igual manera, los cambios bruscos en parámetros ambientales como la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad o pH, así como la presencia de lluvias intensas, pueden alterar su equilibrio osmótico y metabólico.

Otros factores estresantes incluyen la presencia de patógenos, la competencia por alimento y la alta densidad poblacional dentro de los estanques. Dado que el camarón es una especie territorial, el hacinamiento puede incrementar su agresividad y competencia.

Los signos más comunes de estrés en los camarones incluyen la pérdida de apetito, disminución en el crecimiento, problemas durante la muda del exoesqueleto, cambios de coloración y movimientos erráticos. Si estas condiciones persisten, el animal entra en un estado de estrés fisiológico crónico, comprometiendo su sistema inmunológico y aumentando la susceptibilidad a enfermedades.

En la siguiente Figura 9 se puede observar la coloración rojiza en la cola, antenas y la zona de los pereiópodos o patas.



Figura 9. Señales de estrés en el camarón, Global Seafood Alliance.

#### V-B. *Producción camaronera en el Ecuador*

En esta sección se aborda la actividad camaronera en el Ecuador, analizando el impacto del camarón *Litopenaeus vannamei*, el crecimiento de la industria y los principales indicadores utilizados en las camaroneras, con el fin de contextualizar la relevancia del sector y los parámetros productivos empleados en el manejo de los cultivos.

V-B1. *Ciclo de producción del camarón:* La producción camaronera comprende una serie de etapas que abarcan desde la fase larvaria hasta las fases de engorde y cosecha, previas a su proceso de comercialización.

*Etapas de larvicultura:* El ciclo de vida del camarón como se observa en la Figura 10, inicia una vez que los huevos fecundados eclosionan. La primera fase larvaria se denomina nauplio, al ser larvas no se alimentan externamente, sino que utilizan la reserva de vitelo. Luego, el organismo pasa por la etapa de zoea, donde desarrolla apéndices natatorios y comienza a alimentarse de microalgas. Posteriormente evoluciona a la fase de mysis, donde desarrolla la mayor parte de las extremidades y movilidad, etapa en la que se alimenta activamente de fitoplancton y pequeños organismos como nauplios de artemia. A continuación, las larvas alcanzan la fase de postlarva, en la que ya presentan una morfología más parecida a la del camarón juvenil, con cuerpo alargado, diferenciación de segmentos y patas funcionales. Dichas etapas se controlan y se monitorean en los laboratorios y son despachados o enviados a campo una vez alcancen un tamaño específico. Una vez alcanzado el estado de juvenil, el camarón continúa creciendo mediante mudas sucesivas hasta llegar a la etapa adulta, en la cual alcanza la madurez y se encuentra listo para reproducirse, completando así su ciclo biológico.

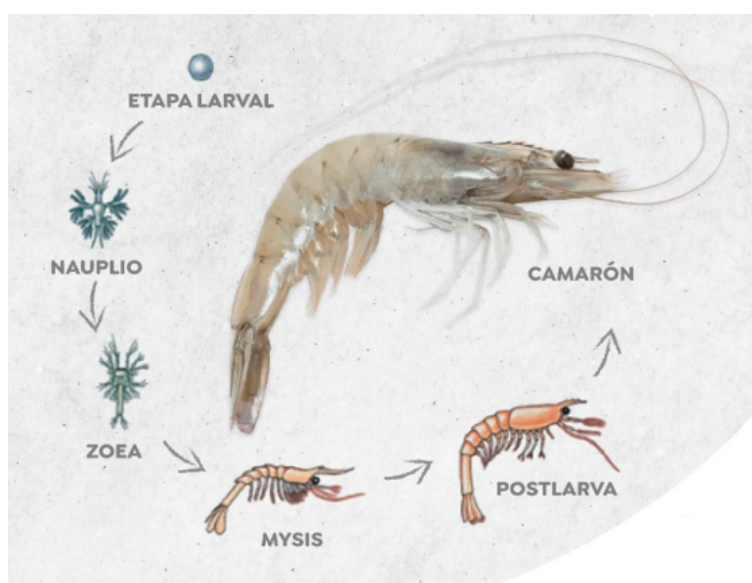


Figura 10. Ciclo de vida del camarón., GRUPO DIOSMAR.

*Etapas de precría:* La etapa de precría se desarrolla en piscinas de camarón como se evidencia en la Figura 11, generalmente con una superficie no mayor a dos hectáreas. Durante esta fase, los juveniles son adaptados gradualmente a las condiciones del campo después de haber permanecido en el laboratorio bajo un ambiente controlado. Es fundamental proporcionar una alimentación frecuente con un balanceado que contenga entre 35 % y 45 % de proteína, ya que los camarones requieren un alto aporte nutricional para favorecer su crecimiento inicial. Asimismo, es esencial mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto y temperatura, ya que estas variables influyen directamente en su metabolismo y supervivencia.



Figura 11. Transferencia de juveniles o pre-cría, SEAGATE.

*Etapa de engorde:* Constituye la fase más extensa del ciclo de cultivo del camarón, con una duración aproximada de 30 a 120 días, dependiendo de las condiciones ambientales, el manejo y la especie cultivada. Una vez que los organismos alcanzan la talla adecuada en la etapa de precría, son transferidos a estanques de mayor superficie, que suelen abarcar entre 3 y 4 hectáreas en adelante. Tradicionalmente, esta transferencia se realiza mediante la apertura controlada de compuertas entre las piscinas. Durante esta etapa, el camarón requiere una alimentación constante y balanceada, suministrada de forma manual o automática. La tecnología es muy importante en esta fase, a través de sistemas automatizados de alimentación y aireación, así como del monitoreo en tiempo real de los parámetros del agua. La información recolectada por los sensores puede ser almacenada y analizada en plataformas en la nube, lo que permite optimizar la gestión del cultivo y reducir pérdidas. El procedimiento de rutina incluye varias actividades como:

- Muestreos semanales y poblacionales: permiten estimar el peso promedio, la talla, la supervivencia y el estado general de los camarones.
- Monitoreo de la calidad del agua y del suelo: se registran parámetros como oxígeno disuelto, temperatura, entre otros. Estas mediciones se realizan diariamente para detectar posibles zonas críticas dentro del estanque.
- Arrastres: se efectúan en las zonas de alimentación con el objetivo de retirar el alimento no consumido y los sedimentos orgánicos acumulados, evitando así la degradación de la calidad del agua.
- Inspección de patologías: se evalúan características físicas como color, textura, firmeza, presencia de manchas y estado de los uropodos, branquias, tracto intestinal y hepatopáncreas, con el fin de detectar tempranamente signos de enfermedades o estrés.

Esta etapa concluye cuando los camarones alcanzan el tamaño y peso comercial deseado, momento en el cual se programa la cosecha final como se aprecia en la Figura 12.



Figura 12. Etapa de engorde P. Vannamei, FAO.

*Etapa de cosecha:* Es la fase final del ciclo productivo del camarón y marca el cierre del proceso de cultivo. Se ejecuta una vez que los organismos alcanzan el tamaño y peso comercial deseado, los cuales varían según el mercado objetivo y las condiciones de cultivo, generalmente entre 12, 20 o 30 gramos por unidad. Antes de la cosecha, se realizan muestreos de control para confirmar el peso promedio, la supervivencia y la biomasa total disponible. Se determina el momento óptimo para la recolección, maximizando la rentabilidad y evitando sobrepoblaciones o deterioro del agua. La cosecha de camarones puede realizarse de forma manual o mecanizada, dependiendo de los recursos de la granja. Tradicionalmente se abren las compuertas del estanque para permitir el vaciado progresivo del agua, capturando los camarones con bolsos o redes y trasladándolos en gabetas hacia los bins para su pesaje y posterior transporte. Aunque este procedimiento es simple y de bajo costo, demanda mayor tiempo y mano de obra. En contraste, la cosecha mecanizada, se observa en la Figura 13 que emplean equipos automatizados con motores que bombean el agua y separan los camarones mediante sistemas de filtros, lo que permite realizar la recolección de manera más rápida, eficiente y con menor manipulación del producto, contribuyendo a conservar su calidad y frescura.



Figura 13. Etapa de cosecha P. Vannamei, ETEC.

V-B2. *Impacto del camarón Litopenaeus vannamei en el Ecuador:* El camarón *Litopenaeus vannamei* es conocido como camarón blanco de origen del Pacífico oriental y es la que se produce principalmente en Ecuador. Además de convertirse en la especie predominante para la acuicultura. Pese a los aranceles impuestos en Estados Unidos desde abril de este año, el camarón ecuatoriano tuvo un crecimiento de 20 % en el valor de sus exportaciones del primer semestre, coronándose como el primer producto de exportación de Ecuador, incluso por encima del petróleo [26]. A continuación, se detalla en la Figura 14 los datos de los principales productos de exportación en el Ecuador en los primeros semestres de los años 2024 y 2025.

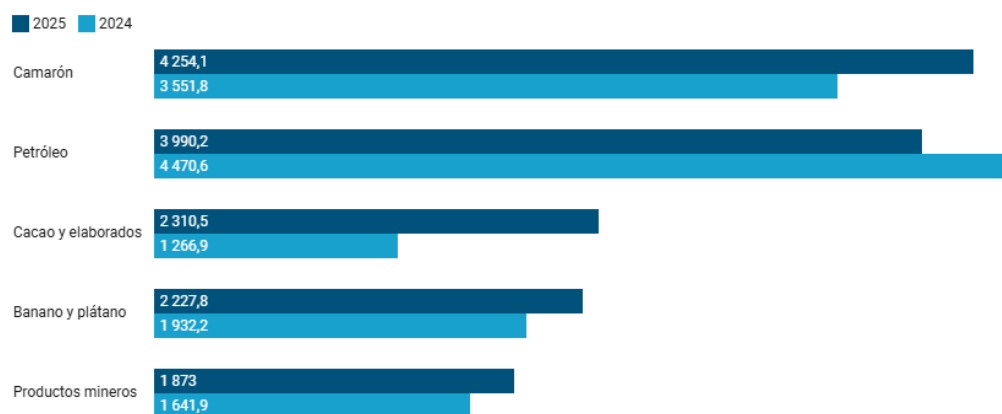


Figura 14. Datos del primer semestre de cada año, monto en millones de USD., PRIMICIAS.

La actividad camaronera y pesquera se ha desarrollado en función de las condiciones geográficas y ambientales de cada región. Las zonas costeras presentan ecosistemas productivos, especialmente en manglares, estas ofrecen las condiciones ideales para el crecimiento de diversas especies de camarón. Como al sur del Golfo de Guayaquil y en el norte del litoral ecuatoriano. En la siguiente Figura 15, se muestran las principales áreas de pesca de camarón.

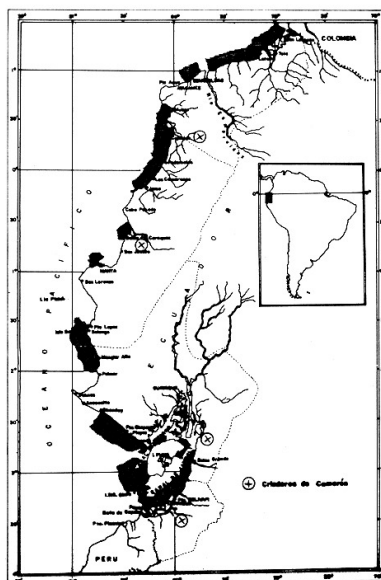


Figura 15. Principales áreas de pesca de camarón en la costa ecuatoriana.

V-B3. *Parámetros ideales para el crecimiento del camarón:* Las granjas de crecimiento de camarón/camarone-ras, son un tipo específico de granja acuícola dedicada a la producción de camarones. Para una buena cosecha o producción es importante considerar los siguientes parámetros del agua:

*Oxígeno disuelto:* El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno libre en el agua, indispensable para los organismos acuáticos como el camarón. El camarón no almacena oxígeno, por lo que depende del nivel presente en el agua, se podría decir que es el factor más crítico para el bienestar de este y una de las formas de suministrar oxígeno disuelto al estanque es por medio de aireadores como se muestra en la Figura 16. Durante los niveles bajos de OD el camarón se estresa debido al gasto de energía enfocada en su supervivencia en lugar de su desarrollo, reduciendo el consumo de alimento debilitando su sistema inmunológico lo que lo hace propenso a enfermedades aumentando la mortalidad [27]. El rango óptimo de oxígeno disuelto debe ser  $\geq 5$  mg/L, esto ayudara a mejorar la tasa de crecimiento y a reducir el estrés metabólico.



Figura 16. Aireadores utilizados en cultivos de camarón.

*Potencial de hidrógeno (pH):* El Ph es una medida de la acidez o alcalinidad del agua por escala logarítmica de 0 a 14. El rango óptimo para el crecimiento del camarón es de 7.5 a 8.5 [28], es un factor importante para el correcto crecimiento del cultivo, si no es controlada afecta a la respiración y al metabolismo del cultivo, si el ph es muy bajo, el oxígeno en el agua se reduce y el cultivo tendrá dificultades para absorber los nutrientes para crecer, si es muy alto el agua se vuelve muy alcalina dificultando la respiración del camarón y los nutrientes se vuelven difíciles de absorber. Además, el ph también afecta al sistema inmunológico, al ser muy alto o bajo, debilita su sistema inmunológico lo cual lo vuelve propenso a tener enfermedades e infecciones [29]. El rango óptimo para el crecimiento del camarón es de 7,5 a 8,5. Se logra apreciar en la Figura 17 la medición de este parámetro dentro de este rango.

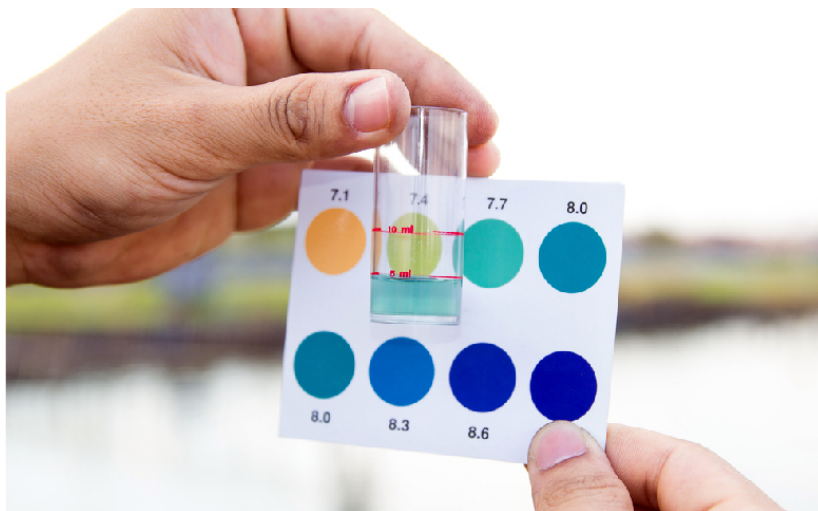


Figura 17. El pH en la cría de camarones.

*Temperatura:* La temperatura en acuicultura es uno de los factores ambientales más importantes para el éxito del cultivo, regula procesos fisiológicos, metabólicos e inmunológicos de los organismos acuáticos. En el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), la temperatura del agua influye directamente en su tasa de crecimiento Figura 18, su eficiencia alimenticia y resistencia a enfermedades. Cuando el agua presenta un rango entre 28°C y 32 °C, el camarón responde con un metabolismo equilibrado que favorece su desarrollo y supervivencia. A diferencia de temperaturas por debajo de 20 °C o superiores 33 °C, generando estreses térmicos, reducen su alimentación y los vuelven vulnerables frente a patógenos [30].



Figura 18. ¿Cómo afecta la temperatura en los cultivos de camarón?.

*Salinidad:* La salinidad es la concentración de sales disueltas en el agua, medidas en partes por mil ppm (partes por millón), es un factor clave en la acuicultura, influye directamente en procesos de osmorregulación del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Esta especie es capaz de sobrevivir a un rango amplio de 0,5 a 45 ppm, pero su rendimiento productivo no es el mismo en todos los niveles. Si la salinidad se encuentra dentro del rango óptimo de 10 a 25 ppm, el camarón mantiene un equilibrio interno adecuado, lo que favorece su crecimiento, conversión alimenticia y supervivencia. Por otro lado, salinidades muy bajas o altas obligan al camarón a gastar más energía en regular su balance osmótico, reduciendo su desarrollo, aumenta el estrés y lo hace más susceptible a enfermedades. En la siguiente Figura 19, se observa la medición de este parámetro.



Figura 19. Salinidad en cultivos de camarón.

A continuación, en la Tabla II se presenta un resumen de los parámetros analizados y sus rangos de medición óptimos para una adecuada producción en una granja acuícola.

Tabla II  
MEDICIONES ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE CAMARÓN

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura	28 – 32 °C
Oxígeno disuelto (OD)	≥ 5 mg/L (ideal 5–7 mg/L)
pH	7,5 – 8,5
Salinidad	10 – 25 ppm (óptimo 15–20 ppm)

*V-B4. Indicadores clave para camaronerías:* Las granjas acuícolas son instalaciones diseñadas para la cría controlada de organismos acuáticos [31]. En las granjas de crecimiento de camarón/camaronerías, son un tipo específico de granja acuícola dedicada a la producción de camarones. En estas instalaciones, los camarones se crían en grandes estanques, generalmente ubicados en zonas costeras o estuarios. El proceso abarca varias etapas: desde larvas (postlarvas) hasta su engorde y alcanzar un tamaño comercial [32].

