



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua para un cultivo experimental de peces aplicando tecnologías de IoT.

**IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**BASSANTES BUDIÑO LESTER IVAN
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua para un cultivo experimental de peces aplicando tecnologías de IoT.

**IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**BASSANTES BUDIÑO LESTER IVAN
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua para un cultivo experimental de peces aplicando tecnologías de IoT.

**IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

**BASSANTES BUDIÑO LESTER IVAN
INGENIERO EN TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION**

HERNANDEZ ROJAS DIXYS LEONARDO

**MACHALA
2022**

tesis

por Bazantes Izurieta

Fecha de entrega: 31-mar-2023 06:09p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2052480978

Nombre del archivo: Solo_contenido_para_TURNITIN.pdf (2.14M)

Total de palabras: 14922

Total de caracteres: 78051

tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

2%

2

rinacional.tecnm.mx

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

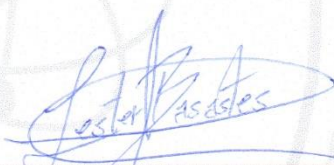
Los que suscriben, BASSANTES BUDIÑO LESTER IVÁN e IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua para un cultivo experimental de peces aplicando tecnologías de IoT, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



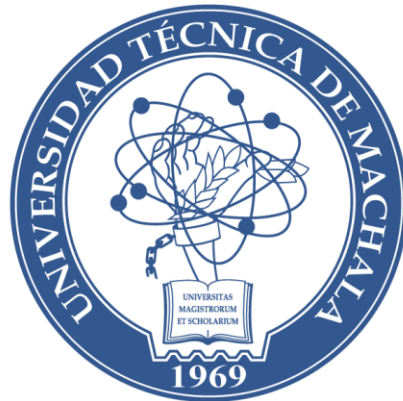
BASSANTES BUDIÑO LESTER IVÁN

0707273637



IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO

0706662970



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TÍTULO:

SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA
UN CULTIVO EXPERIMENTAL DE PECES APLICANDO TECNOLOGÍAS DE
IOT.

AUTORES:

BASSANTES BUDIÑO LESTES IVÁN

Ingeniero en Tecnologías de la Información

IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO

Ingeniero en Tecnologías de la Información

TUTOR:

ING. HERNÁNDEZ ROJAS DYXIS LEONARDO, PHD.

COTUTOR:

ING. ELEC. NOVILLO VICUÑA JOHNNY PAUL, MGS.

MACHALA, MARZO DE 2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TÍTULO:

**SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA
UN CULTIVO EXPERIMENTAL DE PECES APLICANDO TECNOLOGÍAS DE
IOT.**

AUTORES:

BASSANTES BUDIÑO LESTES IVÁN

Ingeniero en Tecnologías de la Información

IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO

Ingeniero en Tecnologías de la Información

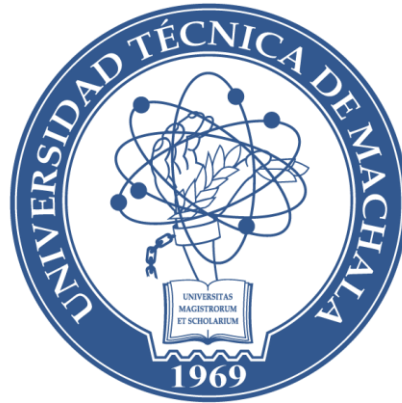
TUTOR:

ING. HERNÁNDEZ ROJAS DYXIS LEONARDO, PHD.

COTUTOR:

ING. ELEC. NOVILLO VICUÑA JOHNNY PAUL, MGS.

MACHALA, MARZO DE 2023



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TÍTULO:

**SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA
UN CULTIVO EXPERIMENTAL DE PECES APLICANDO TECNOLOGÍAS DE
IOT.**

AUTORES:

BASSANTES BUDIÑO LESTES IVÁN

Ingeniero en Tecnologías de la Información

IZURIETA REYES CARLOS ALBERTO

Ingeniero en Tecnologías de la Información

TUTOR:

ING. HERNÁNDEZ ROJAS DYXIS LEONARDO, PHD.

COTUTOR:

ING. ELEC. NOVILLO VICUÑA JOHNNY PAUL, MGS.

MACHALA, MARZO DE 2023

DEDICATORIA

A Dios, mi fortaleza, quien permite que todo sea posible.

A mis padres quienes han forjado mi carácter y me han brindado su apoyo incondicional a lo largo del camino de la vida.

A todos los docentes quienes con sus conocimientos y experiencias han cultivado el amor por mi profesión.

Izurieta Reyes Carlos Alberto

Dedico este trabajo a mi papá, quién ha sido mi apoyo y mi mentor, gracias por enseñarme a ser una persona fuerte y valiente. Tu amor y apoyo incondicional me han guiado hasta el punto donde me encuentro hoy.

A mi pareja, quién es mi compañera y mi mejor amiga, gracias por ser mi luz en los momentos oscuros y mi fortaleza en los desafiantes.

A mi pequeño hijo, mi mayor alegría y mi orgullo. Eres mi razón para sonreír cada día y mi motivación para seguir adelante. Te dedico este trabajo con todo mi amor y espero que algún día puedas estar orgulloso de mí.

Todo mi esfuerzo y trabajo es por y para ustedes, mi familia, mi todo. Los amo incondicionalmente.

Bassantes Budiño Lester Iván

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos en los momentos de aflicción.

A mis padres por su sacrificio y por ser el soporte en cada una de mis decisiones.

A los docentes Dixys Hernández, y Fausto Redrován que con su ayuda me han guiado y han compartido sus valiosos conocimientos en este proceso.

Izurieta Reyes Carlos Alberto

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi profesor Fausto Redrován por su guía y apoyo incansable durante todo el proceso de mi formación universitaria.

También quiero agradecer a mi tutor de tesis Dixys Hernández por su dedicación, paciencia y valiosos consejos durante el desarrollo de mi trabajo académico.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia por su amor y apoyo incondicional durante todos estos años de apoyo en mi formación académica.

Bassantes Budiño Lester Iván

RESUMEN

El cultivo de peces es una actividad que ha ido incrementándose en los últimos años, actualmente de la piscicultura depende la economía y alimentación de un importante porcentaje de la población. Sin embargo, esta actividad no está exenta de dificultades. Los padecimientos de los peces se generan como consecuencia de un conjunto de sucesos adversos que los altera fisiológicamente. Una de estas causas es la mala gestión de la calidad del agua, lo que termina afectando directamente su sistema inmunitario que conlleva desde el incremento de los costes de producción hasta la mortandad de todo el cultivo. Por esta razón, el proyecto se enfoca en implementar un prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los factores que inciden en la calidad del agua, en un cultivo experimental de peces, mediante la aplicación de tecnologías de Internet de las cosas (IoT); por ende, debe contar con las características para actuar sobre la influencia negativa de estos factores. La forma en la que se llevó a cabo el desarrollo de este proyecto se basa en la metodología de Programación Extrema (XP) adaptada a IoT, la cual consiste en cuatro fases: planeación, diseño, desarrollo y pruebas. Por ello, este proyecto espera obtener un prototipo de sistema que integre IoT con un impacto positivo en el proceso de cultivo de peces, y que permita un monitoreo constante de las variables involucradas en su ciclo vital a través de sensores, y alerta por medio de la clasificación de datos. Con base en el trabajo realizado, se obtuvo como resultado el cumplimiento de los requerimientos del laboratorio de maricultura necesarios para monitorear y alertar sobre la calidad del agua de un cultivo de peces; luego se emitieron algunas conclusiones y recomendaciones del prototipo.

PALABRAS CLAVE

Calidad del agua, Piscicultura, IoT, Programación Extrema, Clasificación de datos.

ABSTRACT

Fish farming is an activity that has been increasing in recent years, currently the economy and food of a significant percentage of the population depend on fish farming. However, this activity is not without difficulties. The illnesses of the fish are generated as a consequence of a set of adverse events that alters them physiologically. One of these causes is poor water quality management, which ends up directly affecting its immune system, which can range from increased production costs to the death of the entire crop. For this reason, the project focuses on implementing a prototype system for monitoring and alerting the factors that affect water quality, in an experimental fish farm, through the application of Internet of Things (IoT) technologies; therefore, it must have the characteristics to act on the negative influence of these factors. The way in which the development of this project was carried out is based on the Extreme Programming (XP) methodology adapted to IoT, which consists of four phases: planning, design, development and testing. For this reason, this project hopes to obtain a prototype system that integrates IoT with a positive impact on the fish farming process, and that allows constant monitoring of the variables involved in their life cycle through sensors, and alerts through data classification. Based on the work carried out, the fulfillment of the mariculture laboratory requirements necessary to monitor and alert on the water quality of a fish culture was obtained as a result; then some conclusions and recommendations of the prototype were issued.

KEYWORDS

Water quality, Fish farming, IoT, Extreme Programming, Data classification.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
i. Declaración y formulación del Problema	2
ii. Objeto de estudio y Campo de acción.....	3
iii. Objetivos.....	4
iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación	4
v. Justificación	5
vi. Organización del documento	6
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Antecedentes de la investigación	7
1.2. Antecedentes históricos.....	11
1.2.1 Historia de la Inteligencia Artificial	11
1.2.2 Historia de las Redes Neuronales	14
1.2.3 Historia del Internet de las Cosas.....	15
1.2.4 Historia de la Piscicultura	16
1.3. Antecedentes Teóricos	17
1.3.1 ¿Qué es el Internet de las Cosas?.....	17
1.3.2 ¿Qué es la Inteligencia Artificial?.....	17
1.3.3 ¿Qué son las Redes Neuronales Artificiales?	17
1.3.4 ¿Qué es la Piscicultura?	18
1.3.5 ¿Qué son los Actuadores?.....	18

1.3.6	Actuadores para mantener la calidad del agua.....	18
1.3.7	Parámetros del Cultivo de peces.....	19
1.3.8	Sensores para la medición de la calidad del agua en un cultivo de peces	20
1.3.9	Tecnologías para el desarrollo del prototipo.....	22
1.3.10	Plataforma de Hardware	24
1.4.	Antecedentes Contextuales	24
1.4.1	Ámbito de aplicación.....	25
1.4.2	Establecimiento de requerimientos	26
CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO		28
2.1.	Definición del prototipo	28
2.2.	Metodología de desarrollo del prototipo	29
2.2.1	Enfoque, alcance y diseño de investigación	29
2.2.2	Unidades de análisis.....	30
2.2.3	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	30
2.2.4	Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados	31
2.2.5	Metodología o métodos específicos.....	31
2.2.6	Herramientas y/o Materiales	32
2.3.	Desarrollo del prototipo	33
2.3.1	FASE 1: Planeación	33
2.3.2	FASE 2: Diseño	35
2.3.3	FASE 3: Desarrollo.....	38

2.4	Ejecución del prototipo	42
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO		48
3.1	Plan de evaluación.....	48
3.1.1	Objetivo.....	48
3.1.2	Cronograma.....	48
3.1.3	Proceso/Pasos.....	48
3.1.4	Actividades	49
3.1.5	Resultados esperados	51
3.2	Resultados de la evaluación	52
3.3	Contrastación de hipótesis.....	56
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		63
ANEXOS		66
Anexo 1 - Matriz de consistencia.....		66
Anexo 2 - Ficha de observación.....		69
Anexo 3 – Mediciones en el escenario.....		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de la investigación	4
Tabla 2. Dimensionamiento de las variables	5
Tabla 3. Preguntas de investigación	7
Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión en español	8
Tabla 5. Requerimientos del prototipo	26
Tabla 6. Estimaciones de la población	30
Tabla 7. Datos propios y externos.....	30
Tabla 8. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	31
Tabla 9. Herramientas y/o materiales.....	32
Tabla 10. Roles del equipo de trabajo	33
Tabla 11. Resumen de historias de usuarios.....	34
Tabla 12. Plan de iteraciones	34
Tabla 13. Plantilla historia de usuario	38
Tabla 14. Historia de usuario mediciones de la temperatura del agua	39
Tabla 15. Historia de usuario mediciones del pH del agua	40
Tabla 16. Historia de usuario mediciones de la turbidez del agua.....	40
Tabla 17. Historia de usuario registro de los datos de los sensores en tiempo real.....	40
Tabla 18. Historia de usuario inicio de sesión en el sistema	41
Tabla 19. Historia de usuario estado de los parámetros de calidad del agua	41
Tabla 20. Historia de usuario notificación del estado de la calidad del agua.....	42
Tabla 21. Cronograma del plan de evaluación	48
Tabla 22. Equipo del laboratorio de maricultura	49
Tabla 23. Actividades detalladas para realizar las pruebas diseñadas	50
Tabla 24. Pruebas de aceptación por área	50
Tabla 25. Plantilla de prueba de aceptación	51