Para determinar dichos indicadores, es necesario realizar un muestreo como se aprecia en la Figura 20. Estos indicadores clave a considerar son:

*Densidad:* Se refiere al número de camarones sembrados por unidad de área o volumen del estanque. Mantener una densidad adecuada es fundamental para prevenir el estrés, la competencia por alimento y el deterioro de la calidad del agua. Para estimar la densidad durante el cultivo, se realiza un muestreo utilizando una atarraya, considerando previamente su diámetro y el área de cobertura que abarca en cada lance. Se recomienda efectuar entre cuatro y cinco lances por hectárea para determinar el promedio de camarones capturados por lance. Este valor se divide para el área efectiva de la atarraya, con el fin de obtener una muestra representativa del estanque y calcular de manera más precisa la densidad poblacional actual.

$$Densidad = \frac{\text{Promedio de camarones vivos por lance (camarones)}}{\text{Área de la atarraya (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

La densidad se expresa en camarones/m<sup>2</sup>.

*Población en promedio:* Corresponde al número de camarones vivos en un momento determinado del cultivo. Este valor se estima mediante muestreos periódicos, aplicando los resultados obtenidos de la densidad poblacional. Para calcular la población total, se multiplica la densidad promedio por el área del estanque expresada en metros cuadrados, lo que permite determinar con mayor exactitud la cantidad de organismos presentes.

$$\text{Población} = \frac{\text{Densidad (camarones/m}^2\text{)}}{\text{Area del estanque (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

Como resultado obtenemos la población en promedio de cuantos camarones vivos estimamos.

*Biomasa:* Es el peso total de los camarones presentes en el estanque. Este indicador permite estimar la cantidad total de materia viva y la producción esperada. Para obtener la biomasa multiplicamos nuestra población o número de camarones vivos por su talla o peso promedio en gramos al momento del muestreo.

$$\text{Biomasa} = \text{Población promedio} \times \text{peso promedio}$$

*Supervivencia:* Representa el porcentaje de camarones que sobreviven hasta el momento de muestreo o cosecha. Es un indicador clave del manejo y la sanidad del cultivo.

$$\text{Supervivencia} = \frac{\text{Número de animales actual}}{\text{Número de animales inicial}} \times 100 \quad (3)$$

*Mortalidad:* La mortalidad se refiere al número o porcentaje de camarones que mueren durante un periodo determinado del cultivo. Se calcula generalmente como el complemento de la supervivencia o directamente a partir del número de organismos muertos registrados durante el cultivo.

$$\text{Mortalidad} = \frac{\text{Número de animales inicial} - \text{Número de animales actual}}{\text{Número de animales inicial}} \times 100 \quad (4)$$

*Factor de conversión alimenticia (FCA):* Representa la cantidad de alimento (en kilogramos) que se necesita para producir un kilogramo de biomasa. Un FCA bajo indica una buena eficiencia alimenticia, mientras que un FCA alto sugiere pérdidas o un manejo deficiente del alimento.

$$\text{FCA} = \frac{\text{Cantidad total de alimento suministrado (kg)}}{\text{Incremento de biomasa (kg)}} \quad (5)$$



Figura 20. Uso de atarraya para el muestreo en camaroneras, El PRODUCTO.

Entender estos indicadores favorece a la validación del estudio dando información relevante para evaluar la producción.

V-C. *Sistemas aplicados a la acuicultura*

En esta sección se abordaran las diferentes tecnologías aplicadas en la acuicultura camaronera y el impacto que ha tenido a lo largo de los años desde el 2010.

V-C1. *Crecimiento de la industria camaronera:* La incorporación de sistemas tecnológicos han permitido evolucionar de un modelo de gestión tradicional, basado en la observación y la experiencia empírica, hacia un enfoque de acuicultura de precisión, donde las decisiones se fundamentan con datos en tiempo real [14]. Podemos observar en la Figura 21 el crecimiento sostenido de la industria camaronera en Ecuador desde el año 2011 hasta el 2024. Las tecnologías han tenido un papel clave en este desarrollo; por ejemplo, los alimentadores automáticos AQ1 se implementan desde el 2014, permitiendo una dosificación más precisa del balanceado y contribuyendo al incremento de la producción y la automatización de las granjas acuícolas.

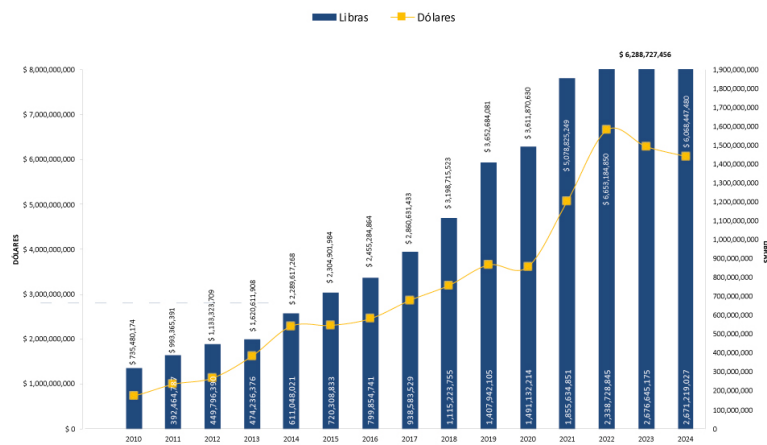


Figura 21. Crecimiento de exportación de camarón en Ecuador, Cámara nacional de acuicultura CNA.

V-C2. *Sistemas tecnológicos aplicados en la acuicultura camaronera:* En la actualidad, la incorporación de tecnologías en la industria camaronera ha transformado los métodos tradicionales de producción, permitiendo una gestión más eficiente y sostenible del cultivo. La automatización, el monitoreo en tiempo real y el uso de herramientas inteligentes han optimizado procesos como la alimentación, aireación, la cosecha y el control de parámetros ambientales. Dentro de estas innovaciones tenemos alimentadores automáticos, aireadores inteligentes, monitoreo, estaciones de bombeo automatizadas y drones para la supervisión de piscinas y la evaluación del entorno acuícola.

*Alimentadores dosificadores de balanceado para camarón:* Los alimentadores como se observa en la Figura 22, son tecnologías que contribuyen al crecimiento óptimo del camarón. Estos sistemas mejoran el factor de conversión alimenticia (FCA), aumentan la supervivencia, reducen los costos operativos y permiten el monitoreo en tiempo real. Su diseño tecnificado integra protocolos de comunicación y algoritmos de inteligencia artificial para gestionar de manera eficiente un sistema de alimentación acústico. [33].



Figura 22. Alimentadores automatizados para camaroneras

*Aireadores inteligentes:* En el sistema de aireadores se han innovado tanto para modelos de combustión o mecánicos como eléctricos diseñados para ambientes salinos como se observa en la Figura 23. Donde se complementan con el uso de sensores e inteligencia artificial, los sistemas son capaces de regular de forma automática su funcionamiento según los niveles de oxígeno, optimizando el consumo energético y garantizando condiciones estables durante el cultivo [34].



Figura 23. Aireadores eléctricos para camaronas, SAGAR

*Cosechadoras para pesca eficiente:* La cosechadora de camarones es un equipo mecánico-automatizado como se puede observar en la Figura 24, permite la extracción de camarones o peces con un mínimo uso de personal, reduciendo el contacto directo con el producto y evitando dañarlo, lo que resulta en un producto de mayor calidad. Esta tecnología ha beneficiado la industria acuícola al optimizar recursos, agilizar el proceso de cosecha, disminuir pérdidas y facilitar una operación más rentable y eficiente para los productores [35].



Figura 24. Cosechadoras para granjas acuícolas, SEINMEX

*Sistemas de monitoreo de la calidad del agua:* Es un sistema de monitoreo continuo e inteligente de la calidad del agua. Utiliza tecnología basada en IoT (Internet de las cosas) y la nube para proporcionar datos en tiempo real. Al día de hoy existen varias empresas que contribuyen con sistemas de monitoreo en tiempo real y los complementan con los sistemas de dosificación. La Figura 25 presenta un dispositivo de monitoreo diseñado para la acuicultura [36].



Figura 25. Sistemas de monitoreo de la calidad del agua, Bluesensor

*Inteligencia artificial aplicada en acuicultura camaronera:* La inteligencia artificial aplicada a la acuicultura de camarones se ha convertido en una herramienta clave para optimizar la producción y el manejo de los sistemas de cultivo. Como se observa en la Figura 26, mediante técnicas de visión artificial y algoritmos de aprendizaje, es posible realizar el conteo automático de camarones, detectar su tamaño corporal. Estas tecnologías reducen la necesidad de muestreos manuales, mejoran la precisión en la toma de decisiones y permiten detectar características de estrés del animal, contribuyendo al bienestar y a una producción más sostenible [37].

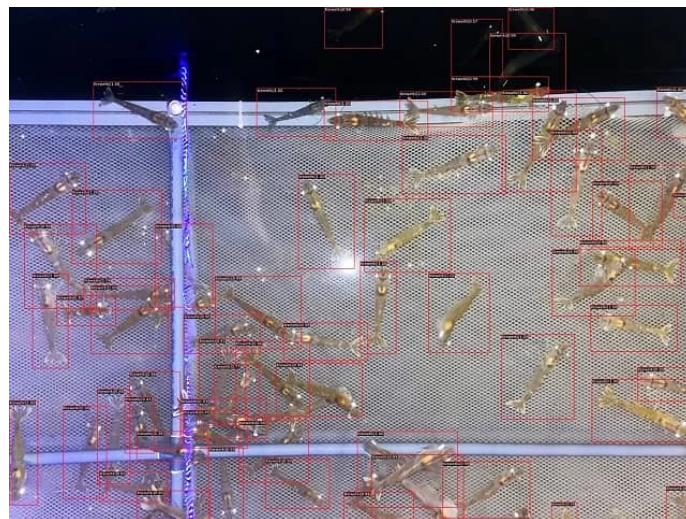


Figura 26. Inteligencia artificial aplicada en camaroneras

#### V-D. El IOT

V-D1. *Introducción al Internet de las Cosas (IoT):* El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la conexión e interacción entre dispositivos capaces de recopilar y compartir datos a través de redes cableadas o inalámbricas. Figura 27. El IOT describe una red de objetos físicos que están integrados con sensores, software y otras tecnologías. Esto les permite conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet.[38] Para su funcionamiento se pueden dividir en tres capas [39].

- Capa física: Conformada por dispositivos, sensores y controladores que pueden conectarse por red cableada o inalámbrica
- Capa de procesamiento: Almacenamiento y procesamiento de datos de los dispositivos usando redes y protocolos de comunicación.
- Capa de aplicación: Servicios integrados que transforman los datos de los dispositivos en información útil.



Figura 27. Representación de un sistema de IOT, CIC

V-D2. *Protocolos y comunicación en IoT:* Los sistemas de monitoreo basados en el internet de las cosas han sumado a las diferentes industrias. Para lograr una buena comunicación entre los equipos, se utilizan diferentes protocolos de comunicación que aseguran la transmisión de los datos hacia una plataforma o servidor como se observa en la Figura 28. Entre los más usados en este tipo de proyectos son MQTT, HTTP, CoAP para la comunicación a nivel de aplicación, y tecnologías de conectividad como LoRaWAN, Wi-Fi o Zigbee, que permiten la interconexión inalámbrica de los dispositivos en entornos rurales o de difícil acceso, garantizando la integridad y disponibilidad de la información en tiempo real.



cuales son parámetros críticos para evaluar la calidad del agua en la camaronera. Estos sensores están conectados al microcontrolador ESP32 LoRa Heltec V3, que actúa como nodo de sensado y transmisión. La función principal de esta capa es detectar y cuantificar las condiciones ambientales de la granja, garantizando la disponibilidad de información precisa para la toma de decisiones.

*Capa de red:* La capa de red es la encargada de la transmisión de la información recolectada hacia un servidor en la nube. En este proyecto, la comunicación se establece mediante el protocolo LoRaWAN, que ofrece bajo consumo energético y gran alcance, características especialmente útiles en entornos extensos y con infraestructura limitada como las granjas acuícolas. Los datos generados por el nodo (ESP32 LoRa Heltec V3) son enviados al Gateway WisGate Edge Lite 2, que funciona como intermediario entre los dispositivos de campo y la nube. Posteriormente, la información se redirige hacia la plataforma The Things Network (TTN), encargada de la gestión y enrutamiento de los mensajes IoT.

*Capa de procesamiento:* En esta capa, la información recibida es almacenada, procesada y organizada para convertirla en datos útiles. A través de la integración con plataformas en la nube, tales como Node-RED, Grafana o ThingsBoard, es posible estructurar los datos en tiempo real y generar análisis históricos de las mediciones. El sistema puede implementar reglas lógicas para emitir alertas inmediatas (por ejemplo, en caso de que el oxígeno disuelto descienda por debajo de niveles críticos), contribuyendo a la toma de decisiones rápida y oportuna.

*Capa de aplicación:* Constituye el punto de interacción con el usuario final. En este proyecto se propone el desarrollo de un dashboard web, el cual permitirá la visualización en tiempo real de gráficas y tendencias de pH, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. Esta interfaz facilita al operador un control centralizado y accesible de los parámetros de calidad de agua, así como la generación de alertas que contribuyan a prevenir condiciones adversas en el cultivo. La aplicación puede ampliarse en un futuro a plataformas móviles, optimizando la disponibilidad de la información en cualquier momento y lugar.

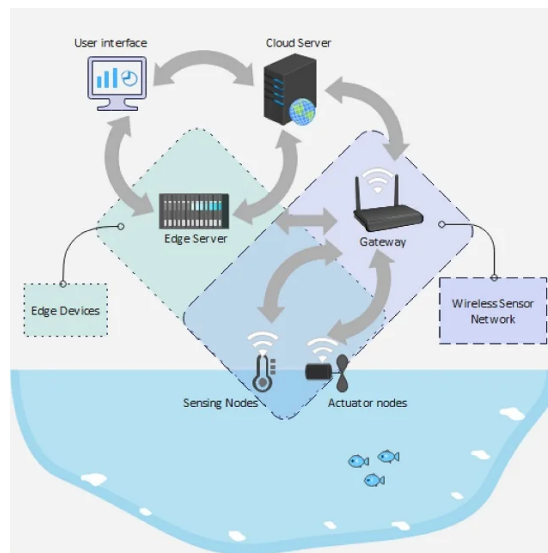


Figura 30. Arquitectura en una granja acuícola, Rastegari

## VI. MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación describe el enfoque metodológico bajo un enfoque aplicado y cuantitativo empleado para el desarrollo del proyecto, detallando las etapas, técnicas y herramientas utilizadas. Se explica el procedimiento seguido desde la recopilación de información hasta la implementación del sistema propuesto, asegurando la coherencia entre los objetivos planteados y las actividades realizadas. Además, se presentan los materiales, equipos y métodos de análisis aplicados para el diseño, desarrollo y validación del sistema de monitoreo y control de parámetros en la camaronera, basado en tecnología IoT.

### VI-A. *Análisis del entorno y requerimientos*

En esta etapa se realizó la identificación y comprensión de la problemática existente en el grupo de pequeñas empresas dedicadas al cultivo de camarón. Se observó que los métodos tradicionales utilizados por los acuicultores de piscinas, no garantizan la estabilidad ni la eficiencia del proceso productivo, debido a diversos factores ambientales y de gestión.

Entre las principales causas que afectan el rendimiento de la producción se destacan: la mala calidad del agua proveniente de zonas de manglar, la falta de mantenimiento y estudios de suelo, la deficiente calidad del alimento y la ausencia de tecnologías de automatización y monitoreo que permitan un control adecuado de las condiciones del cultivo.

A lo largo de las últimas décadas, la industria camaronera ecuatoriana ha experimentado un notable crecimiento en producción y exportación, impulsado por la adopción de nuevas tecnologías y la tecnificación progresiva de los procesos. Sin embargo, las pequeñas granjas camaroneras conformadas por productores independientes han quedado rezagadas tecnológicamente, manteniendo equipos obsoletos y sistemas manuales de operación.

Mientras que las empresas de gran escala cuentan con equipos innovados para la oxigenación, estaciones de bombeo, alimentadores automáticos integrados a sistemas de monitoreo en tiempo real entre otros, los pequeños productores continúan realizando mediciones de forma manual, sin registros históricos ni control automatizado.

Este grupo enfrenta limitaciones significativas, principalmente de tipo económico y geográfico, que dificultan la adquisición de equipos inteligentes debido a sus altos costos y a la limitada disponibilidad de conectividad en zonas rurales. A pesar de contar con otras opciones de equipos en el mercado, persiste una marcada desconfianza hacia la adopción tecnológica, motivada por el desconocimiento, la falta de capacitación técnica y la percepción de riesgo frente a las nuevas herramientas digitales.

En consecuencia, se evidencia la necesidad de impulsar a las soluciones tecnológicas accesibles, confiables y adaptadas al entorno productivo de las pequeñas camaroneras, que faciliten el monitoreo de parámetros críticos medibles del agua.

Para el presente estudio se identificó la piscina piloto donde se llevará a cabo la implementación del sistema IoT de monitoreo de calidad del agua mediante tecnología LoRaWAN 31. El sitio seleccionado se encuentra ubicado en el km 10.5 de la vía Data – Posorja, en el cantón General Villamil Playas.

La granja cuenta con dos cuerpos de agua: un criadero menor a una hectárea, actualmente en desuso, y una piscina principal de aproximadamente cuatro hectáreas, destinada a la etapa de crecimiento y engorde del camarón. El sistema de abastecimiento proviene directamente del manglar más cercano, ya que no dispone de un reservorio independiente.



Figura 31. Camaronera intervenida, Juela y Sanchez

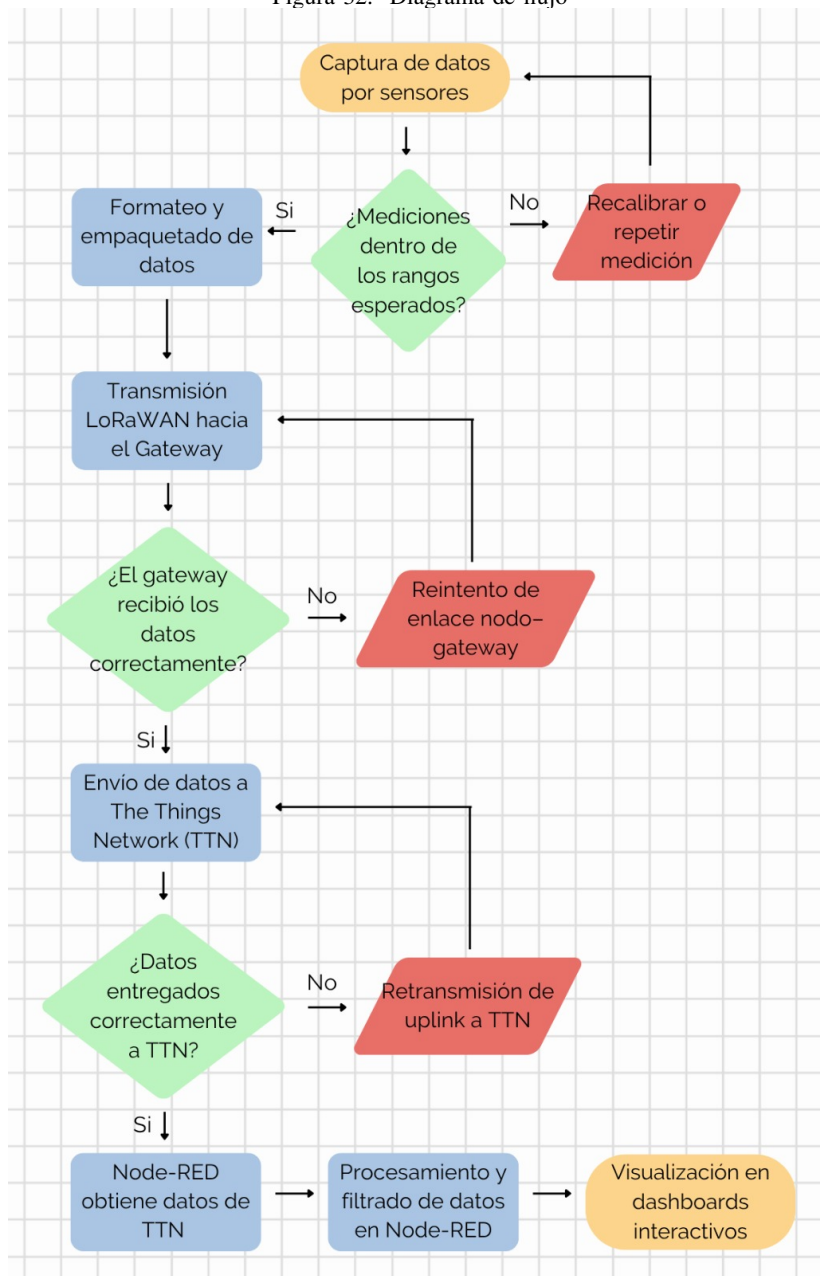
En la actualidad, las operaciones se desarrollan con recursos limitados: la piscina cuenta únicamente con un aireador de combustión, sin presencia de alimentadores automáticos ni oxigenómetros o algún otro equipo de medición para el seguimiento de la calidad del agua. El control del cultivo se realiza de forma manual, mediante recambio de agua aprovechando los ciclos de aguaje, fertilización periódica y aplicaciones de cal de manera empírica y alimentación al voleo.

A pesar de contar con varios años de funcionamiento, la piscina ha experimentado una disminución progresiva en la producción y pérdidas recurrentes durante los últimos dos años, atribuibles a factores como variaciones en la calidad del agua, falta de control sobre los niveles de oxígeno disuelto y pH, y ausencia de herramientas de monitoreo.

Ante esta situación, se plantea la intervención mediante el desarrollo de un sistema IoT de bajo costo, que permita monitorear en tiempo real los parámetros críticos del agua, ofreciendo al acuicultor información confiable para la toma de decisiones basada en su experiencia y en datos medibles del entorno.

A continuación se muestra el diagrama de flujo en la figura 32.

Figura 32. Diagrama de flujo



## VI-B. Diseño

### VI-B1. Diseño IOT:

*Arquitectura y esquemático del prototipo:* En el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT), la selección del protocolo de comunicación es un factor determinante para garantizar la viabilidad técnica y operativa del sistema. La diversidad de tecnologías disponibles, como Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth (BLE) y las tecnologías de baja potencia y largo alcance (LPWAN) como LoRa y LoRaWAN, ofrece un espectro de soluciones adaptables a distintas necesidades. No obstante, la elección óptima depende de un balance crítico entre el rango de cobertura, el consumo energético, la topología de red y la robustez del enlace en entornos complejos.

Como se puede observar en la Tabla III Mientras que protocolos como Wi-Fi y Bluetooth son eficaces para aplicaciones de corto alcance y alta velocidad de datos (como dispositivos wearables o domóticos), presentan limitaciones significativas en proyectos que requieren cubrir grandes distancias o que operan en zonas con infraestructura limitada. Por otro lado, Zigbee ofrece una alternativa versátil mediante redes de malla, pero su alcance por nodo sigue siendo reducido en comparación con las soluciones de largo alcance. Es en este escenario donde LoRa y LoRaWAN se posicionan como las tecnologías más robustas para aplicaciones industriales y agrícolas, gracias a su capacidad de mantener enlaces de comunicación de hasta 15 km con un consumo de energía extremadamente bajo, permitiendo la autonomía de los nodos por varios años.

Tabla III  
TABLA COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN, POR N. JUELA E I. SANCHEZ.

Características	LoRa	LoRaWAN	Zigbee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi	Bluetooth (BLE)
Capa / tipo de red	Modulación (capa física)	Protocolo de red LPWAN	Protocolo de red inalámbrica (WPAN)	Red inalámbrica local (WLAN)	Comunicación inalámbrica de corto alcance WPAN
Rango de cobertura	Hasta 15 km (rural)	Hasta 15 km (rural), 2-5 km (urbano)	10 – 100 m (hasta 1 km con malla)	20 – 50 m	5– 30 m
Consumo energético	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Alto	Muy bajo
Velocidad / ancho de banda	Muy bajo (0.3–50 kbps)	Bajo (0.3–5.0 kbps)	Bajo–medio (hasta 250 kbps)	Alto (Mbps)	Medio (≈1 Mbps)
Topología de red	Punto a punto	Estrella (nodo–gateway)	Estrella / malla	Estrella	Punto a punto
Escalabilidad	Limitada	Alta (varios nodos por gateway)	Media	Media	Baja
Requiere internet	No	No (Opcional)	No	Si	No
Interferencia	Baja	Muy baja	Media	Alta	Media
Seguridad	Básica	AES-128 extremo a extremo	AES-128	WPA2 / WPA3	AES-128
Infraestructura requerida	Nodos LoRa	Gateway + servidor de red	Coordinador Zigbee	Router / AP	Dispositivo maestro
Robustez en ambientes exteriores	Alta	Alta	Media	Baja	Baja
Ámbito de aplicación	Enlaces de largo alcance	IoT agrícola e industrial	Redes de sensores locales	Datos masivos, internet	IoT doméstico, wearables

La adopción de LoRaWAN en este trabajo de investigación se justifica por su capacidad de gestión de red a través de una arquitectura de estrella (nodo-gateway), la cual proporciona una alta escalabilidad y seguridad. A diferencia de otras opciones que requieren una conexión constante a internet o infraestructuras costosas, LoRaWAN optimiza la eficiencia del sistema en entornos exteriores, garantizando una alta inmunidad a las interferencias. En la Tabla 2 se presenta un resumen detallado de las principales características comparativas entre estos protocolos, subrayando las ventajas competitivas de la tecnología seleccionada.

Para el desarrollo de la solución tecnológica, se ha diseñado una arquitectura estructural de cuatro capas fundamentada en el protocolo LoRaWAN. Esta decisión se sustenta en la necesidad de garantizar un despliegue eficiente en el entorno de la camaronera, donde la cobertura de largo rango (hasta 15 km en zonas rurales) y el consumo energético muy bajo son factores críticos. A diferencia de protocolos de corto alcance como Bluetooth (BLE) o Wi-Fi, LoRaWAN ofrece una alta robustez en ambientes exteriores y una seguridad superior.

La estructura propuesta que se observa en la Figura 33, organiza el flujo de información a través de las capas de Percepción, Red, Servidor y Aplicación. En la base del sistema, la capa de percepción gestiona la captura de variables como temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad mediante nodos sensores. Posteriormente, la capa de red utiliza la modulación LoRa para el transporte inalámbrico de estos datos hacia el gateway. Dado que las instalaciones cuentan con cobertura, el gateway utiliza la conexión a internet local para redirigir los paquetes hacia la capa de servidor, donde se procesan con The Things Network y Node-RED para su almacenamiento en InfluxDB. Finalmente, en la capa de aplicación, la información es visualizada y analizada por el usuario.

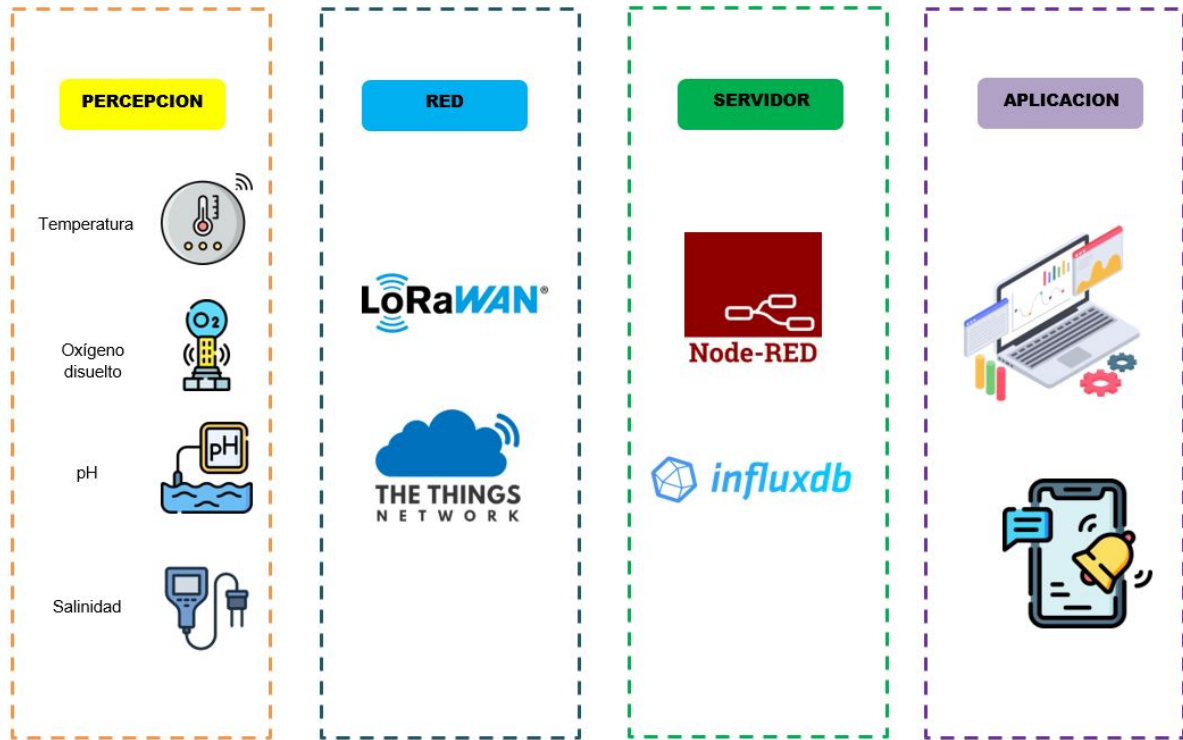


Figura 33. Arquitectura de cuatro capas del sistema IOT, Juela y Sanchez

Una vez definida la arquitectura del sistema, se elaboró el esquema funcional del prototipo IoT, el cual describe el flujo de información desde la adquisición de datos en campo hasta su procesamiento y disponibilidad para el análisis. Este esquema permite comprender la integración entre los componentes de hardware y software empleados, así como la secuencia operativa del sistema de monitoreo de la calidad del agua en la camaronera.

El proceso inicia en las piscinas de cultivo, donde los sensores miden periódicamente las variables críticas de temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad. Los datos obtenidos son procesados por el microcontrolador y transmitidos de forma inalámbrica mediante tecnología LoRaWAN hacia un gateway central, aprovechando su amplio alcance y bajo consumo energético, lo que lo hace adecuado para entornos rurales con conectividad limitada.

Posteriormente, la información es gestionada a través del servidor de red LoRaWAN y enviada a una base de datos de series temporales, donde se almacenan los registros históricos de las variables monitoreadas. Estos datos son visualizados mediante tableros en Grafana, los cuales facilitan el monitoreo en tiempo real; no obstante, el propósito principal del almacenamiento y la visualización de la información es servir como apoyo para la toma de

decisiones operativas, basadas en el análisis de tendencias y el comportamiento histórico del sistema.

En la Figura 34 se presenta el esquema del funcionamiento del prototipo propuesto, donde se observa la interconexión de cada etapa desde la captura en campo hasta la interfaz de usuario.

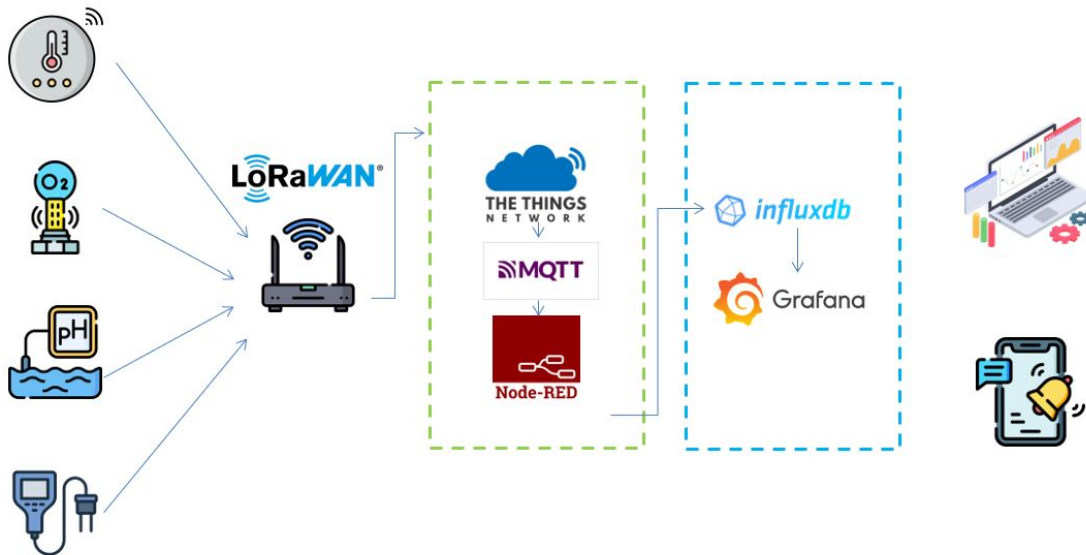


Figura 34. Esquema de funcionamiento del sistema IOT, Juela y Sanchez

Para el desarrollo del prototipo IoT se empleó el microcontrolador ESP32 LoRa Heltec V3, el cual integra en una sola placa las capacidades de procesamiento, comunicación inalámbrica y gestión energética necesarias para aplicaciones de monitoreo en campo. Este dispositivo combina un microcontrolador ESP32 de alto rendimiento con un módulo de comunicación LoRa compatible con el protocolo LoRaWAN, lo que permite la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético.

A continuación, se presenta la Figura 35 una ESP32 LoRa Heltec V3 que fue seleccionada debido a su compatibilidad con múltiples sensores analógicos y digitales, su arquitectura de doble núcleo y su capacidad de operación en entornos de bajo consumo, características fundamentales para sistemas IoT desplegados en zonas rurales.

Como parte de la arquitectura del sistema IoT, se definió un nodo central de comunicación, encargado de recibir la información transmitida por los nodos sensores y actuar como enlace entre la red LoRaWAN y la infraestructura de red disponible. Para cumplir esta función, se seleccionó el gateway RAK WisGate Lite 2, en su versión sin conectividad LTE, ya que el funcionamiento del sistema requiere que el gateway se conecte a Internet a través de una red local cableada o inalámbrica para permitir la transmisión de datos hacia los servidores de aplicación.