Tabla 26. Prueba de aceptación N°1	52
Tabla 27. Prueba de aceptación N°2	53
Tabla 28. Prueba de aceptación N°3	54
Tabla 29. Prueba de aceptación N°4	54
Tabla 30. Resultados de la aceptación	55
Tabla 31. Resultados estadísticos de precisión.....	56
Tabla 32. Mediciones recabadas para la prueba de latencia	59
Tabla 33. Matriz de consistencia.....	66
Tabla 34. Ficha de observación.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problema	3
Figura 2. Proceso de búsqueda.....	9
Figura 3. Documentos publicados por año	10
Figura 4. Análisis de contenidos – VOSviewer.....	10
Figura 5. Historia de la inteligencia artificial	13
Figura 6. Historia de las redes neuronales	14
Figura 7. Historia del internet de las cosas.....	15
Figura 8. Historia de la piscicultura	16
Figura 9. Sensor de temperatura digital DS18B20	20
Figura 10. Sensor de pH GAOHOU PH0-14	20
Figura 11. Sensor de turbidez de agua	21
Figura 12. Módulo ESP32.....	24
Figura 13. Arquitectura IoT basada en capas	28
Figura 14. Fases de la metodología XP.....	32
Figura 15. Diagrama circuital del nodo de sensores (capa de percepción)	35
Figura 16. Diagrama circuital del nodo de actuadores (capa de percepción).....	36
Figura 17. Diseño del Gateway (capa de red y software intermedio)	37
Figura 18. Interfaz del Dashboard en Grafana (capa de aplicación).....	37
Figura 19. Interfaz móvil	38
Figura 20. Prototipo en el escenario de aplicación	42
Figura 21. Página de inicio de sesión	43
Figura 22. Inicio de sesión con Google Accounts	43
Figura 23. Inicio de sesión con Facebook	44
Figura 24. Ventana de registro	44
Figura 25. Registro de usuarios en firebase.....	45

Figura 26. Registro de los datos sensados en firebase	45
Figura 27. Indicadores claves del dashboard.....	46
Figura 28. Gráfico de líneas del dashboard	46
Figura 29. Historial de mediciones del dashboard	47
Figura 30. Notificación vía email al usuario	47
Figura 31. Resultados estadísticos de precisión de temperatura.....	57
Figura 32. Resultados estadísticos de precisión de pH.....	57
Figura 33. Resultados estadísticos de precisión de turbidez.....	58
Figura 34. Resultados estadísticos de precisión del prototipo	58
Figura 35. Resultados estadísticos de latencia	60
Figura 36. Monitoreo en el escenario.....	70
Figura 37. Mediciones del patrón.....	70

GLOSARIO

A

Acuacultura: Se refiere a un conjunto de prácticas, métodos y saberes en la crianza de especies acuáticas, vegetales y animales, en un entorno acuoso dulce o salado.

M

Metodología: Una metodología es un conjunto de métodos que se siguen en una investigación, conlleva una serie de etapas específicas para el trabajo conduciendo a la selección de técnicas concretas.

P

Patología: Es la ciencia derivada de la medicina encargada del estudio de las enfermedades de acuerdo a la sintomatología producida por un ser vivo para la determinación de las posibles causas involucradas.

Piscicultura: Término bajo el que se agrupan todas las actividades que buscan dirigir y fomentar la reproducción y cría de peces y mariscos.

Piscifactoría: Es una forma de producción de alimentos que se utiliza con fines comerciales o de consumo es la piscifactoría, la cual es una instalación acuícola diseñada para la cría de peces en cautiverio.

S

Sistema: Un sistema es un conjunto de objetos que se relaciona con algún componente tangible o intangible.

INTRODUCCIÓN

Las actividades acuícolas en el Ecuador tienen una relevancia determinante en la economía del país. Actualmente nuestro país está considerado como una potencia en exportación de especies acuáticas por su calidad y excelencia del producto. Por lo cual resulta de gran importancia optimizar los procesos de producción de estos productos de exportación, buscando maximizar la producción con el menor costo [1].

Según A. González-Martínez, et al. [2], Ecuador cuenta con aproximadamente 951 especies de peces de agua dulce, que son nativos del país, muchas de estas especies no están caracterizadas, por lo cual se considera al país con un gran potencial piscícola. Muchas de las actividades relacionadas al cultivo de peces en el país se llevan a cabo de manera manual, lo que conlleva un gasto en recursos humanos e ineficiencia en los tiempos de producción. Sumado a esto la importancia extra que se debe tener en las fases tempranas de los procesos de crianza de especies acuáticas, debido al alto nivel de mortandad de los alevines y crías.

El desarrollo de este proyecto contribuye a la optimización y eficiencia de dichos procesos de producción. Usando sistemas inteligentes, que monitorean en tiempo real las variables y parámetros críticos de los procedimientos que se llevan a cabo en actividades acuícolas, se asegura la supervivencia de las crías para satisfacer mayormente la demanda del producto final, la optimización de recursos humanos y materiales por la aparición de enfermedades, y en consecuencia ahorro del dinero a las empresas dedicadas a la piscicultura.

i. Declaración y formulación del Problema

En el mundo actual, la crianza de peces a través de piscinas de cultivo artificiales se ha convertido en una actividad recurrente que han adoptado los piscicultores para suplir las demandas de nuevos mercados.

Sudamérica al igual que otras partes de la región se ha destacado en el pasado por su pesca extractiva, sin embargo, en las últimas décadas, esto ha ido cambiando debido al declive de este tipo de pesca tradicional hacia actividades acuícolas de producción en masa [3].

Ecuador es un productor acuícola por excelencia, con una amplia tradición y experiencia en el sector, cuya rentabilidad contribuye en gran medida a la economía del país. Sin embargo, es de importancia promover el concepto de diversificación de las especies de cultivo como la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) para satisfacer nuevos mercados potenciales [4].

El mal manejo de la calidad del agua en el cultivo de peces es un desencadenante de enfermedades que afectan directamente su sistema inmunitario, provocando la contaminación y mortandad de las especies cultivadas en una piscina de producción [5]. Por la razón mencionada, es importante monitorear los parámetros clave que determinan la calidad del agua, como son: la temperatura, la turbidez y pH; estos parámetros ofrecen a las piscifactorías las pautas necesarias para realizar manejos del agua en forma oportuna evitando que se generen daños al cultivo. De acuerdo a Ziarati, *et al.* [6] El impacto de las enfermedades no solo afecta la sanidad y bienestar de los animales acuáticos sino también el comercio y la salud humana, por tal motivo se está pretendiendo beneficiar a los piscicultores a través de la implementación de un sistema para tener una mejor gestión de esta práctica.

En la **Figura 1**, se presenta el problema, causa y efecto del problema.

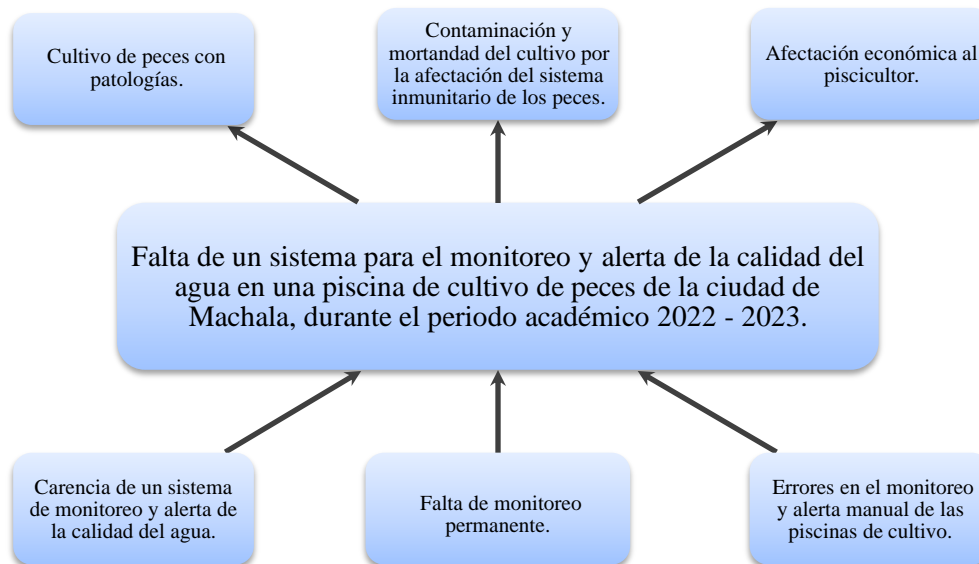


Figura 1. Árbol de problema

Formulación del problema

Problema principal:

- ¿Cómo implementar un sistema que permita el monitoreo y alerta de la calidad del agua para el cultivo de peces en una piscina experimental ubicada en el laboratorio de maricultura de la Universidad Técnica de Machala, durante el periodo académico 2022 - 2023?

Problemas específicos:

- ¿Cuáles son los parámetros a evaluar para la calidad del agua?
- ¿Cuáles son las tecnologías y arquitectura de IoT que permiten monitorear los parámetros de la calidad del agua en una piscina experimental para el cultivo de peces?
- ¿Cómo realizar la alerta para notificar al piscicultor sobre la calidad del agua?

ii. Objeto de estudio y Campo de acción

Objeto de estudio

- Monitoreo y alerta de la calidad del agua en una piscina experimental de cultivo de peces.

Campo de acción

- Tecnologías de IoT aplicadas al monitoreo y alerta de la calidad del agua en una piscina experimental de cultivo de peces.

iii. Objetivos

Objetivo General

- Implementar un prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua, en un cultivo experimental de peces, mediante la aplicación de tecnologías de IoT para una óptima producción.

Objetivos específicos

- Elaborar el estado del arte y marco teórico aplicando un proceso de revisión sistemática de la literatura.
- Diseñar un sistema de monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua de un cultivo experimental de peces.
- Alertar sobre la calidad del agua, aplicando una técnica de clasificación para la óptima producción de peces, considerando umbrales de peligro que desencadenan patologías.

iv. Hipótesis y variables o Preguntas de investigación

Hipótesis principal.

La implementación de un sistema ayudará a monitorear y alertar sobre los parámetros de la calidad del agua que debilitan el sistema inmunitario y causan enfermedades en una piscina de cultivo de peces.

Variables y dimensionamiento

La información contenida en la **Tabla 1** muestra las variables de la investigación y los conceptos que las componen respectivamente.

Tabla 1. Variables de la investigación

Variables	Conceptos
Variable independiente: Prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua.	Sistema que integra el uso de tecnologías IoT como sensores y plataformas de hardware complementado con una técnica de clasificación para llevar a cabo el monitoreo y alerta de los parámetros que inciden en el cultivo de peces.

Variables	Conceptos
<p>Variable dependiente:</p> <p>La calidad del agua en la piscina experimental de maricultura.</p>	<p>Está relacionado con los parámetros óptimos y perjudiciales en el cultivo de peces, como: potencial de hidrógeno (pH), temperatura y turbidez.</p>

Como se puede leer en la **Tabla 2**, las variables de la investigación están sujetas al dimensionamiento que incluye la categorización, indicadores y técnicas para su desarrollo.