El gateway RAK WisGate Lite 2, como se observa en la figura 36 es compatible con el protocolo LoRaWAN y se integra de manera nativa con el servidor de red The Things Network (TTN), lo que facilita la gestión de

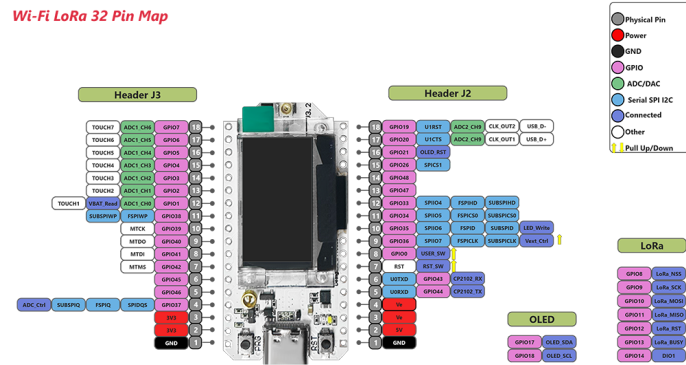


Figura 35. Esquema de microcontrolador wifi lora esp32 V3

dispositivos, la recepción de paquetes y el enrutamiento de la información generada por los nodos de monitoreo. Esta compatibilidad permite una implementación flexible y escalable del sistema, adaptándose a las condiciones de conectividad presentes en la zona de estudio.



Figura 36. Rak Wisgate lite 2 versión sin LTE

A continuación, se presenta en la siguiente Figura 37 un esquema de conexión del gateway

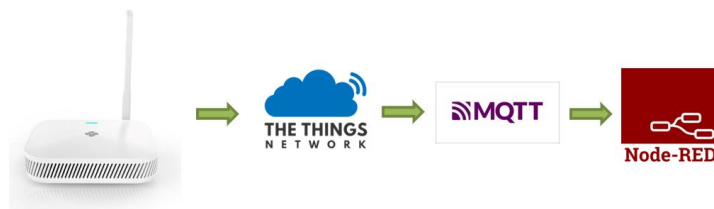


Figura 37. Conexión de gateway

VI-B2. *Diseño mecánico:* Con el objetivo de complementar el prototipo IoT y garantizar su adecuada protección y estabilidad dentro de la granja acuícola, se empleó el software SolidWorks para el diseño de una estructura flotante. La estructura fue desarrollada utilizando tubos de aluminio de 2 cm de diámetro, seleccionados por su bajo peso, resistencia mecánica y tolerancia a ambientes húmedos y corrosivos.

Como se observa en la Figura 38 correspondiente, se incorporaron en la parte central dos aletas estructurales destinadas al ensamblaje y fijación de la caja que contiene el prototipo IoT. Esta configuración permite asegurar el módulo electrónico, reducir vibraciones y proporcionar mayor estabilidad mecánica durante la operación en campo.

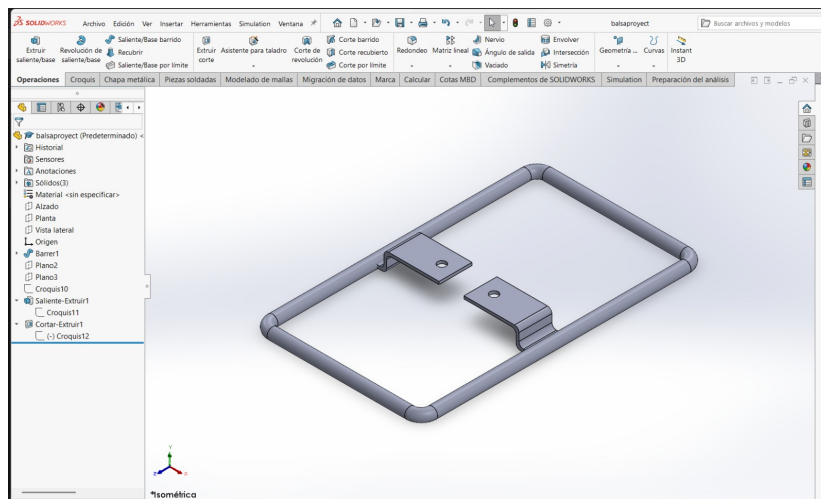


Figura 38. Diseño de estructura flotante en SolidWorks, por A. Sanchez y N. Juela

Para garantizar la estabilidad y flotabilidad del sistema, se integrarán flotadores distribuidos en los extremos de la estructura. Esta disposición favorece una adecuada distribución de cargas, minimizando inclinaciones provocadas por el viento, el oleaje o el movimiento natural del agua en la piscina camaronera. En la Figura XXX se presenta el diseño ensamblado en SolidWorks para su próxima implementación en campo.

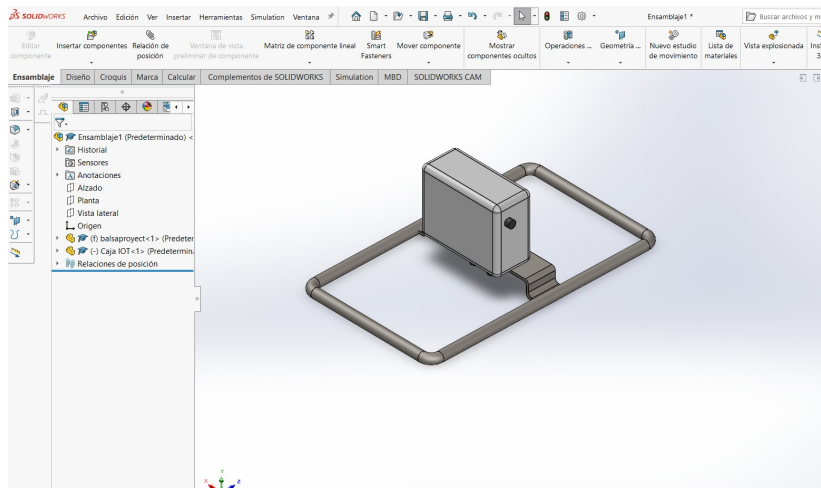


Figura 39. Vista isométrica del prototipo IOT en SolidWorks, por A. Sanchez y N. Juela

### VI-B3. Diseño electrónico:

*Selección de materiales:* En este contexto, la selección adecuada de los sensores constituye un aspecto fundamental para garantizar la confiabilidad y precisión de los datos recolectados por el sistema IoT propuesto. La elección de estos dispositivos se realiza considerando criterios como el tipo de variable a medir, el rango de operación requerido en entornos acuícolas, el consumo energético, la compatibilidad con el microcontrolador empleado y la relación costo-beneficio, con el fin de asegurar un monitoreo continuo y eficiente de los parámetros críticos del agua.

*Sensor de oxígeno disuelto:* A continuación, se presenta la Tabla IV donde compara tres sensores de oxígeno disuelto comúnmente utilizados en proyectos de monitoreo acuícola y aplicaciones de campo. Se considera criterios técnicos y económicos relevantes, tales como el rango de medición, la precisión, el tipo de salida, el consumo energético y el costo de adquisición.

Tabla IV  
TABLA COMPARATIVA SENSOR DE OXIGENO DISUELTO , POR N. JUELA E I. SANCHEZ.

Característica	SEN0237 DFRobot DO	Atlas Scientific DO	YSI ProODO Optical DO
Tipo	Galvánico	Óptico	Óptico (luminescencia)
Rango	0 – 20 mg/L	0 – 100 mg/L	0 – 50 mg/L
Precisión	±0.2 mg/L	±0.05 mg/L	±0.1 mg/L
Interfaz	Analógica	UART / I2C	Digital via instrumento
Alimentación	3.3 – 5 V	5 V	5 V
Calibración	Manual	Automática	Automático
Uso en campo	Bajo-Medio	Alto	Alto
<b>Precio aprox.</b>	<b>USD 180 - 200</b>	<b>USD 370 – 400</b>	<b>USD 950 - 1000</b>

Con base en este análisis se seleccionó el sensor oxígeno disuelto de la marca DFRobot Figura 40, debido a que presenta una relación costo-beneficio favorable, cumple con los requerimientos técnicos del sistema propuesto y resulta adecuado para el desarrollo y validación de un prototipo funcional orientado al monitoreo en tiempo real de la calidad del agua.



Figura 40. Sensor de oxígeno disuelto, Df Robot.

*Sensor de PH:* A continuación, se presenta la tabla V donde se compara tres sensores de pH comúnmente utilizados en proyectos de monitoreo de calidad de agua y aplicaciones de campo.

Tabla V  
TABLA COMPARATIVA DE SENSOR DE PH, POR N. JUELA E I. SANCHEZ.

Característica	PH 4502C	Atlas Scientific pH	DFRobot SEN0161
Rango	0 – 14 pH	0 – 14 pH	0 – 14 pH
Precisión	±0.1 pH	±0.01 pH	±0.1 pH
Interfaz	Analógica	UART / I2C	Analógica
Calibración	Manual	Automática	Manual
Compensación	No	Sí	No
Alimentación	3.3 - 5 V	5 V	5 V
Uso en campo	Bajo-Medio	Alto	Medio
<b>Precio aprox.</b>	<b>USD 45-50</b>	<b>USD 165</b>	<b>USD 65 - 85</b>

Con base en este análisis, se seleccionó el sensor de pH modelo PH-4502 que se observa en la Figura 41, debido a que presenta una relación costo-beneficio favorable, cumple con los requerimientos técnicos del sistema propuesto y resulta adecuado para el desarrollo y validación de un prototipo funcional.



Figura 41. Sensor de PH

*Sensor de temperatura:* Se presenta la Tabla VI donde se compara tres sensores de temperatura utilizados en proyectos de monitoreo del agua y aplicaciones de campo. La comparación se realiza considerando criterios técnicos y económicos relevantes, tales como el rango de medición, la precisión, el tiempo de respuesta, el tipo de comunicación, el consumo energético y el costo de adquisición.

Tabla VI  
 TABLA COMPARATIVA DE SENSOR DE TEMPERATURA, POR N. JUELA E I. SANCHEZ.

Característica	DS18B20	NTC 10K	PT100
Rango	-55 a 125 °C	-25 - 125 °C	-200 a 850 °C
Precisión	±0.5 °C	±1 °C - ±2 °C	±0.1 °C
Interfaz	Digital	Analógica	Analógica
Resistencia al agua	Sí (encapsulado)	Si	Sí
Complejidad	Baja	Media	Alta
Alimentación	3.3 - 5 V	3.3 - 5 V	Requiere módulo (Max31865)
Uso en campo	Medio-alto	Bajo-Medio	Alto
Precio aprox.	USD 20-25	USD 10-15	USD 40-55

Con base en este análisis, se seleccionó el sensor de temperatura DS18B20 Figura 42, debido a que presenta una relación costo-beneficio favorable, cumple con los requerimientos técnicos del sistema propuesto y resulta adecuado para el desarrollo y validación de un prototipo funcional orientado al monitoreo continuo del agua.



Figura 42. Sensor de temperatura.

*Sensor de Salinidad:* A continuación, se observa la Tabla VII donde se compara tres sensores de salinidad utilizados en proyectos de monitoreo del agua y aplicaciones de campo. La comparación se realiza considerando criterios técnicos y económicos relevantes, tales como el rango de medición, la precisión, el principio de medición (conductividad), el tipo de salida, el consumo energético y el costo de adquisición.

Tabla VII  
 TABLA COMPARATIVA DE SENSOR DE SALINIDAD, POR N. JUELA E I. SANCHEZ.

Característica	TDS KS0429	Atlas EC	SEN0244
Rango	0 – 1000 ppm	0 – 200,000 µS/cm	0 – 20 ppt
Precisión	Media	Alta	Media
Interfaz	Analógica	UART / I2C	Analógica
Aplicación	TDS / salinidad básica	Profesional	Salinidad
Complejidad	Baja	Alta	Media
Alimentación	3.3 - 5 V	3.3 - 5 V	3.3 - 5 V
Uso en campo	Baja	Medio	Alto
Precio aprox.	USD 25	USD 160 – 200	USD 35 - 45

Segun este análisis, se seleccionó el sensor de salinidad que se observa en la Figura 43, debido a que presenta una relación costo-beneficio favorable, cumple con los requerimientos técnicos del sistema propuesto y resulta adecuado

para el desarrollo y validación de un prototipo funcional orientado al monitoreo continuo de la calidad del agua.



Figura 43. Sensor de salinidad.

*Diagrama de conexiones y placa PCB:* En la etapa inicial del sistema se realizaron pruebas preliminares con el microcontrolador ESP32, con el objetivo de validar su correcto funcionamiento y la transmisión de datos a través del protocolo LoRaWAN. En esta fase, el microcontrolador fue programado para enviar datos de manera aleatoria, los cuales fueron recibidos por el gateway y posteriormente visualizados en la plataforma The Things Network (TTN). Esta verificación permitió confirmar la comunicación correcta antes de integrar los sensores al sistema.

Una vez validada la transmisión básica de datos, se procedió a la incorporación progresiva de los sensores. El primer sensor integrado fue el DS18B20, encargado de la medición de temperatura, cuyos datos fueron enviados exitosamente hacia Node-RED mediante el protocolo MQTT. Posteriormente, se fueron añadiendo el resto de los sensores del sistema, verificando en cada caso la correcta adquisición, transmisión y recepción de la información. Este proceso gradual permitió asegurar la estabilidad del sistema antes de avanzar a la etapa de diseño físico del hardware.

A continuación, se presenta el diseño esquemático del sistema Figura 44, elaborado en el software EasyEDA, en el cual se detallan las conexiones eléctricas entre el microcontrolador, los sensores y los demás componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del sistema. Este esquema sirvió como base para el diseño de la placa de circuito impreso (PCB), garantizando una correcta interconexión y distribución de señales.

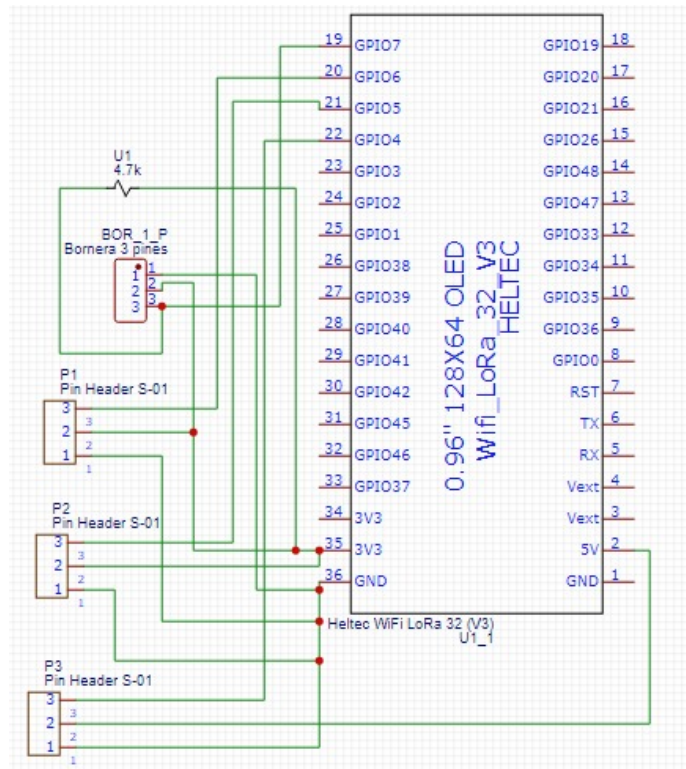


Figura 44. Esquemático general diseño en EasyEda, por A. Sanchez y N. Juela

Posteriormente, se muestra el diseño de la placa PCB Figura 45, se observa la disposición de los componentes electrónicos y el ruteo de las pistas conductoras, considerando criterios de orden, compactación y confiabilidad eléctrica. Este diseño permitió optimizar el espacio disponible y facilitar el proceso de fabricación de la placa (Figura Y).

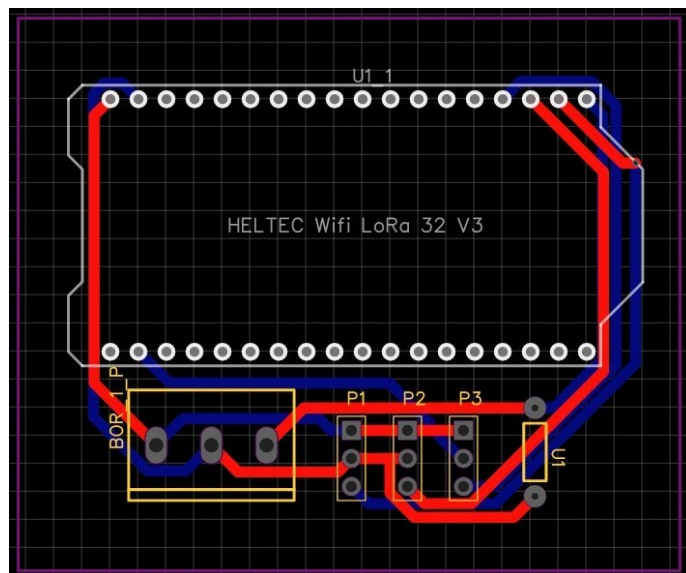


Figura 45. Diseño de PCB en EasyEda con ruteo de pistas y distribución, por A. Sanchez y N. Juela

Finalmente, se presenta la Figura 46 donde se visualiza el 3D de la placa PCB, en la cual se aprecia la distribución de los componentes previo a ensamblar, proporcionando una referencia clara y verificación física del diseño. Esta representación permitió validar la correcta ubicación de los elementos antes de la fabricación final.