Tabla 2. Dimensionamiento de las variables

Variables	Categorías	Indicadores	Técnicas
<p>Variable independiente:</p> <p>Prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua.</p>	<p>Desarrollo de un sistema de monitoreo de los parámetros de la calidad del agua aplicando IoT.</p> <p>Alerta de la calidad del agua, aplicando una técnica de clasificación de datos.</p>	<p>Diseño del prototipo de monitoreo de los parámetros de la calidad del agua con IoT.</p> <p>Aplicación de alerta remota con una técnica de clasificación.</p>	<p>Arquitectura del sistema IoT de monitoreo y alerta.</p> <p>Proceso de colección de datos.</p> <p>Diagramado de clasificación condicional de los datos.</p>
<p>Variable dependiente:</p> <p>La calidad del agua en la piscina experimental de maricultura.</p>	<p>Parámetros de calidad del agua.</p> <p>Niveles de estrés y causantes de patologías en peces.</p>	<p>pH.</p> <p>Temperatura.</p> <p>Turbidez.</p> <p>Umbrales de peligro relacionados con los parámetros de la calidad del agua.</p>	<p>Clasificación de datos con condicionales de umbrales que alertan el estado de la calidad del agua para una óptima producción.</p>

v. Justificación

De acuerdo a [7], se muestran los principales problemas patológicos, bacterianos y víricos, que afectan a las diferentes especies de peces debido a una mala gestión de la calidad del agua. Por esta razón, existen normas de sanidad e inocuidad establecidas por la autoridad sanitaria y regulaciones para garantizar que el lugar donde se realice el cultivo cumpla con los parámetros de calidad requeridos.

Actualmente la demanda de producción de peces en nuestro país está en continuo crecimiento, lo que genera mayores ingresos. Por lo cual, resulta necesario la optimización en los procesos de los cultivos piscícolas de especies como la tilapia roja y la trucha más comúnmente comercializadas.

Por los motivos que se mencionaron, se busca una solución innovadora por medio de la creación del prototipo de un sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua, mediante la aplicación de tecnologías de IoT que verifiquen los niveles adecuados de los parámetros y garanticen la supervivencia de los peces.

Desde el punto de vista económico, este proyecto ayuda en la optimización de recursos humanos y materiales por consecuencia de la aparición de enfermedades, y en efecto ahorrando dinero a las empresas dedicadas a la piscicultura.

vi. Organización del documento

Este trabajo de titulación se organizó en capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I: Se efectuaron los antecedentes referentes a la investigación, teóricos y contextuales con relación al tema propuesto.

Capítulo II: En este capítulo se llevó a cabo el desarrollo del prototipo, así como su definición, metodologías y herramientas empleadas.

Capítulo III: Se realizó el plan de evaluación del prototipo para la obtención de resultados.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Se realizó la revisión bibliográfica de la investigación por medio de la metodología Systematic Review of the Literature (SRL). La metodología SRL es la encargada de la identificación, análisis e interpretación de las evidencias basándose en las preguntas de investigación predefinidas, palabras claves que conforman la cadena de búsqueda, considerando también los términos que se incluyen y excluyen, procedimiento y resultantes de la búsqueda [8].

a) Preguntas de investigación

En español:

En la **Tabla 3** se establecieron las preguntas para la búsqueda de información acerca de la temática “Sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua para el cultivo de peces”.

Tabla 3. Preguntas de investigación

Pregunta de investigación	Descripción y motivación
RQ1. ¿Cuáles son los parámetros determinantes con influencia en la calidad del agua en una piscina de cultivo de peces?	Esta pregunta permite identificar los principales parámetros que se deben tener en cuenta para considerar que la calidad del agua de una piscina de cultivo es óptima para el crecimiento de los alevinos hasta su madurez.
RQ2. ¿Qué acciones se deben llevar a cabo cuando se ve afectada la calidad del agua del cultivo de peces?	Por medio de esta pregunta se podrá definir el procedimiento de respuesta para mantener y reportar el estado de la calidad del agua.
RQ3. ¿Cuáles son los recursos tecnológicos que forman parte de la solución del problema?	Esta pregunta permite seleccionar los componentes, lenguajes de programación y/o herramientas tecnológicas necesarias para el diseño y prototipado del sistema.
RQ4. ¿Qué beneficios ofrece la solución planteada después de implementarse en una piscina de cultivo de peces?	Con esta pregunta se busca determinar los beneficios que aporta la solución al implementarse en un entorno real.

b) Palabras claves y Cadena de búsqueda

La estrategia de búsqueda incluyó una búsqueda automática, utilizando una cadena validada por expertos en las áreas de Sistema y Monitoreo de la calidad del agua en un cultivo de peces. Las bases de datos digitales seleccionadas y consultadas fueron Scielo, IEEE Xplore y Scopus.

La cadena de búsqueda se especificó considerando los términos principales del tema de investigación (sistema, monitoreo, calidad, agua, cultivo, peces). Se excluyeron las palabras clave cuya inclusión no arrojó artículos adicionales en las búsquedas automáticas. Después de varias iteraciones, definimos la siguiente cadena de búsqueda utilizando los operadores AND y OR para buscar en palabras clave, título, resumen y texto completo de las publicaciones, en el idioma inglés:

(“monitoreo” AND “alerta” AND “sistema” OR “agua” AND “calidad” AND for AND “peces” AND “cultivo”)

c) Criterios de inclusión y exclusión

Estos criterios fueron establecidos para incluir o excluir trabajos relacionados al caso de estudio. En el contenido de la **Tabla 4** se describen los criterios de inclusión y exclusión utilizados.

Tabla 4. Criterios de inclusión y exclusión en español

#	Criterio de inclusión
1	Estudios primarios
2	Estudios que abordan en los objetivos de una técnica de clasificación de datos
3	Estudios publicados en el rango de años del 2017-2022.
4	Estudios que relacionan Sistema de monitoreo y alerta de la calidad de agua para el cultivo de peces.
#	Criterio de exclusión
1	Estudios secundarios
2	Artículos cortos (≤ 3 páginas)
3	Estudios duplicados
4	Artículos escritos en otros idiomas que no sean en inglés o español.
5	Estudios según el tipo de documento (documento de sesión y capítulo de libro)
6	Estudios poco relevantes al tema de investigación
7	Publicaciones cuyo texto completo no estaba disponible para revisión y/o análisis

d) Proceso y resultados de la búsqueda

La información contenida en la **Figura 2** muestra el proceso de búsqueda realizado llevado a cabo para satisfacer las necesidades de información y obtención de resultados.

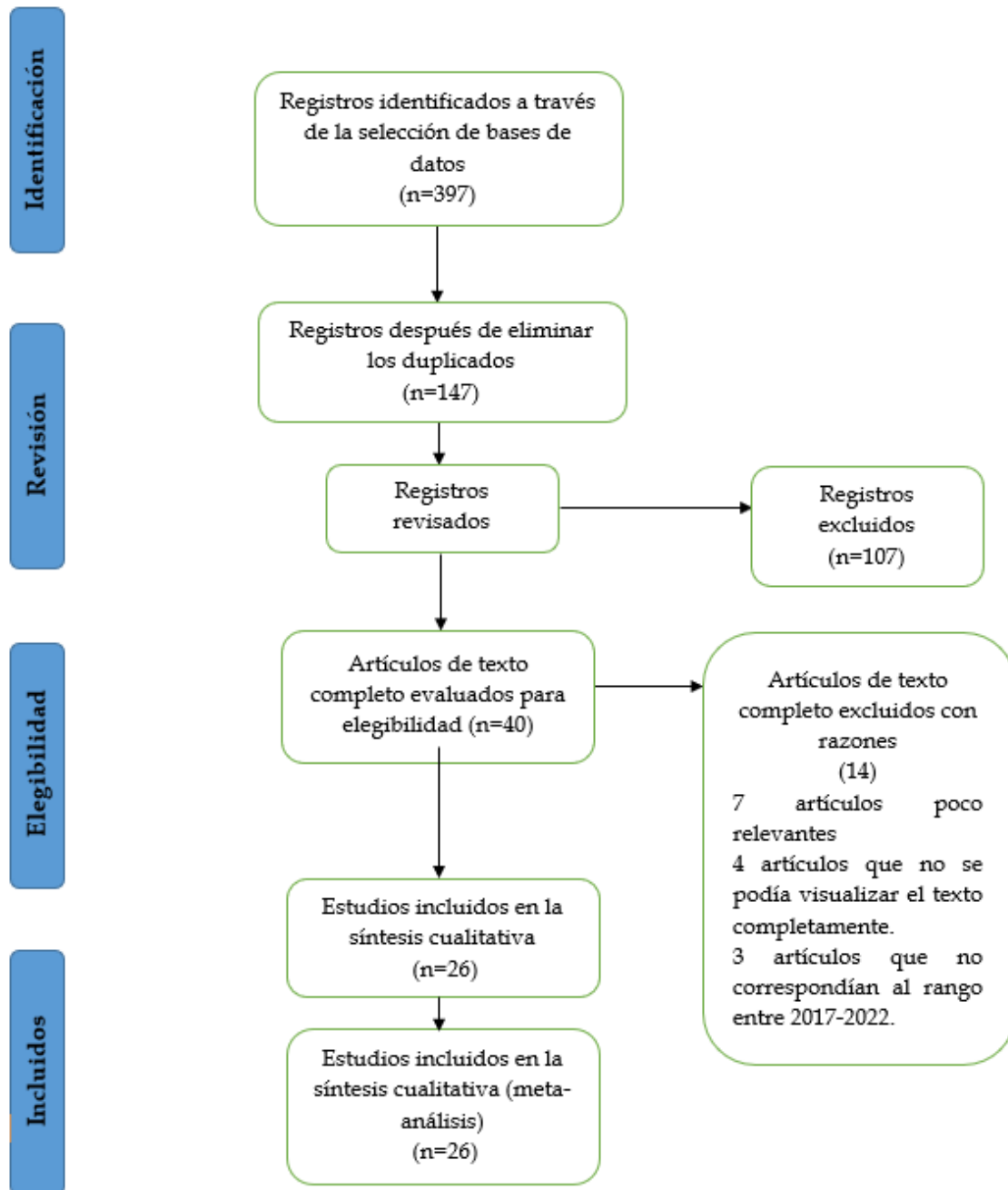


Figura 2. Proceso de búsqueda

Resultados de búsqueda

En la **Figura 3** se muestra un gráfico de líneas donde se visualizan los resultados del proceso de búsqueda en base a la recolección de información en distintas bases de datos bibliográficas y

repositorios digitales, donde pudimos recabar trabajos de investigación por año desde el año 2017 hasta 2022.

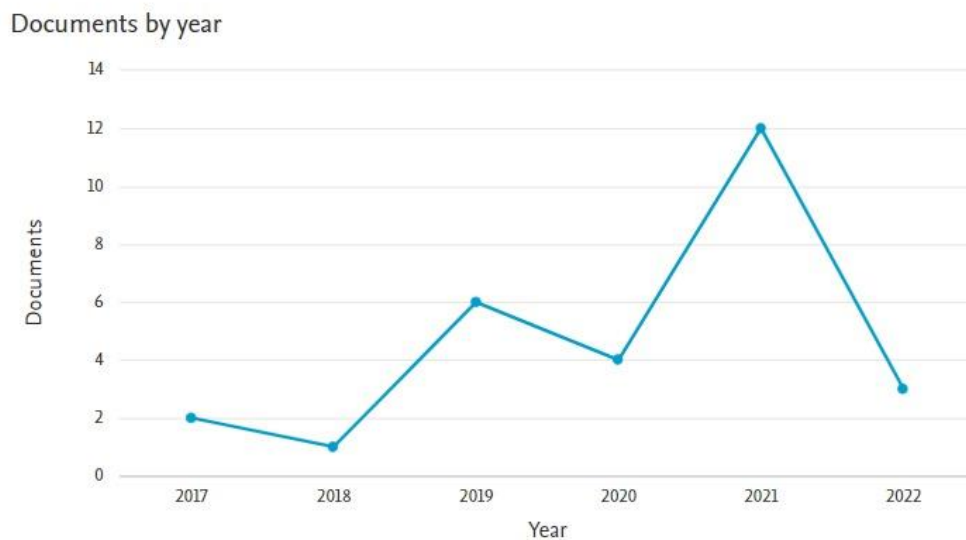


Figura 3. Documentos publicados por año
Fuente: Scopus

En la **Figura 4** se muestra el análisis bibliométrico de las fuentes utilizadas en el trabajo para el cual se utilizó la herramienta VOSviewer y en el cual se demuestra la disponibilidad de información y trabajos relacionados a la temática abordada.

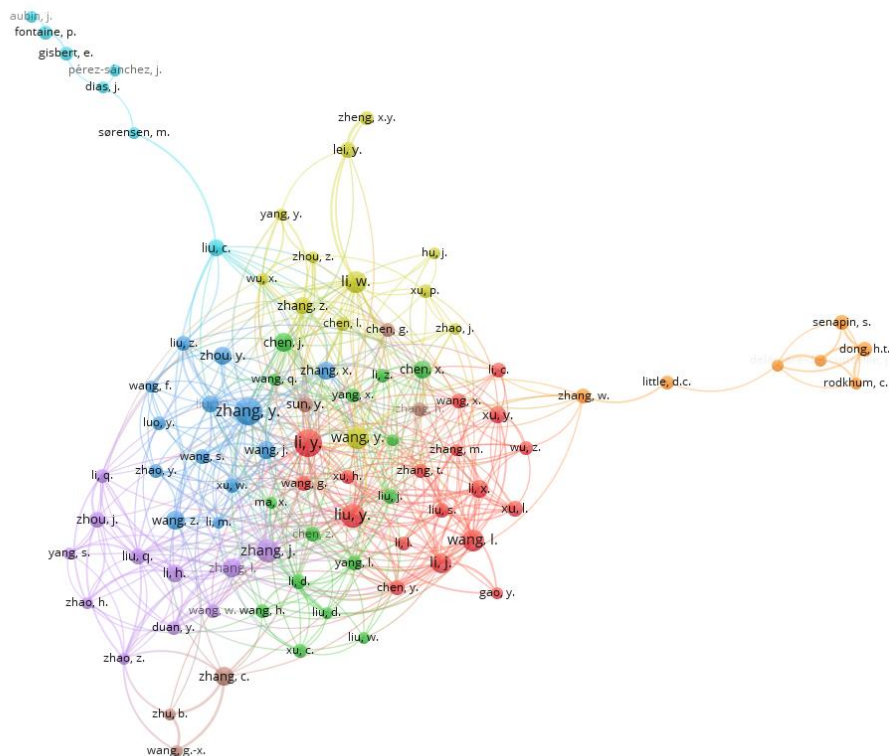


Figura 4. Análisis de contenidos – VOSviewer

1.2. Antecedentes históricos

1.2.1 Historia de la Inteligencia Artificial

La información contenida en la **Figura 5** muestra una línea de tiempo donde se describen los principales acontecimientos de la evolución de la inteligencia artificial hasta la actualidad.





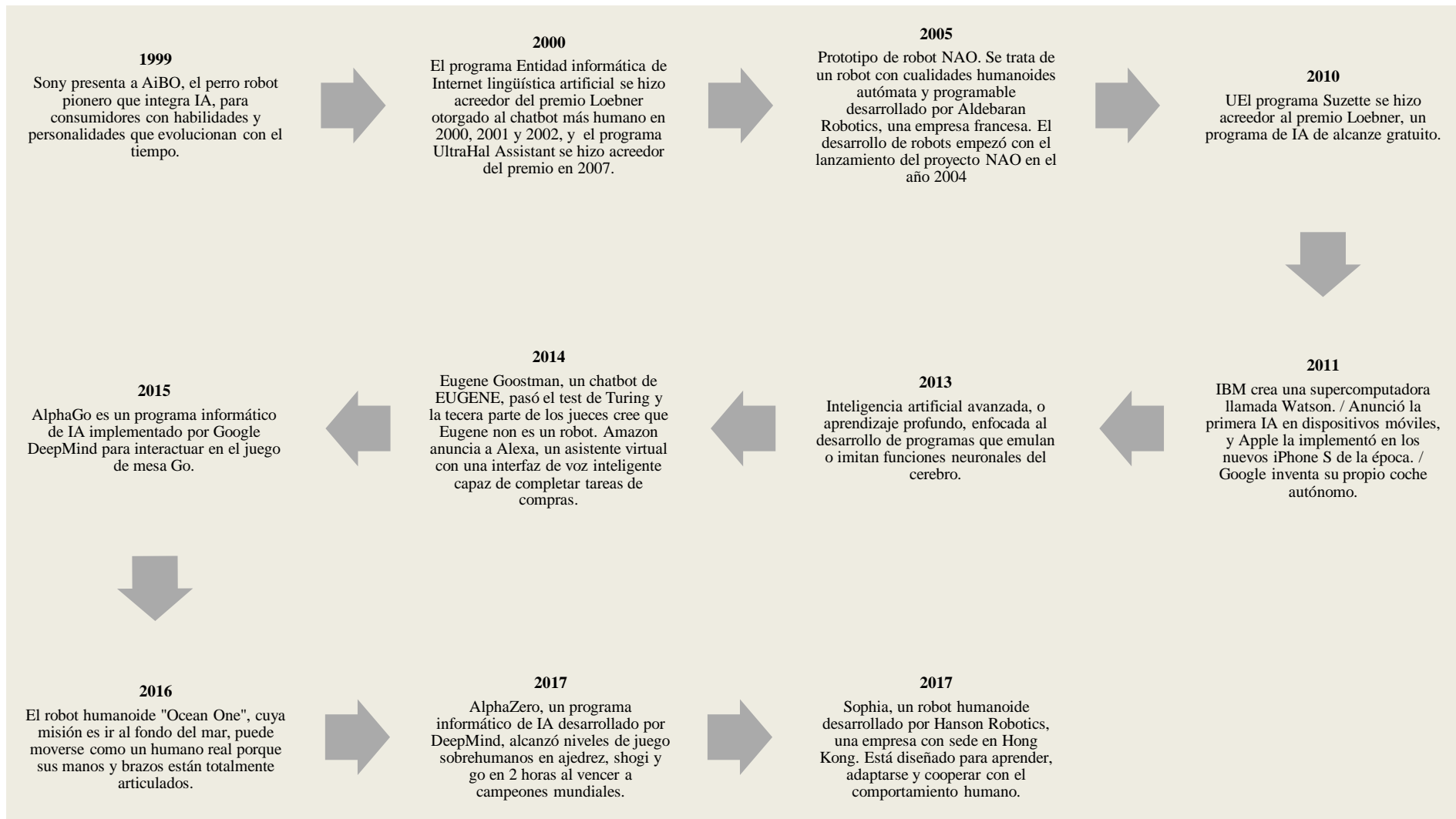


Figura 5. Historia de la inteligencia artificial

1.2.2 Historia de las Redes Neuronales

La **Figura 6** contiene los principales eventos que forman parte de la historia de las redes neuronales y su proceso de evolución.

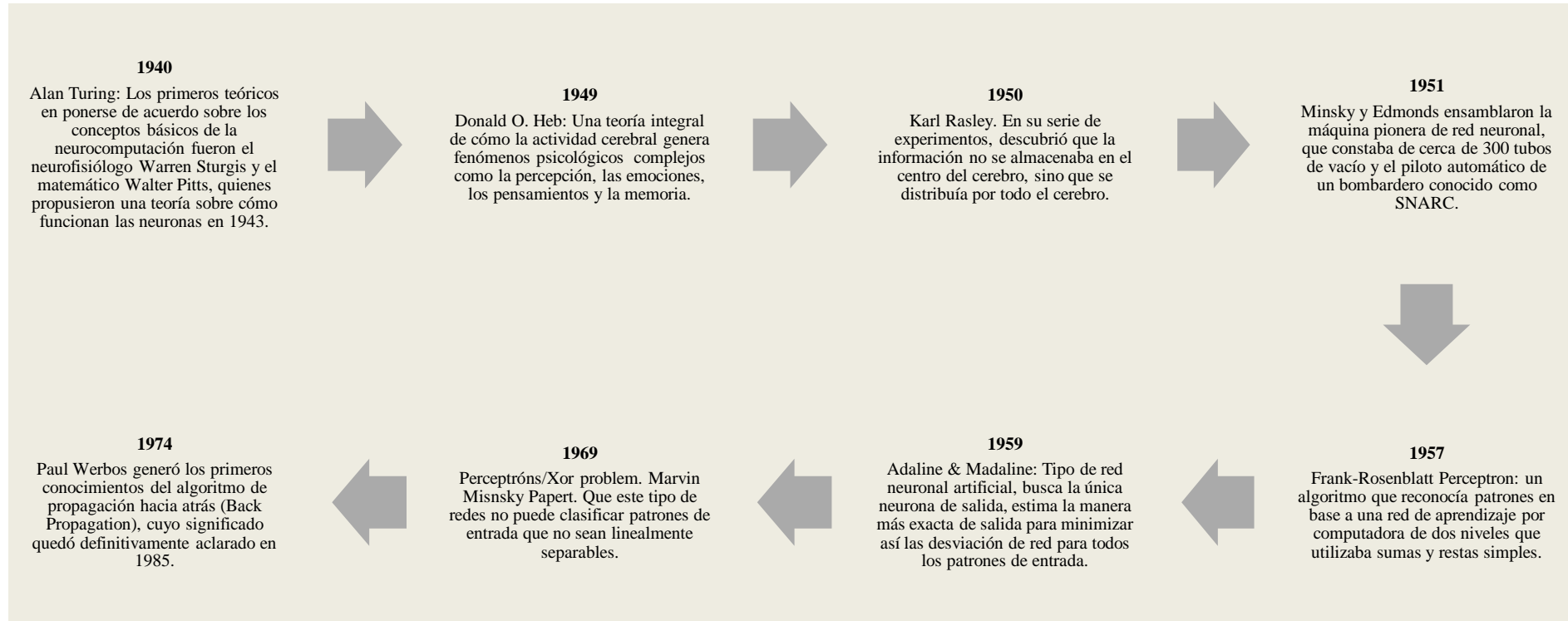


Figura 6. Historia de las redes neuronales

1.2.3 Historia del Internet de las Cosas

En el contenido de la **Figura 7** se muestran los años y descripción de los eventos de mayor relevancia con respecto a la evolución del IoT.