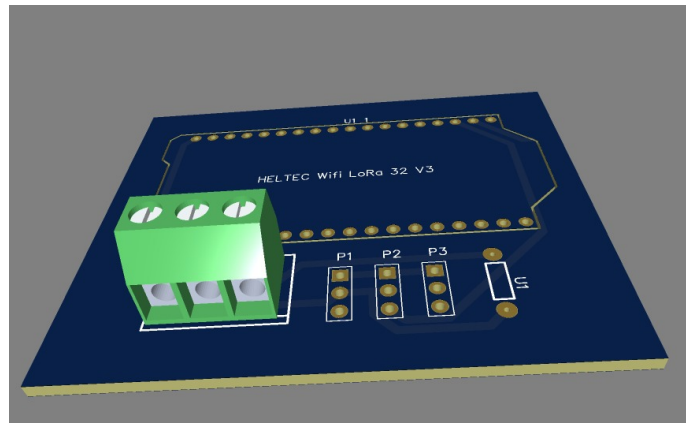


Figura 46. Diseño 3D de PCB en EasyEda, por A. Sanchez y N. Juela

**VI-B4. Software del sistema:** La presente sección describe las principales herramientas open source empleadas en el desarrollo del software y en la construcción del dashboard final. Tal como se visualizó previamente en la Figura 34, el proceso inicia con la detección de las señales por el microcontrolador, las cuales son transmitidas hacia el Gateway mediante The Things Network (TTN). Posteriormente, la información es enviada a la plataforma Node-RED a través del protocolo MQTT, permitiendo su procesamiento y gestión. Finalmente, los datos son almacenados en la base de datos InfluxDB y visualizados en Grafana, facilitando el monitoreo y análisis en tiempo real de las variables medidas.

**Comunicación y conectividad:** Se verificó la interacción entre el microcontrolador, los sensores y el gateway LoRaWAN, asegurando el funcionamiento adecuado de la capa física y de red. Permitiendo la transmisión de los datos adquiridos hacia el gateway mediante el protocolo LoRaWAN y red The Things Network (TTN), lo que permitió establecer una comunicación confiable entre el nodo de adquisición y la infraestructura a la nube.

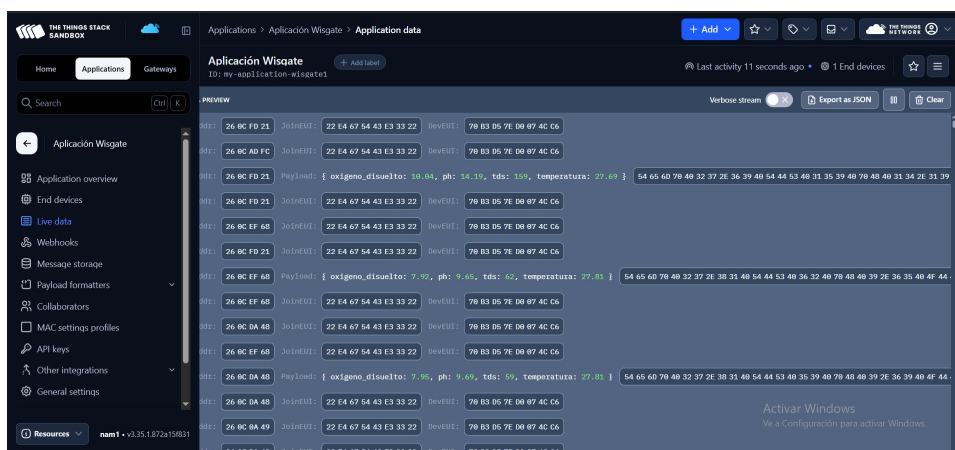


Figura 47. validación de comunicación entre microcontrolador, sensores y gateway LoRaWAN

Como se muestra en la Figura 47, se validó la transmisión efectiva de los paquetes de datos desde el nodo hacia TTN, confirmando la recepción correcta de la información en la plataforma. La visualización de los mensajes entrantes y sus parámetros asociados evidenció que la comunicación se realizó sin pérdidas significativas ni errores de enlace, lo que demuestra que la configuración del sistema cumple con los requerimientos de conectividad establecidos para el funcionamiento del proyecto.

*Inter-operabilidad entre plataformas:* La validación de la inter-operabilidad entre plataformas se centró en comprobar la correcta integración entre The Things Network (TTN) y el entorno de procesamiento Node-RED, utilizando el protocolo MQTT como medio de comunicación. Para ello, se configuró la conexión segura entre ambas plataformas, permitiendo la suscripción de Node-RED a los tópicos correspondientes a los dispositivos registrados en TTN. Esta configuración garantizó la recepción en tiempo real de los mensajes enviados por el nodo LoRaWAN, asegurando la continuidad del flujo de información desde la capa de red hacia la capa de aplicación.

Una vez recibidos los datos en Node-RED, se procedió a la decodificación y procesamiento del payload, validando que la información proveniente de los sensores fuera interpretada correctamente. Posteriormente, se programaron y configuraron los nodos necesarios para el enrutamiento de los datos hacia los distintos servicios del sistema, tales como almacenamiento y visualización. Como se observa en la Figura 48 el flujo implementado en Node-RED permitió una gestión ordenada y eficiente de la información, confirmando el correcto funcionamiento de la capa de aplicación y procesamiento de datos del sistema propuesto.

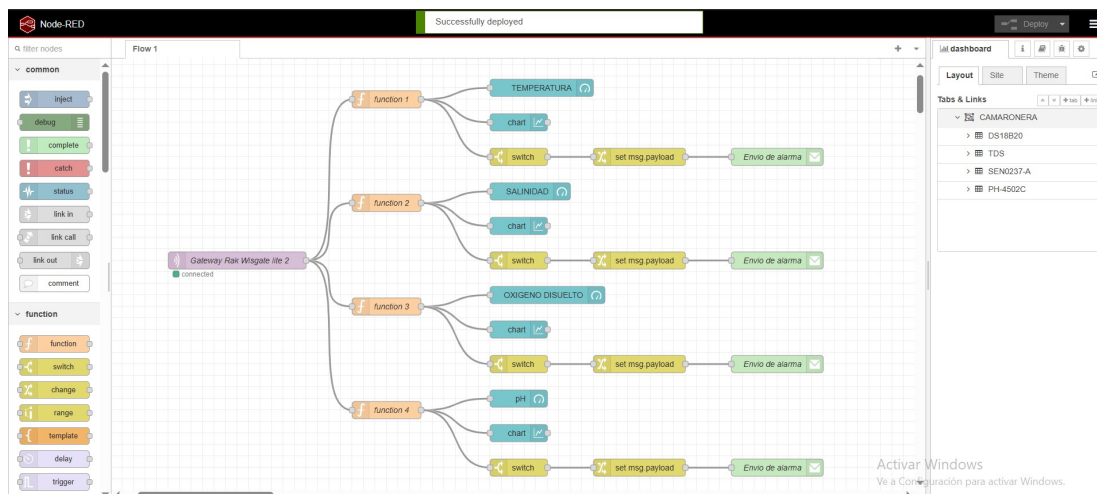


Figura 48. Programación principal de nodos en Node-red

*Almacenamiento y gestión de datos:* Una vez obtenidos los datos provenientes de los sensores y visualizados en el entorno Node-RED, se identificó una limitación relacionada con la persistencia de la información. En caso de una desconexión o reinicio del sistema IoT, los datos recopilados hasta ese momento se perderían, reiniciándose el registro de lecturas desde cero. Esta situación evidenció la necesidad de incorporar la gestión de almacenamiento que permita conservar la información de manera continua y segura, independientemente del estado operativo del sistema.

Por esta razón, se optó por integrar una base de datos al sistema, seleccionándose InfluxDB, una herramienta de

código abierto especializada en el manejo de bases de datos de series temporales, adecuada para aplicaciones IoT. Para ello, se implementó un flujo adicional de nodos que permite la interconexión entre Node-RED e InfluxDB. Como se observa en la Figura 49, dicho flujo posibilita el almacenamiento estructurado de los datos adquiridos, validando así la correcta gestión y persistencia de la información generada por el sistema.

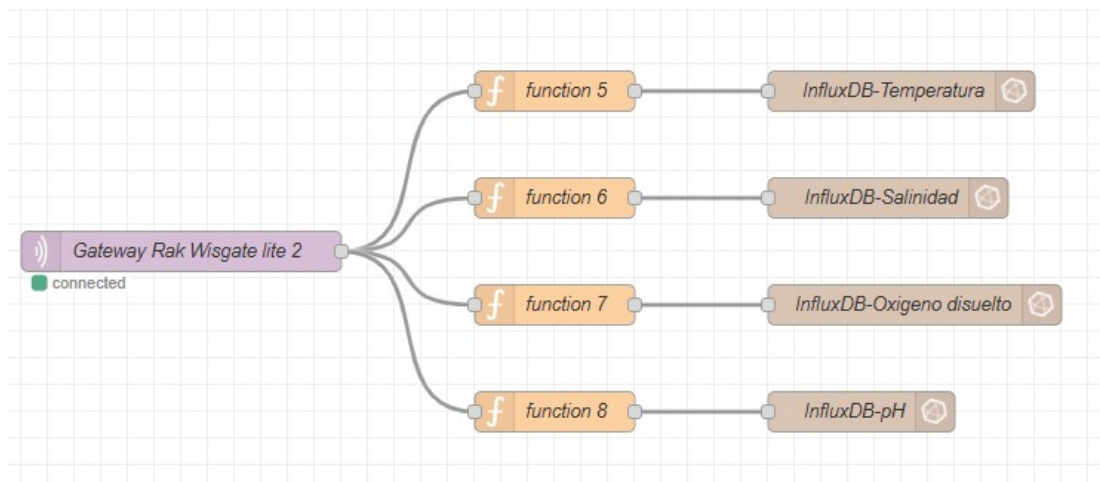


Figura 49. InfluxDB como base de datos

*Visualización y acceso a la información:* Una vez verificada la correcta recepción de los datos en el entorno Node-RED, se procedió a la configuración y visualización de los dashboards mediante las herramientas nativas de la plataforma como se observa en la Figura 50. Esta etapa permitió representar de manera gráfica y en tiempo real los valores obtenidos por los sensores, facilitando la supervisión del comportamiento del sistema. En la figura correspondiente se presenta el dashboard implementado en Node-RED, el cual evidencia la correcta interpretación y visualización inicial de la información recibida.

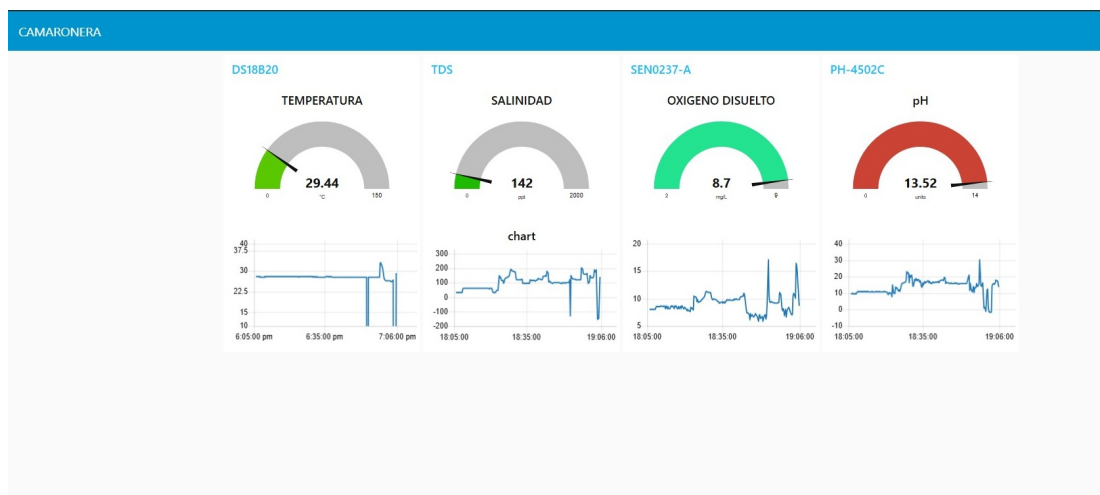


Figura 50. Diseño de Dashboard en Node-red

Posteriormente, con el fin de garantizar la persistencia de los datos generados por cada sensor, se integró la base de datos InfluxDB al sistema, permitiendo el almacenamiento estructurado de la información proveniente de Node-RED. Esta integración posibilitó no solo la conservación de los datos ante posibles desconexiones del sistema, sino también su posterior proyección y análisis. En la siguiente Figura 51 se muestra la interconexión entre Node-RED e InfluxDB, validando el correcto flujo y almacenamiento de la información.

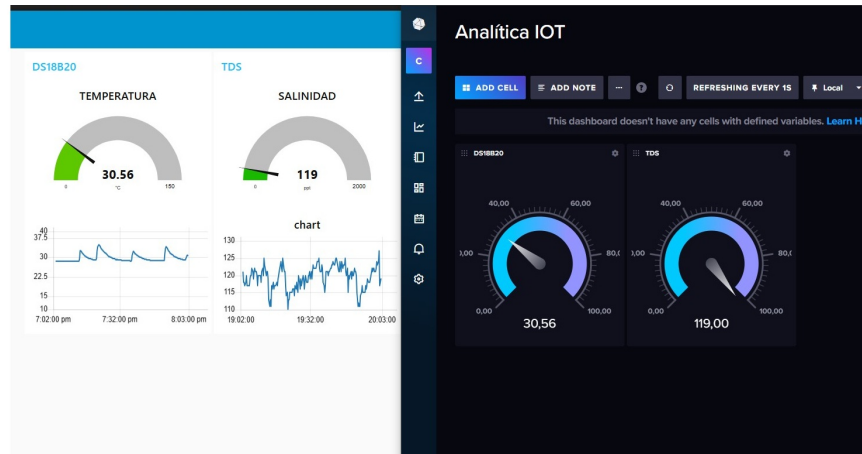


Figura 51. Implementación de influxDB como base de datos

Finalmente, a partir de la disponibilidad de una base de datos consolidada, se incorporó la herramienta orientada a la visualización avanzada de la información, seleccionándose Grafana por su flexibilidad y alto nivel de personalización en el diseño de dashboards. En esta plataforma se proyectaron los datos históricos y en tiempo real recopilados por el sistema, permitiendo su análisis aun cuando el sistema se encuentre fuera de línea. Esta funcionalidad contribuye a una mejor interpretación de los datos y apoya la toma de decisiones del usuario, con impacto directo en la optimización de los procesos productivos. La Figura 52 presenta el dashboard final implementado en Grafana.



Figura 52. Diseño de dashboard en Grafana

### VI-C. Construcción e implementación del prototipo

En esta sección se describe el proceso de construcción e implementación del prototipo IoT desarrollado para el monitoreo de parámetros en la piscina camaronera. Se detallan materiales adquiridos, el ensamblaje del sistema y su instalación en campo para la validación operativa del proyecto.

*VI-C1. Adquisición y selección de materiales:* Para el ensamblaje del prototipo IoT se adquirieron materiales complementarios orientados a garantizar protección ambiental, estabilidad y fijación mecánica adecuada. La selección se realizó considerando las condiciones de operación propias de una piscina camaronera, caracterizadas por alta humedad, exposición solar y salinidad.

Se empleó una caja plástica con grado de protección adecuado para resguardar los componentes electrónicos en la Tabla VIII se presenta el listado. Asimismo, se utilizaron prensaestopas para garantizar el sellado hermético en puntos de entradas de alimentación y salida de sensores, evitando filtraciones de agua y humedad hacia el interior del sistema. Los separadores y pernos métricos de 3 mm fueron utilizados para la fijación interna de la placa electrónica.

Tabla VIII  
LISTA DE MATERIALES COMPLEMENTARIOS Y ACCESORIOS PARA PROTOTIPO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Separador hexagonal 10 mm M3	12
2	Separador hexagonal 6 mm M3	8
3	Tornillo M3X6MM	14
4	Tuerca M3	6
5	Prensaestopa PG-16	3
6	Base diseñada en acrilico blanco	1
7	Adaptador USB-Tipo C	1
8	Pasamuro puerto USB IP67 con tapa	1
9	Caja plastica pvc 17x10x6	1

*VI-C2. Ensamblaje del sistema electrónico:* El proceso de ensamblaje inició con la fijación de la base plástica de acrílico mediante separadores hexagonales. Posteriormente, se procedió al montaje de la placa PCB y de los distintos módulos electrónicos utilizando el mismo sistema de sujeción, garantizando así el aislamiento eléctrico y una adecuada disipación térmica. A continuación, se organizó el cableado interno, procurando evitar interferencias, desorden y posibles puntos de falla ocasionados por vibraciones.

Como se observa en la Figura 53, el prototipo se encuentra completamente ensamblado junto con la placa PCB previamente diseñada. Una vez finalizado el proceso de montaje, se procederá a la etapa de toma de datos en campo para la validación del sistema en condiciones reales de operación.



Figura 53. Ensamblaje de módulos y placa pcv de prototipo

Finalmente, las entradas correspondientes a los sensores y a la alimentación fueron aseguradas mediante prensaestopas y pasamuro puerto USB como se observa en la Figura 54, lo que permitió un sellado hermético y una mayor protección frente a la humedad propia del entorno acuícola.