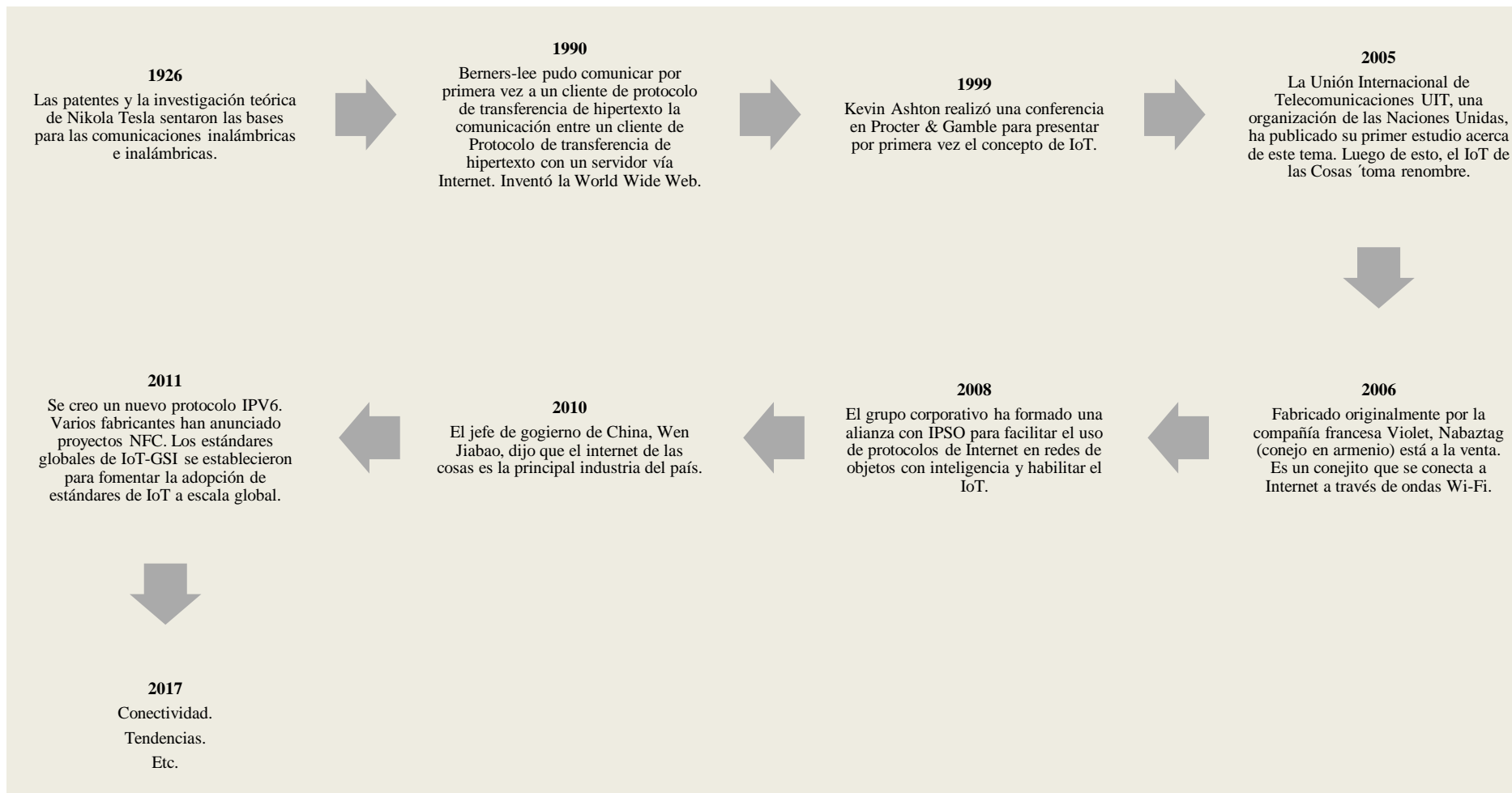


Figura 7. Historia del internet de las cosas

1.2.4 Historia de la Piscicultura

La información contenida en la **Figura 8** muestra una línea de tiempo donde se describen los acontecimientos más relevantes de la evolución de la actividad piscícola hasta la actualidad.

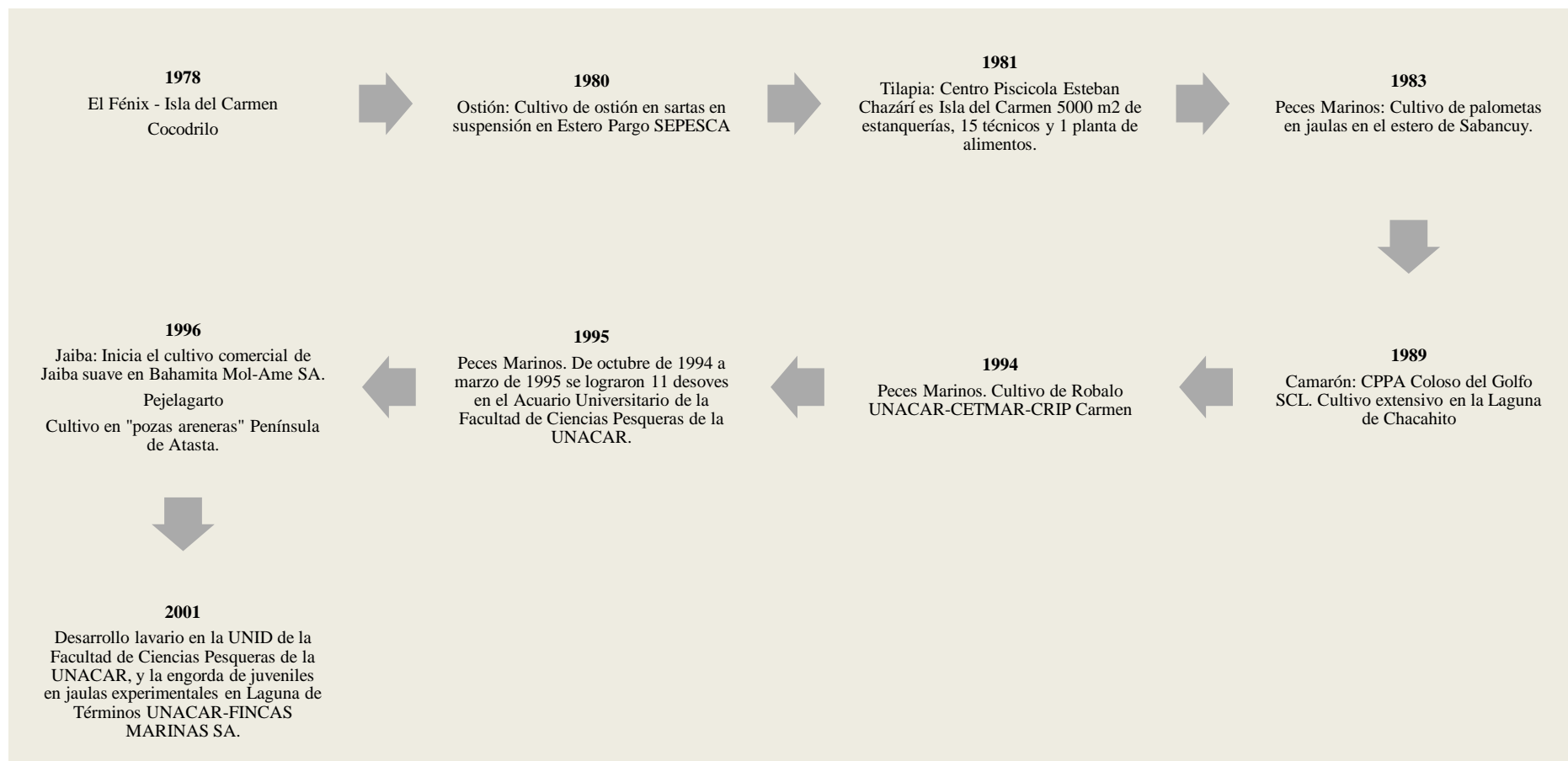


Figura 8. Historia de la piscicultura

1.3. Antecedentes Teóricos

1.3.1 ¿Qué es el Internet de las Cosas?

Es un nuevo cambio de rumbo en el sector de TI. La expresión "Internet de las cosas", conocida como IoT para abreviar, se deriva esencialmente de dos palabras, "internet" y "cosa". Internet es un sistema globalizado de redes de información conectadas unas con otras que utiliza un conjunto estándar de Protocolos de Internet (TCP/IP) para atender a miles de millones de usuarios en todo el mundo [9], [10]. De acuerdo a Kuru y Ansell [11] los dispositivos IoT perimétricos son capaces de recopilar datos e interactuar con su entorno inteligentemente y aprovechando grandes cantidades de datos casi en tiempo real por medio de tecnología moderna para la comunicación.

1.3.2 ¿Qué es la Inteligencia Artificial?

La inteligencia artificial se refiere a entornos electrónicos que son sensibles y responden a situaciones como lo harían las personas [12]. En un mundo de inteligencia ambiental, los dispositivos funcionan en conjunto para ayudar a las personas a realizar sus actividades de la vida cotidiana de manera fácil y natural utilizando la información y la inteligencia que están ocultas en los dispositivos conectados a la red. Se caracteriza en los siguientes sistemas:

- a) **Integrado:** muchos dispositivos en red están integrados en el entorno.
- b) **Consciente del contexto:** estos dispositivos pueden reconocerlo a usted y su contexto situacional.
- c) **Personalizado:** se pueden adaptar a tus necesidades.
- d) **Adaptativas:** Pueden cambiar en respuesta a ti.
- e) **Anticipadoras:** Pueden anticipar tus deseos sin mediación consciente.

1.3.3 ¿Qué son las Redes Neuronales Artificiales?

G. Cheng, *et al.* [13] investigó una red neuronal artificial que son sistemas de mapeo no lineal con una estructura basada libremente en principios observados en los sistemas nerviosos biológicos. En términos muy simplificados, una neurona real típica tiene un árbol dendrítico ramificado que recoge señales de muchas otras neuronas en un área limitada; un cuerpo celular que integra las señales recopiladas y genera una señal de respuesta (además de gestionar las funciones metabólicas); ya lo largo del axón ramificado que distribuye la respuesta a través de contactos con árboles dendríticos de muchas otras neuronas. La respuesta de cada neurona es una función no

lineal relativamente simple de sus entradas y está determinada en gran medida por la fuerza de las conexiones de sus entradas. A pesar de la relativa simplicidad de las unidades individuales, los sistemas que contienen muchas neuronas pueden generar comportamientos complejos y entrecruzados. En términos generales, una ANN consiste en un gran número de procesadores simples enlazados por conexiones ponderadas.

1.3.4 ¿Qué es la Piscicultura?

La piscicultura es una técnica utilizada para la cría y reproducción de peces en acuarios completamente libres o cerrados, ya que pueden convertirse en estanques naturales o artificiales [14].

1.3.5 ¿Qué son los Actuadores?

Un actuador es algo que convierte energía en movimiento, lo que significa que los actuadores impulsan movimientos en sistemas mecánicos. Se necesita fluido hidráulico, corriente eléctrica o alguna otra fuente de energía. Los actuadores pueden crear un movimiento lineal, giratorio u oscilatorio. Los actuadores y sensores normalmente se utilizan en ambientes modernos [15].

Hay tres tipos de actuadores:

1. **Eléctrico:** motores de CA y CC, motores paso a paso, solenoides
2. **Hidráulico:** usa fluido hidráulico para activar el movimiento
3. **Neumático:** usa aire comprimido para activar el movimiento. Estos tres tipos de actuadores están muy en uso hoy en día. Entre estos, los actuadores eléctricos son el tipo más utilizado. Los sistemas hidráulicos y neumáticos permiten aumentar la fuerza y el par de un motor más pequeño.

1.3.6 Actuadores para mantener la calidad del agua

Bomba de recambio de agua

Las bombas de recambio de agua son herramientas muy comunes usadas en las actividades acuícolas, cuyo objetivo es cambiar grandes volúmenes de agua que ya no son viables para la crianza de las especies por masas de agua completamente nuevas [16].

Aireador

Como se menciona en [17] el aireador es una herramienta para mover el agua desde el fondo, sin remover los sólidos y a la vez realiza la función de un proceso de desgasificación, debido a que libera los gases tóxicos que se encuentran en el fondo del lago o estanque.

Lámpara Led

Una lámpara led genera luz que simula a la natural, estas pueden funcionar como actuador en entornos donde se requiere un grado de iluminación adecuado para el crecimiento y desarrollo normal de las especies generalmente en la noche donde este factor es casi nulo, entre otras aplicaciones.

1.3.7 Parámetros del Cultivo de peces

H. Amiri, *et al.* [18] consideran 12 parámetros para la evaluación de la calidad de recursos hídricos en varios sectores, entre esos parámetros mencionan:

Temperatura: La temperatura depende del tipo de pez y las condiciones del agua, comúnmente la temperatura para la mayoría de las especies el rango oscila entre los 20 a 26°C. Se debe llevar un control pertinente de la misma debido a que si los peces permanecen fuera de las condiciones indicadas suelen estresarse, no se alimentan bien, se vuelven susceptibles a enfermedades y podrían morir en poco tiempo.

Oxígeno disuelto: “El valor de concentración de oxígeno recomendado debe ser superior a 5.5 mg/L. Valores inferiores ocasionan efectos de estrés, afectando el crecimiento y causando la muerte del pez”.

pH: “Se recomienda ambientes acuáticos con pH ligeramente alcalinos. El rango óptimo debe estar entre los 7.0 y 8.0. Valores superiores a 9.0 e inferiores a 6.0 pueden ocasionar enfermedades en las branquias que producen la muerte del pez”.

Turbidez: “Característica presentada en el agua cuando pierde su transparencia, debido a partículas en suspensión. Estas obstruyen el sistema respiratorio de los peces ocasionando enfermedades en las branquias y la muerte del pez”.

Luminosidad: La luminosidad es un parámetro muy importante, la cual permite de manera significativa el crecimiento de la fauna acuática como algas (elementos importantes del oxígeno de los estanques) y peces.

1.3.8 Sensores para la medición de la calidad del agua en un cultivo de peces

Sensor de temperatura digital DS18B20



Figura 9. Sensor de temperatura digital DS18B20

Fuente: Tomado de [19]

Este sensor cuenta con características de ser sumergible, fácil manipulación y que puede conectarse a los microcontroladores de Arduino, PIC, y familia ESP32 [20]. El sensor de temperatura es capaz de efectuar el sensado, además cuenta con un conversor análogo digital (ADC) cuenta con un solo cable o OneWire para la salida de datos a diferencia de otros tipos de sensores de temperatura.

Es utilizado comúnmente para medir la temperatura en maquinaria y equipos domésticos como acondicionadores de aire, también para la monitorización en la industria, entre otras.

Sensor de pH GAOHOU PH0-14



Figura 10. Sensor de pH GAOHOU PH0-14

Fuente: Tomado de [21]

De acuerdo a [21] El sensor GAOHOU PH0-14 Value Detect Sensor Module PH Electrode Probe BNC cuenta con las siguientes características:

- Alimentación de: $5 \pm 0,2$ V CA CC
- Corriente de funcionamiento: 5 – 10 mA
- Intervalo térmico: 32,0 – 176,0 OF.
- Tiempo de reacción: ≤ 5 segundos
- Tiempo de estabilización: ≤ 60 segundos
- Potencia del componente: 0,5 W detectable
- Intervalo de concentración: PHO-14
- Dimensiones: 2 mm x 32 mm x 20 mm
- Salida: Señal de voltaje análogo con orificios de montaje M3
- Contenido del paquete: módulo de sensor PHO-14; sonda de electrodo de PH Sensor hidropónico BNC interfaz.

Sensor de turbidez de agua



Figura 11. Sensor de turbidez de agua

Fuente: Tomado de [22]

El sensor de turbidez es el encargado de permitir la medición de la calidad del agua, este utiliza la unidad de medida referente a Unidades de Turbidez Nefelométricas (NTU). Internamente cuenta con un diodo con función infrarroja frente a un fotorresistor, esto permite efectuar la medición de la dispersión y transmisión de luz, de esta manera logra detectar las partículas que se encuentren suspendidas en el agua [22].

El sensor posee una salida analógica que varía con la cantidad de turbidez del agua y una salida digital que nos permite discriminar rápidamente agua limpia de agua sucia o turbia, para calibrar la sensibilidad de la salida digital se usa un potenciómetro que incorpora el módulo. Incluye un sensor y una tarjeta de acondicionamiento.

El sensor de turbidez se puede usar para medir la calidad de agua en piscinas, ríos, tanques de agua, muestras de agua en laboratorios, etc.

Sensor de luz con fotocelda LDR

Es un módulo de alta sensibilidad a la luz ambiente donde la salida arroja un nivel de medición alto cuando se supera el intervalo definido por el microcontrolador del dispositivo, de esta manera se puede crear un interruptor capaz de controlar la luminosidad [23].

Sensor de oxígeno disuelto

Este producto se utiliza para la medición de oxígeno disuelto dentro del agua. Se utiliza mayormente en muchas aplicaciones que indican la calidad del agua, como acuicultura, monitoreo ambiental, ciencias naturales, etc. [24].

1.3.9 Tecnologías para el desarrollo del prototipo

PlatformIO IDE

PlatformIO es una plataforma open source especializada en el desarrollo de entornos IoT. Esta herramienta automatiza las tareas tediosas como el manejo y actualización de las librerías necesarias, compatibilidad de librerías y manejo de dependencias [25].

Firestore

Es una plataforma que nos brinda la posibilidad de desarrollar aplicaciones web sin tener que escribir código en el servidor, lo que agiliza y simplifica el proceso de desarrollo. En su versión gratuita, cada nodo de firestore puede manejar hasta 100 conexiones por segundo [26].

Node.js

De acuerdo a [27] Node.js es una herramienta de código abierto que ofrece un ambiente de servidor. Es una solución que puede funcionar en diferentes sistemas operativos, como Windows, Linux, Unix y Mac OS X. Al mismo tiempo, permite el uso de JavaScript en el servidor, lo que lo hace una opción versátil y atractiva para los desarrolladores.

Nodemailer

“Es un módulo para aplicaciones node.js que permite el fácil envío de correos electrónicos” [28].

Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel de propósito general. Es un lenguaje pionero y más versátiles, porque permite desarrollar aplicaciones móviles, aplicaciones de escritorio, aplicaciones web, videojuegos y potencialmente especializado en el Deep learning y manejo de redes neuronales [29].

TensorFlow

En [30] se menciona que TensorFlow es un framework de código abierto propuesto por Google, especializado en la ejecución de operaciones matemáticas, por lo que se ha posicionado en el mercado como la herramienta líder en el ámbito del Deep learning. Permite abarcar todas las etapas de desarrollo de redes neuronales, desde la construcción hasta el entrenamiento.

OneWire

Es un protocolo de comunicación serial asincrónica propuesto por Dallas semiconductores. Facilita en gran medida la creación de prototipos y la implementación de hardware ya que utiliza un solo cable para el envío y recibo de datos [31].

Visual Studio Code

Es un editor de texto desarrollado por la empresa Microsoft. Incluye soporte para multitud de lenguajes, herramientas de depuración, corrección de sintaxis, autocompletado entre una gran variedad de plugins más que le agregan mayor facilidad para trabajar con cualquier lenguaje o entorno de programación [32].

La comunidad de Visual Studio Code desarrolla, implementa y mantiene los plugins y extensiones que el editor puede agregar, por lo que es uno de los principales editores en el mercado.

WIFI

Según Fulara, *et al.* [33] WiFi es una tecnología de red inalámbrica usada día a día que permite que dispositivos móviles inteligentes, portátiles, impresoras, cámaras de video, etc. interactúen con Internet. Además de permitir que estos dispositivos intercambien información entre sí, creando una red interconectada.

Lenguaje de programación C++

De acuerdo a Ahmadi M. y Qaisari H. [34] El lenguaje de programación C++ dispone de un modelo de memoria y computación de alto rendimiento. Además, proporciona mecanismos de abstracción flexibilizados y de gran potencia; es decir, construcciones de lenguaje que permiten al desarrollador la utilización de nuevos tipos de objetos que coincidan con los conceptos de una aplicación. Por lo tanto, C++ permite estilos de programación que se basan en la manipulación directa de recursos de hardware para la obtención de un grado de eficiencia elevado, además de estilos de programación de alto nivel que confían en los tipos definidos por el usuario para proporcionar un modelo de datos y computación más cercano a la visión humana de la tarea que realiza una computadora. Estos estilos de programación de alto nivel habitualmente son denominados datos de abstracción, desarrollo de software orientado a objetos y desarrollo genérico.

1.3.10 Plataforma de Hardware

Módulo ESP32

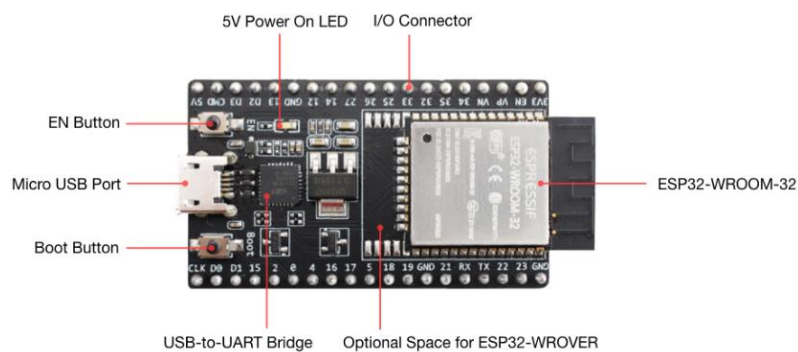


Figura 12. Módulo ESP32

Fuente: Tomado de [35]

Es una tarjeta de desarrollo compacta producida por Espressif que utiliza el chip ESP32. Para facilitar la conexión de periféricos, los pines de entrada y salida se encuentran dispuestos en cabezales en ambos lados de la placa. Los desarrolladores pueden conectar periféricos mediante cables de puente o utilizarla como placa de pruebas [35].

1.4. Antecedentes Contextuales

Según el reporte [36], hecho por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 95% de las actividades acuícolas pertenece a la cría de camarón de mar

(*Litopenaeus* spp.), en los últimos años, el cultivo de tilapia roja se ha posicionado en segundo lugar y el resto de exportaciones corresponden a peces de agua dulce y crustáceos.

El crecimiento de la actividad de cultivo de tilapia en el país fue incentivado especialmente por el brote de la patología del Síndrome de Taura, que tuvo afectación en aproximadamente 14 000 cultivos en la zona de Taura, perteneciente a la provincia de Guayas, en donde fueron abandonadas miles de hectáreas de cultivos camaróneros. De acuerdo a [36] Esta infraestructura de cultivo fue sustituida por la introducción de la tilapia roja. A partir del año 1995, se desarrolló el policultivo tilapia - camarón.

Según la cámara nacional de acuicultura (CNA) del Ecuador, en sus reportes estadísticos [1], el pico de la exportación de tilapia en el Ecuador ocurrió en el año 2007, en donde significó una entrada de \$77 013 521, alcanzando un precio de \$2.82 por libra.

Es notorio el impacto que tiene el cultivo de tilapia en la economía ecuatoriana y además es una importante actividad de producción de alimentos y materias primas de uso industrial y farmacéutico. Por tal motivo, se plantea desarrollar un sistema que sea capaz de realizar el monitoreo al ritmo de entrada de los datos de los parámetros determinantes en la calidad del agua de una piscina de cultivo de peces, con el fin de optimizar los procesos de crianza y disminuir el nivel de mortandad de los alevinos en las fases tempranas del ciclo de crianza.

1.4.1 Ámbito de aplicación

Debido el desarrollo de la tecnología es inevitable la innovación, el internet de las cosas está trascendiendo en gran medida en la red informática global, prediciendo que todos y todo estará conectado a internet en cuestión de tiempo, considerándose incluso como una evaluación automática de aprendizaje de máquina a máquina (M2M), y refiriéndose a la interconexión de cosas (televisores, sensores, actuadores, etc.) incluso para una red que funciona sin la intervención de las personas.

A nivel de Latinoamérica el cultivo de peces es una actividad de la cual depende la alimentación de muchas personas, y aún más con la disminución de la pesca tradicional a lo largo del tiempo. La idea general de la utilización de IoT en este prototipo es que se pueda llevar a cabo el monitoreo y alerta de la calidad del agua en los cultivos de peces, reduciendo el índice de mortalidad y contaminación por la aparición de patologías que afecten el sistema inmunitario de las especies,

permitiéndole al piscicultor eliminar gastos asociados al tratamiento de enfermedades, reducir el tiempo de producción y aumentar la calidad del cultivo.

1.4.2 Establecimiento de requerimientos

Con el avance del internet de las cosas, cada vez es más común implementar dichas tecnologías en diferentes sectores con la finalidad de optimizar recursos y automatizar los procesos tediosos y repetitivos. En el sector de la acuicultura, los piscicultores dependen de dispositivos de monitoreo que facilitan la medición de parámetros críticos para la supervivencia de larvas y/o alevines [37].