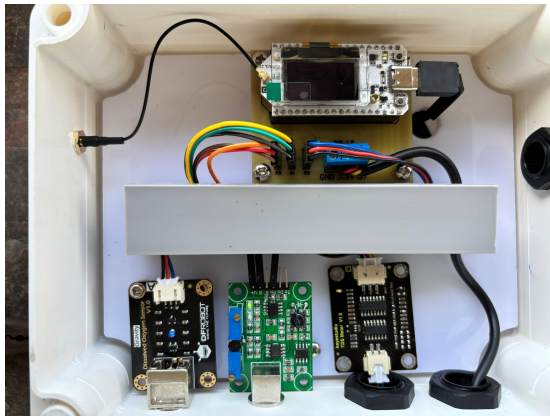


Figura 54. Ensamblaje electrónico completado

*VI-C3. Construcción y fabricación de base flotadora del prototipo:* Se diseñó una estructura flotante tipo balsa utilizando tubos de aluminio de 2 cm de diámetro, seleccionados por su bajo peso, resistencia mecánica y tolerancia a ambientes húmedos. La estructura permite sostener el módulo electrónico en la parte superior, mientras que los sensores se introducen verticalmente en el agua. Se tomó la decisión de diseñar una base flotante para el sistema con el fin de facilitar su reubicación en distintos cultivos de camarón. Como se observa en la Figura 55, la estructura fue fabricada mediante soldadura por electrodo y se acoplaron un total de seis flotadores o boyas de PVC, garantizando estabilidad y flotabilidad adecuadas para su operación en campo.



Figura 55. Fabricación de base flotadora de prototipo

*VI-C4. Validación del sistema instalado en campo:* Durante esta etapa se realizaron pruebas con el objetivo de verificar el alcance de la comunicación LoRaWAN bajo las condiciones reales de instalación del gateway. Considerando que la granja acuícola cuenta con una extensión aproximada de 4 hectáreas (40 000 m<sup>2</sup>), la distancia máxima entre la estación donde se ubicó el gateway y el extremo final de la granja es de aproximadamente 300 m.

Con el fin de evaluar el desempeño del sistema en escenarios más exigentes y garantizar una cobertura adecuada, se decidió realizar pruebas a distancias superiores a las requeridas por el área de estudio. En consecuencia, se efectuaron mediciones de comunicación a una distancia aproximada de 500 m, cuyos resultados se presentan a continuación.

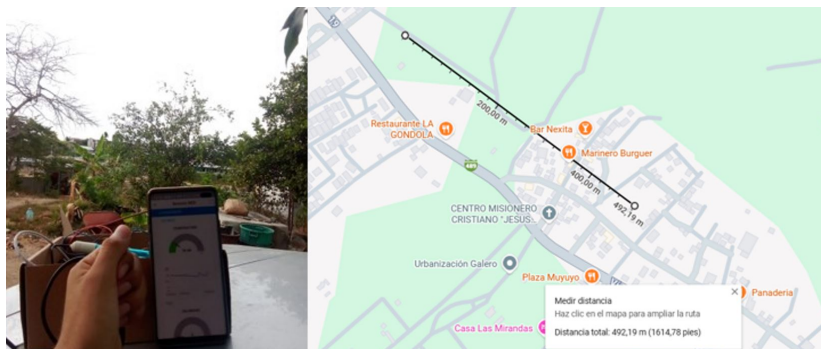


Figura 56. Pruebas de comunicación a 500 metros, Juela y Sanchez

Posteriormente se realizaron pruebas con el prototipo base previamente instalado en la granja acuícola, ubicado a una distancia aproximada de 250 m del gateway. Los ensayos se desarrollaron en condiciones reales de operación y permitieron verificar el correcto funcionamiento del nodo de monitoreo.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que el prototipo logró transmitir de manera continua y confiable los datos de los sensores hacia el gateway, confirmando la estabilidad de la comunicación y la adecuada integración de los componentes del sistema.



Figura 57. Pruebas de comunicación a 250 metros, Juela y Sanchez

Por último, en la Figura 58 se observa la verificación del sistema de alarmas, el cual fue configurado con los cuatro parámetros de calidad del agua, mediante el envío de notificaciones desde Node-RED hasta el correo electrónico del usuario.

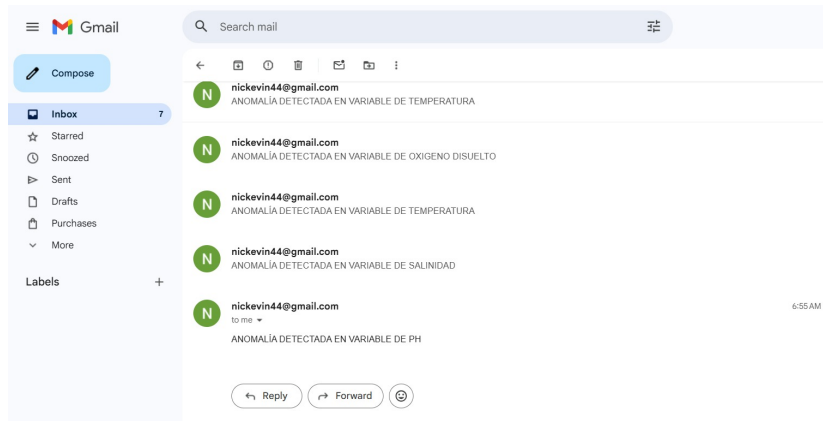


Figura 58. Comprobación del envío de alarmas a usuario, por N. Juela y A. Sanchez

## VII. RESULTADOS

En la presente sección se analizan los resultados obtenidos durante la fase experimental del sistema implementado en la piscina camaronera. La evaluación se realizó mediante la adquisición y el monitoreo continuo de los parámetros establecidos en el estudio, con el objetivo de verificar el desempeño, la estabilidad y la confiabilidad del sistema desarrollado.

La toma de datos se efectuó durante dos días, Lunes y martes, con un período de monitoreo de 4 horas por jornada, acumulando un total de 8 horas de evaluación. Durante este tiempo se registraron los valores transmitidos por los sensores instalados, lo que permitió analizar el comportamiento de las variables en condiciones reales de operación.

Es importante mencionar que se buscó obtener datos en la mañana, tarde y noche, con el fin de comprobar la variación de los parámetros según la temperatura y las condiciones climáticas. Los resultados se presentan a continuación mediante gráficos y capturas del dashboard de monitoreo, los cuales permiten visualizar la variación temporal de los parámetros medidos.

A continuación, en la Figura 59 se presenta el resultado del prototipo IoT final instalado en campo, en la granja acuícola de cultivo de camarón ubicada en el kilómetro 10.5 vía a Data.



Figura 59. Prototipo IOT instalado en campo, por A. Sanchez y N. Juela

### VII-A. Analisis segun lecturas de sensado

En esta fase se analiza las lecturas de sensado según los diferentes parametros evaluados en campo y que efectos tienen en el cultivo y como el operador debería actuar. Se analiza por lecturas individuales de los sensores de pH, salinidad, temperatura y oxigeno disuelto. Gracias a la herramienta InfluxDB es posible exportar los datos

almacenados a un formato CSV en excel como se observa en la Figura 60.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Id	Id	Time	Valor	Tipo	Sensor					
1											
2	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 09:50	27.87	value	DS18B20					
3	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:00	27.87	value	DS18B20					
4	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:10	27.94	value	DS18B20					
5	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:20	27.94	value	DS18B20					
6	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:30	27.94	value	DS18B20					
7	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:40	28	value	DS18B20					
8	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:50	27.94	value	DS18B20					
9	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:00	28	value	DS18B20					
10	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:10	28	value	DS18B20					
11	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:20	28.06	value	DS18B20					
12	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:30	28	value	DS18B20					
13	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:40	28.06	value	DS18B20					
14	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 11:50	28.06	value	DS18B20					
15	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:00	28.12	value	DS18B20					
16	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:10	28.06	value	DS18B20					
17	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:20	28.06	value	DS18B20					
18	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:30	28.06	value	DS18B20					
19	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:40	28.06	value	DS18B20					
20	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 12:50	28	value	DS18B20					
21	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:00	28.06	value	DS18B20					
22	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:10	28.06	value	DS18B20					
23	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:20	28.06	value	DS18B20					
24	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:30	28.06	value	DS18B20					
25	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:40	28.06	value	DS18B20					
26	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 13:50	28.12	value	DS18B20					
27	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 09:50	9.18	value	PH-4502C					
28	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:00	9.13	value	PH-4502C					
29	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:10	9.12	value	PH-4502C					
30	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:20	9.16	value	PH-4502C					
31	2026-02-16T04:08:15.0882144Z	2026-02-18T04:08:15.0882144Z	16/2/2026 10:30	9.15	value	PH-4502C					

Figura 60. Base de datos, por A. Sanchez y N. Juela

**VII-A1. Comportamiento del pH:** En la Figura 61 se presenta la variación del pH registrada durante la jornada del día Lunes. Se observa que el comportamiento del parámetro presentó fluctuaciones leves y progresivas a lo largo del periodo de monitoreo. Además, la herramienta influxdb otorga el valor promedio de las lecturas recopiladas con un valor aprox de 9 de pH.



Figura 61. Resultados de medición de PH, por A. Sanchez y N. Juela

Las variaciones registradas corresponden a cambios normales dentro del ecosistema acuícola, asociados a procesos biológicos como la fotosíntesis y respiración del fitoplancton, así como a las condiciones ambientales externas. No se evidenciaron caídas abruptas ni interrupciones en la lectura, lo cual demuestra la estabilidad del sistema de medición y transmisión.

**VII-A2. Comportamiento de la temperatura:** En la Figura 62 se muestra la evolución de la temperatura del agua durante las 4 horas de monitoreo. Se evidencia una tendencia gradual, influenciada por las condiciones climáticas del entorno, dando como resultado un valor promediado de 28,12 de temperatura.

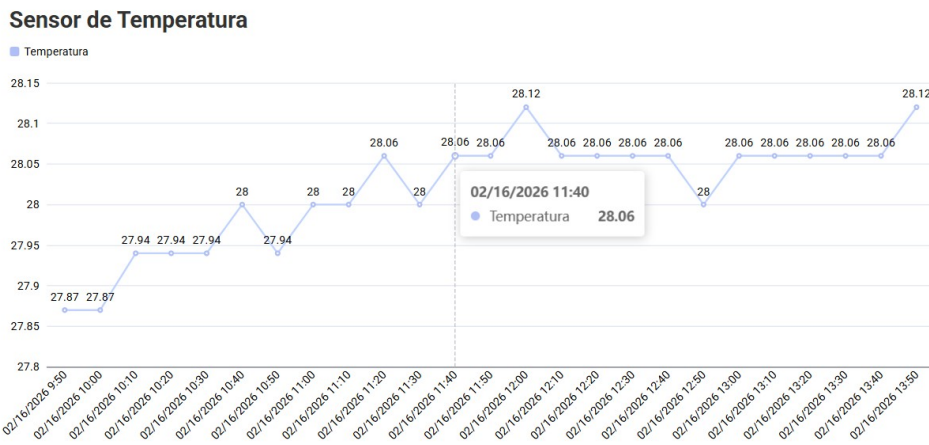


Figura 62. Resultados de medición de temperatura, por A. Sanchez y N. Juela

La variación observada fue continua y coherente con el comportamiento esperado en estanques camaroneros expuestos a condiciones ambientales naturales. El sistema permitió registrar los cambios térmicos en tiempo real sin pérdidas de datos.

VII-A3. *Comportamiento del oxígeno disuelto:* La Figura 63 presenta los valores de oxígeno disuelto obtenidos durante el día Lunes. Se identifican valores de baja oxigenación dentro del estanque desde 4 mg/L hasta 2 mg/L lo que significa un valor bajo y peligroso para la supervivencia del camarón, esto afectando a la tasa de mortalidad y a su etapa de engorde.



Figura 63. Resultados de medición de oxígeno disuelto, por A. Sanchez y N. Juela

El comportamiento registrado demuestra la importancia del monitoreo continuo, ya que estas variaciones pueden impactar directamente en el bienestar del camarón. El sistema mostró estabilidad en la adquisición y transmisión de datos, sin interrupciones durante el periodo evaluado.

VII-A4. *Comportamiento de la salinidad:* En la Figura 64 se observa el comportamiento de la salinidad durante la jornada del lunes. Los valores registrados se mantuvieron relativamente estables, con un valor de 1000 ppm. Sin embargo es importante aclarar que llego a su limite de medición y que el agua contenga mas salinidad para brindar al cultivo.

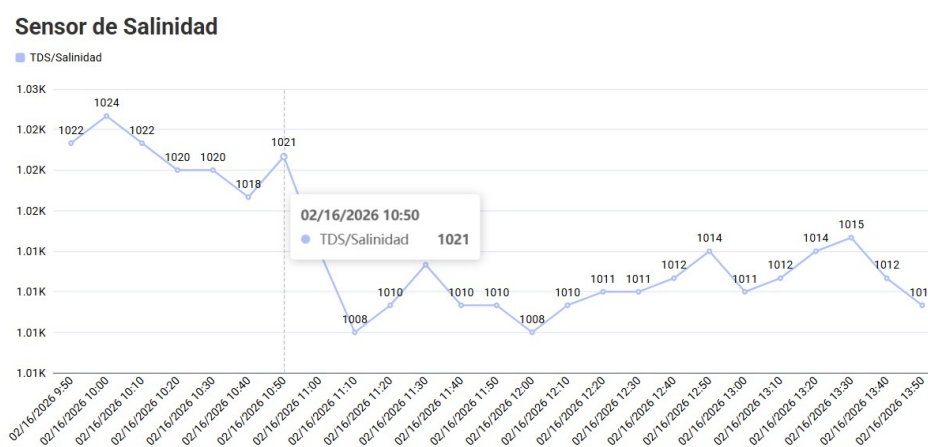


Figura 64. Resultados de medición en la salinidad, por A. Sanchez y N. Juela

La estabilidad del parámetro confirma la precisión del sensor y la adecuada integración del sistema IoT implementado.

#### VII-B. Comparación de los diferentes horarios de lecturas sensadas

Como se mencionó previamente, las lecturas fueron realizadas durante dos jornadas: el lunes en horario nocturno y el martes en horas de la tarde.

Como parte del proceso de validación de los datos obtenidos, es importante señalar que los sensores empleados en acuicultura presentan un costo elevado, lo que limitó la posibilidad de contrastar experimentalmente los cuatro parámetros monitoreados. En consecuencia, la validación externa únicamente pudo efectuarse para el parámetro de pH, utilizando papeles indicadores como método de referencia.

En la Figura 65 se presenta el procedimiento de verificación del pH. La tira indicadora expuesta al agua de la camaronera se muestra en el lado izquierdo, mientras que en el lado derecho se observa una tira de referencia correspondiente a un pH neutro (valor 7).

De acuerdo con la comparación realizada, el color obtenido en la tira expuesta sugiere que el valor de pH del agua se encuentra en un rango aproximado entre 8,5 y 9,0.

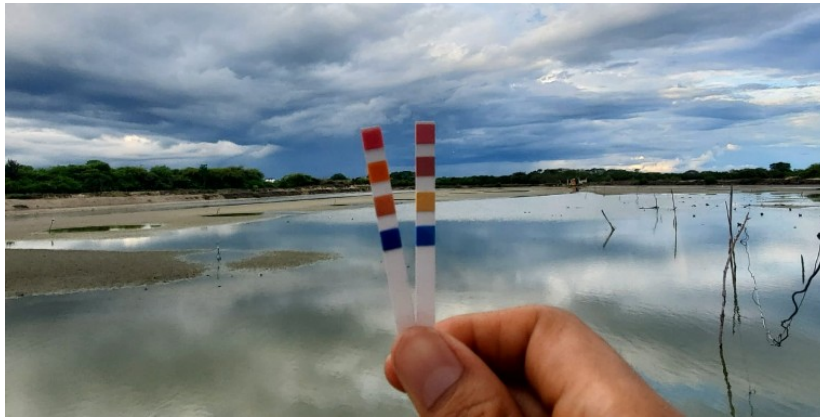


Figura 65. Indicador de PH, por A. Sanchez y N. Juela

A continuación, se presenta la Figura 66 con la recopilación de datos obtenidos en un único entorno de visualización, con el fin de facilitar su revisión y análisis. Las mediciones corresponden al intervalo comprendido entre las 21:30 y las 01:50, período durante el cual se monitorearon los diferentes parámetros de calidad del agua.

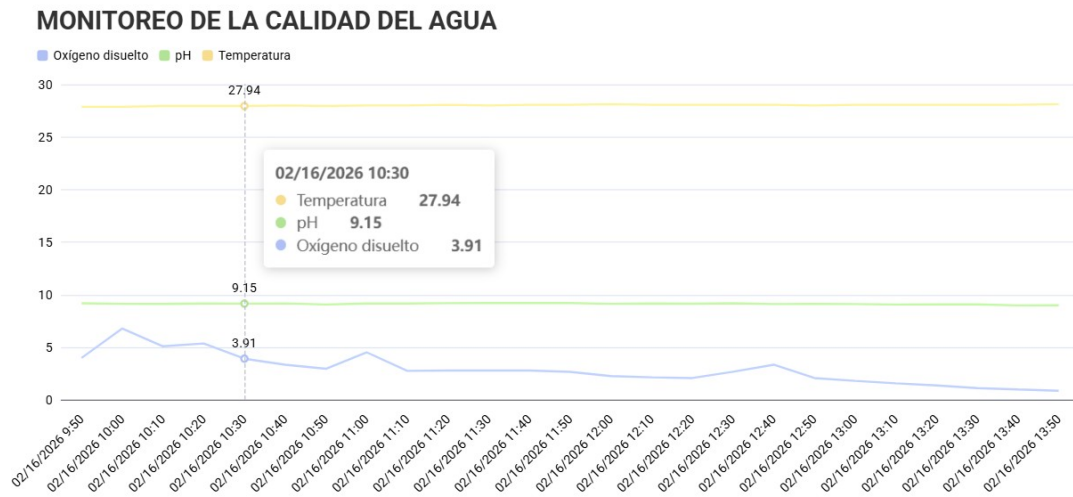


Figura 66. Recopilación de datos en la noche, por A. Sanchez y N. Juela

Posteriormente, los resultados capturados en campo durante el día siguiente se obtuvieron bajo condiciones climáticas calurosas y soleadas. En esta jornada, las mediciones se realizaron desde las 15:00 hasta las 19:00, evidenciándose picos en la variable de oxígeno disuelto, así como un incremento considerable en la temperatura del agua.