La solución propuesta apoya e incentiva la optimización del sector, implementando internet de las cosas para agilizar los procesos de monitoreo y crear medios de alerta para el ahorro de recursos y mejora del proceso. El piscicultor deberá visualizar en un dashboard y en tiempo real las mediciones de parámetros como: pH, turbidez y temperatura del agua. Los datos de los sensores serán cargados a la nube para acceder a ellos desde diferentes terminales de manera sincrónica. Luego, con los datos recolectados y clasificados, se pueden crear reportes para la notificación del estado de la calidad del agua que permita a los piscicultores determinar las acciones necesarias para mitigar el problema.

La información contenida en la **Tabla 5** se detalla los requerimientos principales que se esperan del prototipo del sistema:

Tabla 5. Requerimientos del prototipo

Requerimientos	Funcionalidad	Entrada	Salida
RQ1 Monitoreo de la temperatura del agua.	El prototipo debe ser capaz de poder medir la temperatura del agua de la piscina artificial.	Dato cuantitativo obtenido por el sensor DS18B20.	Visualización de los datos sensados en el dashboard, expresado en grados centígrados.
RQ2 Monitoreo del pH del agua.	El prototipo debe ser capaz de medir el nivel de pH del agua de la piscina artificial.	Dato cuantitativo obtenido por el sensor SEN0161.	Visualización de los datos sensados en el dashboard, expresado en una escala de 0 a 14.
RQ3 Monitoreo de la turbidez del agua.	El prototipo debe ser capaz de medir el nivel de turbidez del agua de la piscina artificial.	Dato cuantitativo obtenido por el sensor SEN0189	Visualización de los datos sensados en el dashboard, expresado en unidades nefelométricas de turbidez.

Requerimientos	Funcionalidad	Entrada	Salida
RQ4 Envío de los datos sobre la calidad del agua a la base de datos de Firestore.	El sistema debe enviar los datos capturados por los sensores a la base de datos Firestore.	Conjunto de datos obtenidos por los sensores sobre la calidad de agua.	Visualización de los datos capturados en la base de datos Firestore.
RQ5 Creación de un Dashboard.	El sistema es capaz de mostrar los datos capturados mediante gráficas representativas en un Dashboard visible a los usuarios del sistema.	Conjunto de datos registrados en la base de datos Firestore a través de la serialización de datos.	Página web con un dashboard que muestra gráficos representativos de los parámetros medidos en tiempo real.
RQ6 Estado de la calidad del agua y notificación.	El sistema es capaz de procesar datos y determinar alertas del estado de la calidad del agua al piscicultor.	Conjunto de datos obtenido de la base de datos Firestore en la nube.	Mensajes de notificación al piscicultor en tiempo real, a través de nodemailer.

CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

2.1. Definición del prototipo

Como menciona Mazón B. y Pan A. [38] “Existen varias arquitecturas, marcos de referencia o modelos conceptuales para IoT propuestos por organizaciones, comunidad académica y el sector empresarial”.

En el prototipo se utilizó el modelo de arquitectura basado en capas, en el cual se consideraron cuatro capas: percepción, red, servicio, y aplicación. En el contenido de la **Figura 13** se muestran los elementos que conforman cada una de las capas respectivamente.

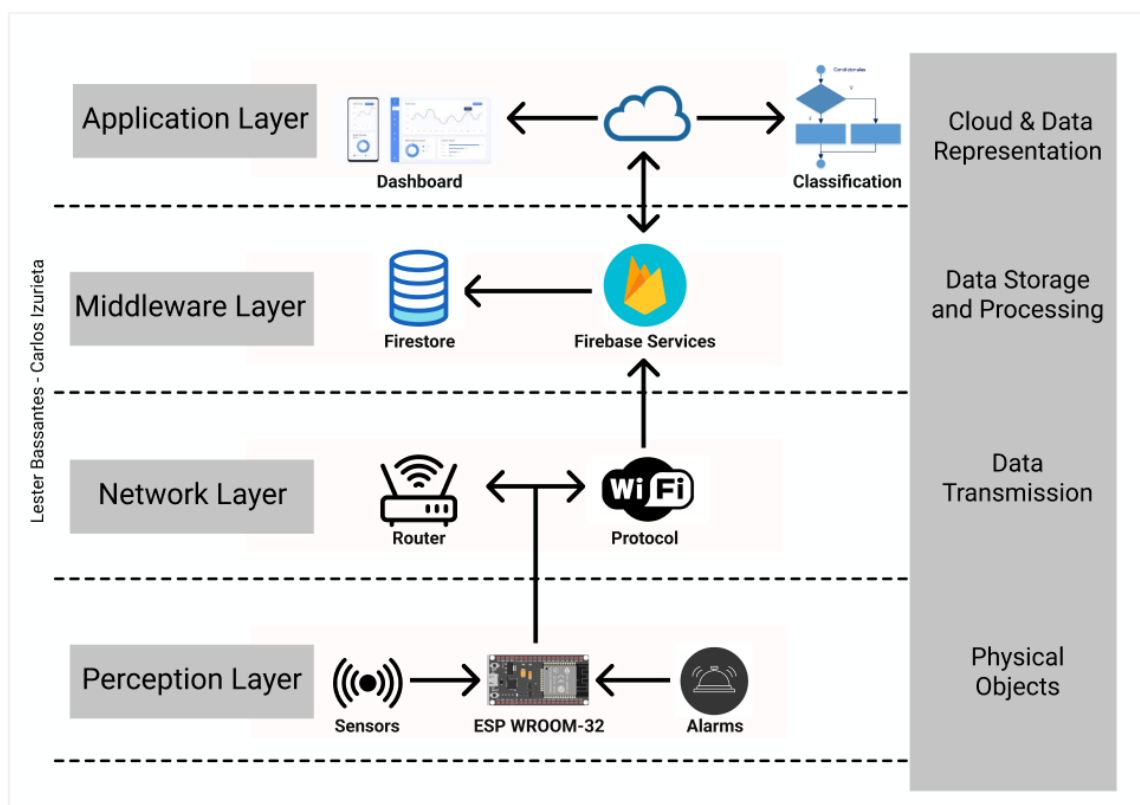


Figura 13. Arquitectura IoT basada en capas

En la capa de percepción se puede observar las alarmas, los sensores necesarios para la obtención de los datos de temperatura, turbidez y pH; y el ESP32 que permite conectar los dispositivos con el gateway. En la capa de red se definió un Router como dispositivo gateway encargado de conectar el hardware con los servicios y el protocolo de comunicación inalámbrica Wi-Fi. Luego en la capa de servicios se utiliza Firebase para la configuración y funcionamiento de los servicios de monitoreo y alerta. Finalmente, en la capa de aplicación se visualizan los datos a través de servicios de dashboard en la nube disponibles para dispositivos móviles y computadores, además en esta

capa se efectúa la clasificación de los datos agua para la notificación final al usuario sobre el estado de la calidad del agua.

2.2. Metodología de desarrollo del prototipo

2.2.1 Enfoque, alcance y diseño de investigación

El enfoque de investigación

El enfoque de investigación seleccionado fue el cuantitativo, se seleccionó este enfoque debido a que a través de este se puede llevar a cabo la estimación de las magnitudes del sistema de acuerdo a cada factor que influyen directamente en la calidad del agua del cultivo de peces, de esta manera se puede prever la aparición de patologías y mortalidad del cultivo.

El estudio se comenzó con un alcance de investigación descriptivo, en donde se busca recopilar información y datos para analizar si la calidad del agua en una piscina de cultivo afecta la crianza de los peces y en qué forma; posteriormente el estudio evoluciona a un alcance correlacional para identificar la relación entre los parámetros medidos y su influencia en la calidad del agua.

- **Descriptivo:** En nuestro estudio se realizaron constantemente mediciones de variables para determinar la calidad del agua de una piscina para el cultivo experimental de peces. Con los datos reunidos se puede establecer cuáles son los rangos nominales para determinar las condiciones de los parámetros y que permiten el crecimiento de la especie en cultivo.
- **Correlacional:** La recopilación de dichos datos sirvieron para identificar una relación entre las variables medidas y la calidad del agua, con la finalidad de que el sistema sea capaz de notificar al piscicultor el estado de los parámetros medidos.

El diseño de investigación fue cuasi-experimental porque se analizó el efecto en la producción de peces al intervenir los parámetros de la calidad del agua y determinar cuáles son los rangos o umbrales nominales más eficientes para la crianza de los peces y que asegure la supervivencia en las diferentes fases del proceso de producción.

2.2.2 Unidades de análisis

Población (universo)

Para la medición y análisis de las variables a medir, se trabajó con una piscina experimental de cultivo de peces, por lo que la población y muestra corresponderá a las mediciones realizadas para cada una de las métricas definidas.

Muestra

No se obtuvo una muestra ya que se trabajó con el total de la población.

En la **Tabla 6** se describe la población junto con las estimaciones de las mediciones, mientras que en el contenido de la **Tabla 7** se muestran los datos propios y externos totales resultantes de las estimaciones de la tabla anterior.

Tabla 6. Estimaciones de la población

Población	
Total, de parámetros a sensar	3
Nro. de mediciones de variables del agua por día	600
Días de experimentación	2
Estimación de datos externos	0
Total, de mediciones	1200

Tabla 7. Datos propios y externos

	Propios	Externos
Total, datos	1200	0

2.2.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

El estudio recopiló datos a través de sensores tradicionales (patrón) y del prototipo, que midieron en tiempo real los parámetros definidos. Además de la constante observación sistemática de los investigadores, definiendo previamente los aspectos a evaluar.

En la **Tabla 8** se detalla las principales técnicas de recopilación de datos utilizados en el estudio:

Tabla 8. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

Técnica	Instrumento
Observación sistematizada	Protocolo de recolección de datos de la calidad del agua mediante sensores.

En el apartado Anexos, como **Anexo 2** se encuentra la ficha de observación que se empleó para la observación sistematizada.

2.2.4 Técnicas de procesamiento de datos para la obtención de resultados

Con los datos recopilados a través del sensado con el patrón y el prototipo, y de acuerdo a los parámetros de la calidad del agua predefinidos, se aplicaron técnicas de estadística descriptiva para poder identificar el margen de error entre las mediciones con ambos tipos de sensores.

Los datos recopilados en las pruebas de latencia también son sujetos a análisis a través de la estadística descriptiva pero no son comparados con un patrón, ya que estos valores varían continuamente en relación a la tecnología implementada.