Como se observa en la siguiente Figura 67, el entorno de Node-RED recopiló y visualizó los datos correspondientes a esta evaluación, destacando condiciones poco favorables para el adecuado desarrollo del cultivo.

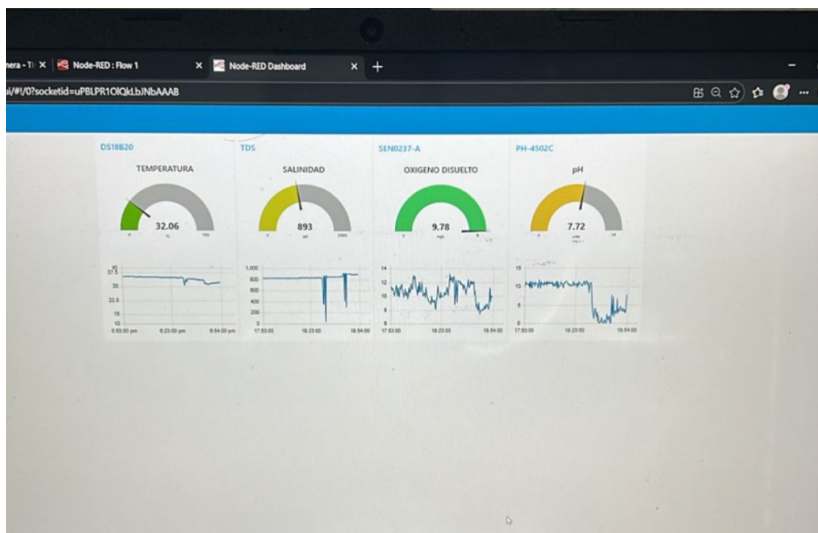


Figura 67. Recopilación de datos en la tarde, por A. Sanchez y N. Juela

Los resultados obtenidos muestran que la temperatura del agua disminuyó progresivamente conforme avanzó la tarde, pasando de 37 °C a 32 °C. En cuanto a la salinidad, se registró un valor de 893 ppm. El oxígeno disuelto alcanzó un valor de 9,78 mg/L, presentando picos asociados tanto a la manipulación del prototipo durante el trabajo en campo como a la alta actividad biológica presente en la piscina camaronera. Estos incrementos en el oxígeno disuelto reflejan la intensa actividad fotosintética y la elevada concentración de organismos acuáticos en el sistema.

Respecto al pH, durante la tarde se observó una variación entre 9 y 10. Posteriormente, en horario nocturno, se trasladó el prototipo hacia otro extremo de la granja para continuar con la evaluación. En este nuevo punto de muestreo, los parámetros se mantuvieron relativamente estables, con excepción del pH, que descendió hasta un valor aproximado de 7. Es importante señalar que la primera medición se realizó en una zona poco profunda, mientras que la segunda se efectuó en un sector de mayor profundidad, lo cual puede influir en las variaciones registradas.

En conjunto, estos resultados evidencian una alta presencia de vida acuática, incluyendo fitoplancton y microalgas, cuya actividad se intensifica durante las horas de mayor radiación solar, incrementando los niveles de oxígeno disuelto. Sin embargo, durante la noche, al cesar el proceso de fotosíntesis, se producen descensos en la concentración de oxígeno, fenómeno que también fue observado en los datos nocturnos recopilados. Estas fluctuaciones pueden afectar directamente la calidad del agua y, en consecuencia, el rendimiento y desarrollo del camarón en cultivo.

VII-C. Registro de cosechas y cultivos

Durante los meses en los que se realizó el seguimiento para evaluar la baja producción y la alta tasa de mortalidad, se llevó un control detallado de los costos de producción, como se evidencia en la Tabla IX. Estos valores fueron recopilados durante el período comprendido entre julio y octubre.

Tabla IX  
DETALLE DE COSTOS DE PRODUCCIÓN JULIO-OCTUBRE

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Total	%
Siembra	Animales	400000	\$600,00	\$600,00	31 %
Sacos Balanceado	Und	29	\$20,70	\$600,30	31 %
Balanceado C_O	Und	15	\$22,00	\$330,00	17 %
Viaje de C_O	Und	1	\$50,00	\$50,00	3 %
Diesel Poma pequeña	Und	6	\$10,00	\$60,00	3 %
Diesel Poma pequeña	Und	1	\$17,00	\$17,00	1 %
Diesel Poma Grande	Und	6	\$15,00	\$90,00	5 %
Mantenimiento	GBL	1	\$60,00	\$60,00	3 %
Melaza	Und	2	\$12,00	\$24,00	1 %
Cal	Und	33	\$3,00	\$99,00	5 %
Gasolina Bote	Und	1	\$10,00	\$10,00	1 %
<b>TOTAL</b>				<b>\$1.940,30</b>	<b>100 %</b>

A continuación, se presenta la Tabla X que resume los resultados obtenidos el día de la cosecha, incluyendo el número total de gavetas recolectadas, lo que marca el fin del ciclo de producción correspondiente al período julio–octubre. Estos datos evidencian una baja inversión en los sistemas de aireación y en la alimentación balanceada, factores que pudieron influir en los resultados finales de producción. Es importante mencionar que la talla del camarón que se cosecho es de 11 gramos.

Tabla X  
RESUMEN DE LA COSECHA CORRESPONDIENTE AL PERÍODO JULIO–OCTUBRE

Mes de producción	Gavetas	lb por Gaveta	Precio C/lb	Precio/Gaveta
Pesca julio–octubre	53	50	\$1,00	\$50,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$2.650,00</b>

Mediante la aplicación de una regla de tres simple, se realizó la relación entre el costo total de producción y los ingresos obtenidos en la cosecha. A partir de este análisis, se determinó una rentabilidad aproximada del 27 %, lo que evidencia que el proyecto genera una ganancia favorable respecto a la inversión inicial.

Posteriormente, se presenta la Tabla XI correspondiente a los costos de producción del cultivo, comprendidos desde el mes de noviembre hasta enero, período en el cual se realiza la cosecha.

Tabla XI  
DETALLE ACTUALIZADO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Total	%
Siembra	Animales	400000	\$600,00	\$600,00	31 %
Sacos Balanceado	Und	30	\$20,70	\$621,00	32 %
Balanceado	Und	17	\$22,00	\$374,00	19 %
Logística de balanceado	Und	1	\$50,00	\$50,00	3 %
Diesel Poma pequeña	Und	5	\$10,00	\$50,00	3 %
Diesel Poma pequeña	Und	1	\$17,00	\$17,00	1 %
Diesel Poma Grande	Und	6	\$15,00	\$90,00	5 %
Mantenimiento	GBL	1	\$60,00	\$60,00	3 %
Melaza	Und	2	\$12,00	\$24,00	1 %
Cal	Und	16	\$3,00	\$48,00	2 %
Gasolina Bote	N/A	1	\$10,00	\$10,00	1 %
<b>TOTAL</b>				<b>\$1,944,00</b>	<b>100 %</b>

Por último, se presenta la tabla que resume los resultados obtenidos el día de la cosecha correspondiente al período de cultivo comprendido entre noviembre y enero. Para una misma talla promedio de 11 gramos, el precio del camarón en el mes de noviembre descendió a 0,98 USD por unidad, lo que afectó directamente la rentabilidad del cultivo. Asimismo, la producción no logró superar la obtenida en el período anterior, manteniéndose una tasa de mortalidad elevada, cercana al 39 %.

Tabla XII  
RESUMEN DE LA COSECHA CORRESPONDIENTE AL PERÍODO NOVIEMBRE–DICIEMBRE

Mes de producción	Gavetas	lb por Gaveta	Precio C/lb	Precio/Gaveta
Pesca noviembre–diciembre	50	50	\$0,98	\$49,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$2.450,00</b>

A partir del análisis de las tablas presentadas, se puede concluir que en la piscina camaronera de 4 hectáreas no se alcanzó la producción esperada, registrándose una tasa de mortalidad elevada, cercana al 40 %. Los resultados obtenidos del monitoreo de los parámetros de calidad del agua permitieron generar conciencia sobre las condiciones reales del cultivo y confirmaron que, en ese sector, la calidad del agua no es la más adecuada para el correcto crecimiento del camarón.

De acuerdo con los datos recopilados, las variaciones en los parámetros fisicoquímicos provocan estrés en el organismo, especialmente en etapas tempranas de postlarva correspondientes a la nueva producción. Se identificaron factores como poca profundidad del agua y limitada inversión en sistemas de aireación. Durante el monitoreo realizado en la madrugada, se evidenció una caída significativa del oxígeno disuelto: de aproximadamente 9 mg/L en horas de la tarde a valores cercanos a 2 mg/L en la noche, lo que refleja condiciones desfavorables para la supervivencia del camarón. Esta situación impacta directamente en su crecimiento y reduce la tasa de supervivencia, lo cual también fue corroborado mediante los muestreos realizados por el operador o acuicultor.

Adicionalmente, el día del monitoreo se decidió incorporar agua al estanque con el fin de incrementar la profundidad en el menor tiempo posible y reducir el estrés del camarón en esta etapa temprana. Se observó

que los organismos se encontraban en etapa de muda, fase en la que, como se mencionó en el marco teórico, el camarón es más susceptible a enfermedades y diferentes patologías.

En cuanto al desempeño del prototipo IoT instalado por los autores Alejandro Sanchez y Nick Juela como se observa en la Figura 68, presentó una correcta comunicación mediante la tecnología LoRaWAN, adecuada medición de los parámetros, funcionamiento apropiado del sistema de alarmas y análisis eficiente de los datos recopilados, dando cierre satisfactorio a esta sección.

Finalmente, el monitoreo continuo permite llevar un control técnico que facilita la toma de decisiones para los próximos ciclos productivos del año 2026. Entre los principales puntos a considerar se destaca la necesidad de incrementar la inversión en sistemas de aireación para mejorar las condiciones del cultivo.



Figura 68. Instalación y evaluación de prototipo, por A. Sanchez y N. Juela

## VIII. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo en la tabla XIII.

Tabla XIII  
CRONOGRAMA

TAREA	Cronograma	ASIGNADO A	ESTATUS	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
				S01	S02	S03	S04	S01	S02	S03	S04	S01	S02	S03	S04	S01	S02
Definición de diagrama de flujo del proyecto		Juella-Sanchez	Terminado														
Cotización de sensores y material de trabajo		Juella-Sanchez	Terminado														
Investigación preliminar de IOT, Node-RED, LoRaWAN		Juella-Sanchez	No iniciado														
Adquisición de sensores y gateway		Juella-Sanchez	No iniciado														
Diseño y modelado		Juella-Sanchez	No iniciado														
Programar y configurar sensores con gateway, IOT y Node-RED		Juella-Sanchez	No iniciado														
Calibración y parametrización de sensores		Juella-Sanchez	No iniciado														
Desarrollo un panel de dashboards		Juella-Sanchez	No iniciado														
Generación de alertas ante las anomalías del agua		Juella-Sanchez	No iniciado														
Construcción del diseño modelado		Juella-Sanchez	No iniciado														
Pruebas simuladas		Juella-Sanchez	No iniciado														
Pruebas de campo		Juella-Sanchez	No iniciado														
Análisis de datos		Juella-Sanchez	No iniciado														

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA SUPERVISIÓN CONTINUA DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN CULTIVOS DE CAMARÓN UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORAWAN

Integrantes: Alejandro Isaac Sánchez Tenesaca, Nick Kevin Juella Bohórquez  
 Objetivo: implementar una plataforma IoT basada en tecnología LoRaWAN para la supervisión continua de los parámetros de calidad del agua como pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura en cultivos de camarón.

## IX. PRESUPUESTO

Nombre del elemento	Descripción	Cantidad	Valor total
Modulo regulador de voltaje	Alimentación para los sensores	1	8,65\$
Panel solar 10 W 12 V	Panel para cargas de batería de 12V	1	27 \$
Controlador de carga solar 10A	Protección de batería y dispositivos	2	28 \$
Batería	Batería de 12v 9Ah	2	62 \$
Sensor de oxígeno	Sensor galvánico DO (DFRobot)	1	50\$
Sensor de salinidad	TDS KS0429	1	30 \$
Sensor de Ph	Sensor analógico 4502C	1	50 \$
Sensor de oxígeno disuelto	Analógico DF Robot	1	180 \$
Sensor de temperatura	DS18B20	1	5 \$
Modulo GPS	GPS Ublox 7M	1	30 \$
RAK Wisgate Edge lite 2	Gateway	1	139 \$
HELTEC ESP32 LORA V3	Controlador	1	30 \$
<b>SUBTOTAL MAQUETA</b>			<b>639,65\$</b>
Mano de obra	corte láser piezas de acero inoxidable	1	70\$
<b>SUBTOTAL COSTOS ADICIONALES</b>			<b>70\$</b>
<b>TOTAL(MAQUETA + COSTOS ADICIONALES)</b>			<b>709,65\$</b>

## X. CONCLUSIONES

Se logró implementar una plataforma IoT basada en tecnología LoRaWAN para el monitoreo y supervisión continua de la calidad del agua en una granja de cultivo de camarón, midiendo parámetros fundamentales como pH, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura. El sistema permitió la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de datos en tiempo real, garantizando un seguimiento constante de las condiciones del estanque.

Los datos recopilados evidenciaron que, si bien el camarón logra sobrevivir bajo las condiciones registradas, estas no son óptimas para su adecuado crecimiento y desarrollo. Como consecuencia, se observaron tasas de crecimiento lentas, elevada mortalidad y baja supervivencia, aspectos que coinciden con los resultados obtenidos en los muestreos realizados por el acuicultor. Esta situación se ve reflejada en la disminución de la producción durante las cosechas comprendidas entre julio de 2025 y enero de 2026.

Asimismo, los datos recopilados y visualizados mediante Node-RED fueron almacenados en la base de datos InfluxDB, lo que permite su análisis histórico y comparativo durante los distintos días de operación del sistema IoT. Posteriormente, la información fue presentada en dashboards diseñados en Grafana, facilitando una visualización más personalizada, clara e intuitiva, y ampliando el alcance tecnológico del proyecto.

Gracias a la arquitectura de cuatro capas implementada en el sistema IoT, el acuicultor dispone de herramientas que le permiten tomar decisiones oportunas. El sistema de alarmas incorporado, con notificaciones enviadas por correo electrónico, contribuye a una respuesta temprana ante variaciones críticas en los parámetros de calidad del agua.

En conclusión, el monitoreo continuo permitió comprobar que la calidad del agua ha presentado un deterioro progresivo a lo largo de los años, afectando directamente la producción camaronera. Este análisis técnico respalda la necesidad de invertir en mejoras como el incremento de los sistemas de aireación y la optimización de la calidad del alimento, con el fin de mejorar las condiciones del cultivo y aumentar la rentabilidad en futuros ciclos productivos.

## XI. RECOMENDACIONES

Es fundamental realizar una correcta calibración de los sensores, especialmente del sensor de oxígeno disuelto (DO) de la marca DFRobot. Este sensor permite dos métodos de calibración: uno para temperatura estable y otro de dos puntos cuando existen variaciones térmicas. Debido a las condiciones reales de aplicación del proyecto, donde la temperatura del agua presenta fluctuaciones significativas, se optó por realizar una calibración de dos puntos para garantizar mayor precisión en las mediciones. De igual manera, el sensor de pH fue calibrado utilizando soluciones buffer certificadas, asegurando así la confiabilidad de los datos obtenidos.

Se recomienda emplear exclusivamente la solución de hidróxido de sodio especificada por el proveedor DFRobot para el mantenimiento y acondicionamiento del sensor de oxígeno disuelto. El uso de soluciones distintas o mezclas no certificadas puede deteriorar la membrana y el electrodo del sensor, afectando directamente la exactitud y estabilidad de las mediciones.

Asimismo, es importante definir adecuadamente la arquitectura del sistema IoT según las necesidades del proyecto. En este caso, se implementó una arquitectura de cuatro capas (dispositivo, red, procesamiento y aplicación), debido a la necesidad de almacenar los datos en una base de datos para su posterior análisis, visualización y apoyo en la toma de decisiones técnicas.

Se recomienda también incrementar la inversión en sistemas de aireación dentro de la piscina camaronera, considerando las caídas críticas de oxígeno disuelto registradas durante la noche. Un sistema de aireación más robusto contribuiría a estabilizar los niveles de oxígeno y mejorar las condiciones de supervivencia y crecimiento del camarón.

Finalmente, se sugiere mantener un monitoreo continuo y realizar análisis comparativos periódicos entre ciclos de cultivo. Esto permitirá evaluar tendencias, anticipar posibles problemas en la calidad del agua y optimizar las estrategias de manejo productivo en futuros periodos de cosecha.

## REFERENCIAS

- [1] M. D. Flores-Iwasaki, G. A. Guadalupe, M. Pachas-Caycho, S. Chapa-Gonza, R. C. Mori-Zabarburú y J. C. Guerrero-Abad, «Internet of Things (IoT) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A systematic review and bibliometric analysis,» *Sensors*, vol. 7, n.º 3, pág. 78, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078> dirección: <https://www.mdpi.com/2624-7402/7/3/78>
- [2] I. Martínez, A. Gomes, Monroy, E. García y H. Pinheiro, «Implementation and Evaluation of Open-Source Hardware to Monitor Water Quality in Precision Aquaculture,» *Sensors*, vol. 20, n.º 21, pág. 6112, 2020. DOI: [10.3390/sensors20216112](https://doi.org/10.3390/sensors20216112) dirección: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6112>
- [3] S. Kajornkasirat, J. Ruangsri, C. Sumat y P. Intaramontri, «Análisis en línea para la gestión de granjas camaroneras para controlar los parámetros de calidad del agua y el rendimiento del crecimiento,» *Sustainability*, vol. 13, n.º 11, pág. 5839, 2021. DOI: [10.3390/su13115839](https://doi.org/10.3390/su13115839) dirección: <https://doi.org/10.3390/su13115839>
- [4] M. M. Rahman, K. Kawai y M. S. Hossain, «White Spot Syndrome Virus (WSSV) in shrimp aquaculture: A review,» *Aquaculture and Fisheries*, vol. 6, n.º 4, págs. 371-380, 2021. DOI: [10.1016/j.aaf.2020.12.001](https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.12.001) dirección: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/white-spot-syndrome-virus>
- [5] Veterinaria Digital S.A., *Shrimp farming in Mexico*, Recuperado de Veterinaria Digital, 2023. dirección: <https://www.veterinariadigital.com/en/articulos/shrimp-farming-in-mexico>
- [6] K. Linares. «Perú – Disminuye en más de 60 % la extracción del camarón por contaminación en el río Majes.» *Diario Viral*. [En línea]. Accedido: 9-jun-2025. dirección: <https://diarioviral.pe/provincias/disminuye-en-mas-de-60-la-extraccion-del-camaron-por-contaminacion-en-el-rio-majes-24884>
- [7] E. Rebolledo Monsalve y L. Verduga Vergara, «Water and Sediment Quality Changes in Mangrove Systems with Shrimp Farms in the Northern Ecuadorean Coast,» *Applied Sciences*, vol. 13, n.º 13, pág. 7749, 2023. DOI: [10.3390/app13137749](https://doi.org/10.3390/app13137749) dirección: <https://doi.org/10.3390/app13137749>
- [8] C. Molinari. «Colombia cuts Ecuadorian shrimp imports due to white spot virus scare.» Consultado: 9-jun-2025. dirección: <https://www.seafoodsource.com/news/food-safety-health/colombia-cuts-ecuadorian-shrimp-imports-due-to-white-spot-virus-scare>
- [9] M. C. Van Hulst, J. M. Vlak et al., «Viral Shrimp Diseases Listed by the OIE: A Review,» *Viruses*, vol. 14, n.º 3, Article 585, 2021. DOI: [10.3390/v14030585](https://doi.org/10.3390/v14030585) dirección: <https://doi.org/10.3390/v14030585>
- [10] P. J. Espinoza Cruz, Y. M. Lucas Aguirre, B. Ramos Mosquera y J. A. Alarcón Salvatierra, «Impacto del internet de las cosas en el control y monitoreo de los parámetros del agua para la producción de camarón en Ecuador,» *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 6, n.º 43, págs. 83-92, 2022. DOI: [10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp83-92](https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp83-92) dirección: <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss43.2022pp83-92>
- [11] BBC News Mundo, *Cómo Ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó China)*, Artículo web, 2023. dirección: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65247655>
- [12] D. Ramírez, P. González y A. Vera, «IoT-based water quality monitoring system for aquaculture,» *Aquaculture Engineering*, vol. 95, págs. 102-196, 2021. visitado 9 de jun. de 2025. dirección: [https://www.researchgate.net/publication/353065907\\_An\\_overview\\_of\\_water\\_quality\\_monitoring\\_in\\_IoT\\_based\\_aquaculture](https://www.researchgate.net/publication/353065907_An_overview_of_water_quality_monitoring_in_IoT_based_aquaculture)

- [13] SensorVital, *Acuicultura simplificada: el poder del monitoreo automatizado para una producción sostenible*, Artículo web, 2025. dirección: <https://sensorvital.com/acuicultura-simplificada-el-poder-del-monitoreo-automatizado-para-una-produccion-sostenible/>
- [14] K. Medrano, E. Hernández, R. Tejada y Moreno, «Tecnologías IoT para el monitoreo de la calidad del agua en la acuicultura [IoT technologies for water quality monitoring in aquaculture],» *European Public & Social Innovation Review*, vol. 10, págs. 1-17, 2025. DOI: 10.31637/epsir-2025-929 dirección: <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/929>
- [15] E. G. Cuzco Silva y K. A. Tirado Rodríguez, «Implementación de un sistema para el monitoreo de parámetros ambientales en tiempo real, basado en IoT y LoRaWAN en una plataforma Cloud,» Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Chimborazo, 2025. dirección: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15704>
- [16] H. Rastegari et al., «Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends,» *Smart Agricultural Technology*, vol. 4, pág. 100-187, 2023. DOI: 10.1016/j.atech.2023.100187 dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375523000175>
- [17] A. Al Mamun Hridoy, C. Bordin, A. Masood y K. M. Khan, «Predictive modelling of aquaculture water quality using IoT and advanced machine learning algorithms,» *Computers and Electronics in Agriculture*, 2025. DOI: 10.1016/j.compag.2025.104500 dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211715625004394>
- [18] J. M. Pereira Pontón, V. Ojeda, V. Asanza, L. L. Lorente-Leyva y D. H. Peluffo-Ordóñez, «Design and Implementation of an IoT Control and Monitoring System for the Optimization of Shrimp Pools using LoRa Technology,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 14, n.º 8, 2023. DOI: 10.14569/IJACSA.2023.0140829 dirección: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140829>
- [19] P. D. P. Adi et al., «Analysis of IoT-LoRa to Improve LoRa Performance for Vaname Shrimp Farming Monitoring System,» *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 10, n.º 1, págs. 99-122, 2024. DOI: 10.26555/jiteki.v10i1.27598 dirección: <https://journal.uad.ac.id/index.php/JITEKI/article/view/27598>
- [20] H. Bates, M. Pierce y A. Benter, «Real-Time Environmental Monitoring for Aquaculture Using a LoRaWAN-Based IoT Sensor Network,» *Sensors*, vol. 21, n.º 23, pág. 7963, 2021. DOI: 10.3390/s21237963 dirección: <https://doi.org/10.3390/s21237963>
- [21] Discovery Chepe, *Camarón de mar, especies comerciales, hábitad y características*, Artículo web, 2024. dirección: <https://www.discoverychepe.com.mx/articulos/ecologia/camaron-de-mar-especies-habitad-caracteristicas>
- [22] FAO, *Aquaculture operations: Improved management for better production — Section on water quality and aquaculture systems*, Informe FAO, Serie de producción y protección de cultivos, 2005. dirección: <https://www.fao.org/4/ac866s/AC866S32.htm>
- [23] I. Gordon y J. Green, *Form and function of internal features in crustacean*, Última actualización: 18 de septiembre de 2025. Encyclopædia Britannica, 2025. dirección: <https://www.britannica.com/animal/crustacean/Annotated-classification>
- [24] P. C. Rothlisberg, «Aspects of penaeid biology and ecology of relevance to aquaculture: a review,» *Aquaculture*, vol. 164, n.º 1, págs. 49-65, 1998. DOI: 10.1016/S0044-8486(98)00176-8 dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848698001768>

- [25] Equipo de redacción, BIOenciclopedia, *Camarón: características, distribución, alimentación y reproducción*, Artículo web, 2023. dirección: <https://www.bioenciclopedia.com/camaron-501.html>
- [26] P. González y P. Noticias, *El camarón fue el primer producto de exportación de Ecuador, por encima del petróleo, en el primer semestre*, Artículo web, 2025. dirección: <https://www.primicias.ec/economia/camaron-petroleo-exportaciones-semester-ecuador-102852/>
- [27] P. Kubitz Fernando, «El impacto de la calidad del agua en la salud y el rendimiento de los peces y camarones de cultivo, Parte 1: oxígeno disuelto y dióxido de carbono,» *Global Seafood Alliance – Advocate*, 2025. dirección: <https://www.globalseafood.org/advocate/el-impacto-de-la-calidad-del-agua-en-la-salud-y-el-rendimiento-de-los-peces-y-camarones-de-cultivo-parte-1-oxigeno-disuelto-y-dioxido-de-carbono/>
- [28] S. D. Fortuna. «Effect of Water pH on Vannamei Shrimp Cultivation.» Artículo web, categoría Aquaculture, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://delosaqua.com/effect-of-water-ph-on-vannamei-shrimp-cultivation/>
- [29] M. Palma. «¿Por qué es importante controlar el pH en la cría de camarones?» Artículo web. Molinos Champion, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://molinoschampion.com/por-que-es-importante-controlar-el-ph-en-la-cria-de-camarones/>
- [30] R. M. Rivera Altamirano, «Efecto de la temperatura sobre la susceptibilidad del Camarón Blanco *Penaeus vannamei* a *Vibrio parahaemolyticus*,» Trabajo final para la obtención del título de Diseño Acuícola, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Acuicultura, nov. de 2018. visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/45476>
- [31] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *La acuicultura y las pesquerías basadas en el cultivo*, Parte del documento FAO “Aquaculture operations: improved management for better production”, 2004. dirección: <https://www.fao.org/4/y5751s/y5751s08.htm>
- [32] F. Mellemgaard. «La cría de camarones con tecnología: Gestión de la sobrepoblación y la infrapoblación.» Artículo web, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://es.sincereaqua.com/post/tech-savvy-shrimp-farming-managing-overstocking-and-understocking>
- [33] J. Reis y L. Massaut, «How automatic shrimp feeders impact water and soil quality of grow-out ponds in Ecuador,» *Global Seafood Alliance - Advocate*, 2022. visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://www.globalseafood.org/advocate/how-automatic-shrimp-feeders-impact-water-and-soil-quality-of-grow-out-ponds-in-ecuador/>
- [34] AQUAEXPO – Cámara Nacional de Acuicultura. «AQUA NEWS: Novedades del sector camaronero y noticias del evento.» Sección “AQUA NEWS” del sitio oficial de AQUAEXPO, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://www.aquaexpo.com.ec/aquanews/>
- [35] SEINMEX. «Cosechadora de camarón.» Artículo web. SEINMEX., visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://seinmex.com/cosechadora-de-camaron/>
- [36] BlueSensor Data. «Monitoreo de calidad del agua y alimentadores automáticos,» visitado 4 de feb. de 2026. dirección: <https://bluesensordata.com/>
- [37] AquaHoy. «Cómo la inteligencia artificial puede mejorar la acuicultura de camarones,» visitado 3 de feb. de 2026. dirección: <https://aquahoy.com/inteligencia-artificial-mejorar-acuicultura-camarones/>
- [38] Oracle México. «Internet of Things.» Consultado en el sitio web de Oracle México, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/>

- [39] E. Canle Fernández. «El Internet de las Cosas: su evolución en los últimos años.» Artículo web, visitado 7 de oct. de 2025. dirección: <https://www.tokioschool.com/noticias/internet-de-las-cosas-evolucion/>
- [40] J. A. Domínguez, «Sistema IoT LoRaWAN-ChirpStack-Grafana para Monitoreo Remoto de Pozos Petroleros: Estudio de Caso en Tabasco, México,» *Ciencia Latina – Revista Latinoamericana de Ciencia y Tecnología*, 2025, Acceso mediante Dialnet, artículo completo en PDF. dirección: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10405098>

ANEXO A  
PROGRAMACIÓN

Código principal para proyectos LoraWan

Listing 1. Código del sistema IoT para monitoreo de calidad de agua mediante LoRaWAN

```
1
2 #include <Arduino.h>
3 #include "LoRaWan_APP.h"
4 #include <OneWire.h>
5 #include <DallasTemperature.h>
6
7 /* ===== DS18B20 (Temperatura) ===== */
8 #define ONE_WIRE_BUS 7
9 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
10 DallasTemperature sensors(&oneWire);
11 float temperatura = 0;
12
13 /* ===== TDS (Salinidad) ===== */
14 #define TdsSensorPin 6
15 #define VREF 3.3
16 #define SCOUNT_TDS 30
17 int analogBufferTDS[SCOUNT_TDS];
18 float tdsValue = 0;
19
20 /* ===== pH (Calibrado con Offset) ===== */
21 #define PH_PIN 4
22 float voltaje_pH7 = 2.674;
23 float voltaje_pH4 = 2.924;
24 float slopePH = (7.0 - 4.0) / (voltaje_pH7 - voltaje_pH4);
25 float phOffset = -2.5;
26 float pHValue = 0;
27
28 /* ===== OD (Oxígeno - Calibración 2 Puntos) ===== */
29 #define DO_PIN 5
30 #define CAL1_V 1045.0
31 #define CAL1_T 35.6
32 #define CAL2_V 618.0
33 #define CAL2_T 18.1
34 float DO_Value = 0;
35
36 const uint16_t DO_Table[41] = {
37     14460, 14220, 13820, 13440, 13090, 12740, 12420, 12110, 11810, 11530,
38     11260, 11010, 10770, 10530, 10300, 10080, 9860, 9660, 9460, 9270,
39     9080, 8900, 8730, 8570, 8410, 8250, 8110, 7960, 7820, 7690,
40     7560, 7430, 7300, 7180, 7070, 6950, 6840, 6730, 6630, 6530, 6410
41 };
```

```

42
43 /* ===== LORAWAN (Credenciales OTAA) ===== */
44 uint8_t devEui[] = { 0x70,0xB3,0xD5,0x7E,0xD0,0x07,0x4C,0xC6 };
45 uint8_t appEui[] = { 0x22,0xE4,0x67,0x54,0x43,0xE3,0x33,0x22 };
46 uint8_t appKey[] = { 0x17,0x13,0x27,0xE1,0xCB,0xE8,0x1D,0xD2,0x1D,0x8B,0x20,0x08,0
      x27,0x47,0x58,0x54 };
47
48 uint32_t appTxDutyCycle = 15000;
49 bool overTheAirActivation = true;
50 bool isTxConfirmed = true;
51 uint8_t appPort = 2;
52
53 String DataLoraSend;
54
55 /* ===== FUNCIONES AUXILIARES ===== */
56 int getMedianNum(int bArray[], int len) {
57     int bTab[len];
58     for (int i = 0; i < len; i++) bTab[i] = bArray[i];
59     for (int j = 0; j < len - 1; j++) {
60         for (int i = 0; i < len - j - 1; i++) {
61             if (bTab[i] > bTab[i + 1]) {
62                 int temp = bTab[i];
63                 bTab[i] = bTab[i + 1];
64                 bTab[i + 1] = temp;
65             }
66         }
67     }
68     return (len & 1) ? bTab[len / 2] :
69     (bTab[len / 2] + bTab[len / 2 - 1]) / 2;
70 }
71
72 void setup() {
73     Serial.begin(115200);
74     sensors.begin();
75     analogReadResolution(12);
76
77     pinMode(TdsSensorPin, INPUT);
78     pinMode(PH_PIN, INPUT);
79     pinMode(DO_PIN, INPUT);
80 }
81
82 void loop() {
83
84     // 1. TEMPERATURA
85     sensors.requestTemperatures();
86     temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);

```

```

87
88 // 2. TDS
89 for (int i = 0; i < SCOUNT_TDS; i++) {
90     analogBufferTDS[i] = analogRead(TdsSensorPin);
91     delay(10);
92 }
93 float avgVoltTDS = getMedianNum(analogBufferTDS, SCOUNT_TDS) * 3.3 / 4095.0;
94 float compCoefTDS = 1.0 + 0.02 * (temperatura - 25.0);
95 float compVoltTDS = avgVoltTDS / compCoefTDS;
96 tdsValue = (133.42 * pow(compVoltTDS, 3)
97 -255.86 * pow(compVoltTDS, 2)
98 +857.39 * compVoltTDS) * 0.5;
99
100 // 3. pH
101 int buf_pH[10];
102 for(int i = 0; i < 10; i++){
103     buf_pH[i] = analogRead(PH_PIN);
104     delay(10);
105 }
106
107 float voltPH = ((float)buf_pH[5]) * (3.3 / 4095.0);
108 pHValue = (7.0 + (slopePH * (voltPH - voltaje_pH7))) + phOffset;
109
110 // 4. OX GENO DISUELTO
111 int buf_DO[30];
112 for(int i = 0; i < 30; i++){
113     buf_DO[i] = analogRead(DO_PIN);
114     delay(10);
115 }
116
117 float voltDO = (getMedianNum(buf_DO, 30) * 3300.0) / 4095.0;
118 float V_sat = (temperatura - CAL2_T) *
119 (CAL1_V - CAL2_V) /
120 (CAL1_T - CAL2_T) + CAL2_V;
121
122 DO_Value = (voltDO * DO_Table[(int)temperatura] / V_sat) / 1000.0;
123
124 Serial.println("=====");
125 Serial.print("Temp: "); Serial.println(temperatura);
126 Serial.print("TDS: "); Serial.println(tdsValue);
127 Serial.print("pH: "); Serial.println(pHValue);
128 Serial.print("OD: "); Serial.println(DO_Value);
129
130 delay(appTxDutyCycle);
131 }

```