2.2.5 Metodología o métodos específicos

Metodología de programación extrema adaptada a IoT

La metodología de Programación Extrema (XP) es una metodología ágil muy reconocida y utilizada en el desarrollo de proyectos. Dicha metodología se adaptó a las necesidades de este proyecto y facilitó la realización de cambios en el transcurso del tiempo, además de permitir que se efectúen las pruebas necesarias para la comprobación de los objetivos del prototipo. Esta metodología consta de las siguientes fases:

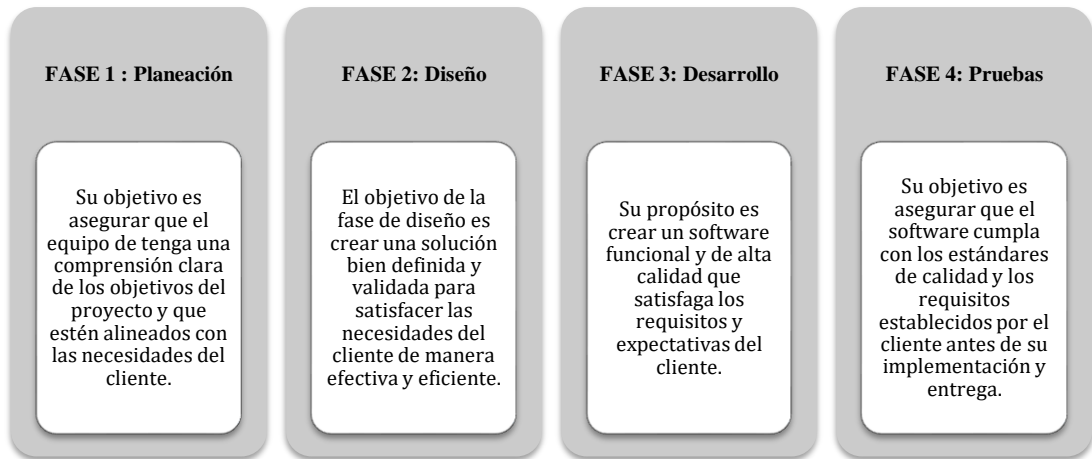


Figura 14. Fases de la metodología XP

2.2.6 Herramientas y/o Materiales

La información contenida en la **Tabla 9** detalla los instrumentos, herramientas y materiales que se usaron para llevar a cabo el presente estudio:

Tabla 9. Herramientas y/o materiales

Categoría	Herramienta y/o materiales
Software	PlatformIO Visual Studio Code
Hardware	Sensor de temperatura DS18B20 Sensor de pH GAOHOU PH0-14 Sensor de turbidez SEN0189 Router ESP-WROOM 32
Lenguajes	C/C++ NodeJS Java Script
Protocolos y/o servicios	Wi-Fi Firebase

2.3. Desarrollo del prototipo

Para el desarrollo del prototipo se implementó la metodología XP adaptada a una solución IoT en donde se combinaron actividades respecto a la construcción del prototipo y del sitio web en donde se puede monitorear y alertar sobre la calidad del agua.

2.3.1 FASE 1: Planeación

La etapa de planeación es la fase principal de la aplicación de la metodología XP, en esta fase se identifican el número de iteraciones y se realizan los ajustes principales para continuar con el avance del proyecto.

Roles del Equipo XP

La metodología define los roles que son necesarios para distribuir las cargas de trabajo del equipo.

Los roles que se establecen pueden ser cubiertos por uno o más integrantes, también es posible que un integrante ocupe más de un rol. En la **Tabla 10** se detalla quién realiza cada rol:

Tabla 10. Roles del equipo de trabajo

Rol	Descripción	Encargado
Usuario	Representa al usuario o propietario del producto, asumiendo la responsabilidad de definir y priorizar los requisitos y funcionalidades del producto.	Piscicultor
Programador	Es el encargado de escribir y mantener el código del producto, asegurando su calidad a través de pruebas unitarias y reorganización del código	Lester Bassantes Carlos Izurieta
Tester	Se enfoca en asegurar la calidad del producto, llevando a cabo pruebas manuales y automatizadas, y proporcionando retroalimentación al equipo sobre la calidad del producto.	Lester Bassantes Carlos Izurieta
Tracker	Es responsable de administrar el backlog de requisitos y funcionalidades del producto, garantizando que se realicen las tareas necesarias dentro del tiempo establecido.	Carlos Izurieta
Entrenador	Se encarga de ayudar al equipo a mejorar su eficiencia y calidad a través de la capacitación y mentoría en las prácticas y técnicas de XP.	Dixys Hernández

Historias de usuarios

En el contenido de la **Tabla 11** se detallan las historias de usuarios, en donde se identifican los avances que se desarrollan en cada iteración y los involucrados en cada una:

Tabla 11. Resumen de historias de usuarios

ID	Como un/una	Quiero	Para que	Prioridad
HU1	Piscicultor/Encargado de mantenimiento	Tomar las mediciones de la temperatura del agua	Para proporcionar los datos de los parámetros al sistema	Baja
HU2	Piscicultor/Encargado de mantenimiento	Tomar las mediciones del pH del agua	Para proporcionar los datos de los parámetros al sistema	Baja
HU3	Piscicultor/Encargado de mantenimiento	Tomar las mediciones de la turbidez del agua	Para proporcionar los datos de los parámetros al sistema	Baja
HU4	Piscicultor/ Encargado de la calidad del agua	Acceder al registro de los datos de los sensores en tiempo real	Para analizar posibles patrones de los parámetros evaluados	Media
HU5	Piscicultor/Encargado de la calidad del agua	Iniciar sesión en el sistema	Identificarme como usuario y ver la información	Alta
HU6	Piscicultor/Encargado de la calidad del agua	Ver gráficamente el estado de los parámetros de calidad del agua de manera continua	Conocer el estado de los parámetros del cultivo de peces en tiempo real	Alta
HU7	Piscicultor/Encargado del cuidado de los peces	Que se me notifique de manera temprana el estado de la calidad del agua	Actuar rápidamente si ocurre un problema en la calidad del agua que afecte el bienestar y salud de los peces	Alta

Plan de iteraciones

A partir de la tabla anterior, en la **Tabla 12** se muestra el plan de iteraciones basado en la prioridad de cada historia de usuario:

Tabla 12. Plan de iteraciones

Iteración	Orden de las historias de usuario	Duración
1ra iteración	HU5, HU6, HU7	4 semanas
2da iteración	HU4	3 semanas
3ra iteración	HU1, HU2, HU3	3 semanas

En la primera iteración, se planifican las historias de usuario HU5, HU6 y HU7 para ser desarrolladas en un plazo de 4 semanas. En la segunda iteración, se planifica la historia de usuario HU4, que se desarrollará en un plazo de 3 semanas. En la tercera iteración, se planifican las historias de usuario HU1, HU2 y HU3 para ser desarrolladas en un plazo de 3 semanas.

Se puede observar que las historias de usuario se agrupan y se asignan a iteraciones específicas en función de su prioridad y complejidad. Además, las iteraciones se planifican para que sean relativamente cortas, con una duración de entre 3 y 4 semanas, lo que permite una entrega frecuente de trabajo y una retroalimentación continua en el equipo.

2.3.2 FASE 2: Diseño

En la **Figura 15** se muestra el diagrama de conexiones de los sensores de pH (1), temperatura (2) y turbidez (3). Estos dispositivos cuentan con tres pines cada uno principalmente (alimentación, masa o tierra, entrada/salida de datos) estos pines se conectan al módulo ESP-32 (4) ubicado en el centro del circuito.

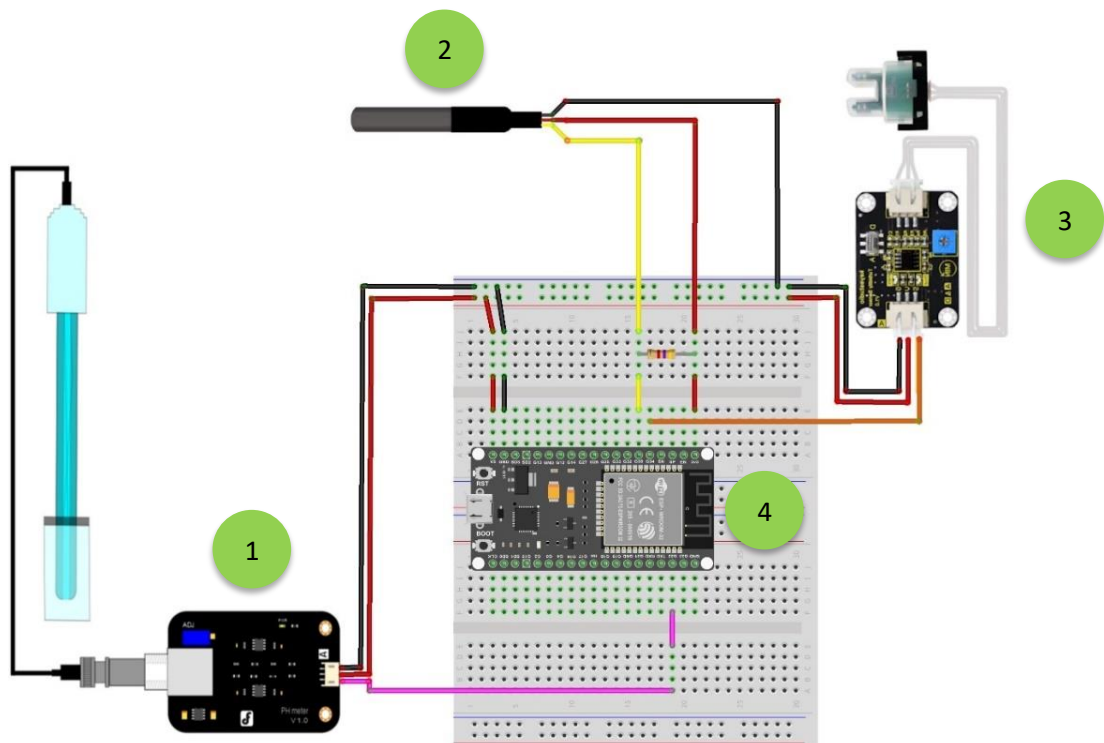


Figura 15. Diagrama circuital del nodo de sensores (capa de percepción)

En la **Figura 16** se muestra el diagrama de conexiones del nodo actuadores, conformado por una bocina de sonido (1) que se encenderá al mismo tiempo que se active el led rojo (2) cuando ocurra un efecto negativo sobre la calidad del agua. El circuito también cuenta con un bus de conexiones al módulo del microcontrolador ESP32 (3).

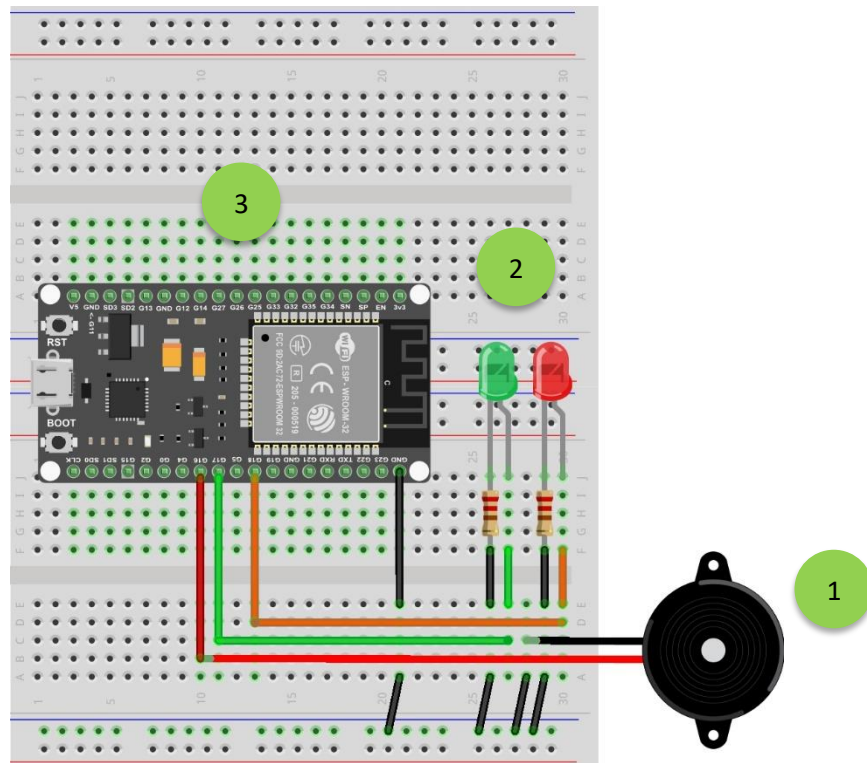


Figura 16. Diagrama circuital del nodo de actuadores (capa de percepción)

En la **Figura 17** se puede observar el diseño del Gateway donde se utilizó un router como dispositivo principal de enlace, el cual se comunica bidireccionalmente con los flujos que contienen el API REST y formato de serialización de datos que permiten el envío y recepción de datos de manera inalámbrica para sensar y alertar en la capa de dispositivos. Finalmente, a través del Gateway se puede generar el registro a la base de datos Firestore y posterior visualización en la página web que contiene el dashboard desde donde se notifica al usuario cuando ocurra una variación de los parámetros que afecte la calidad del agua.

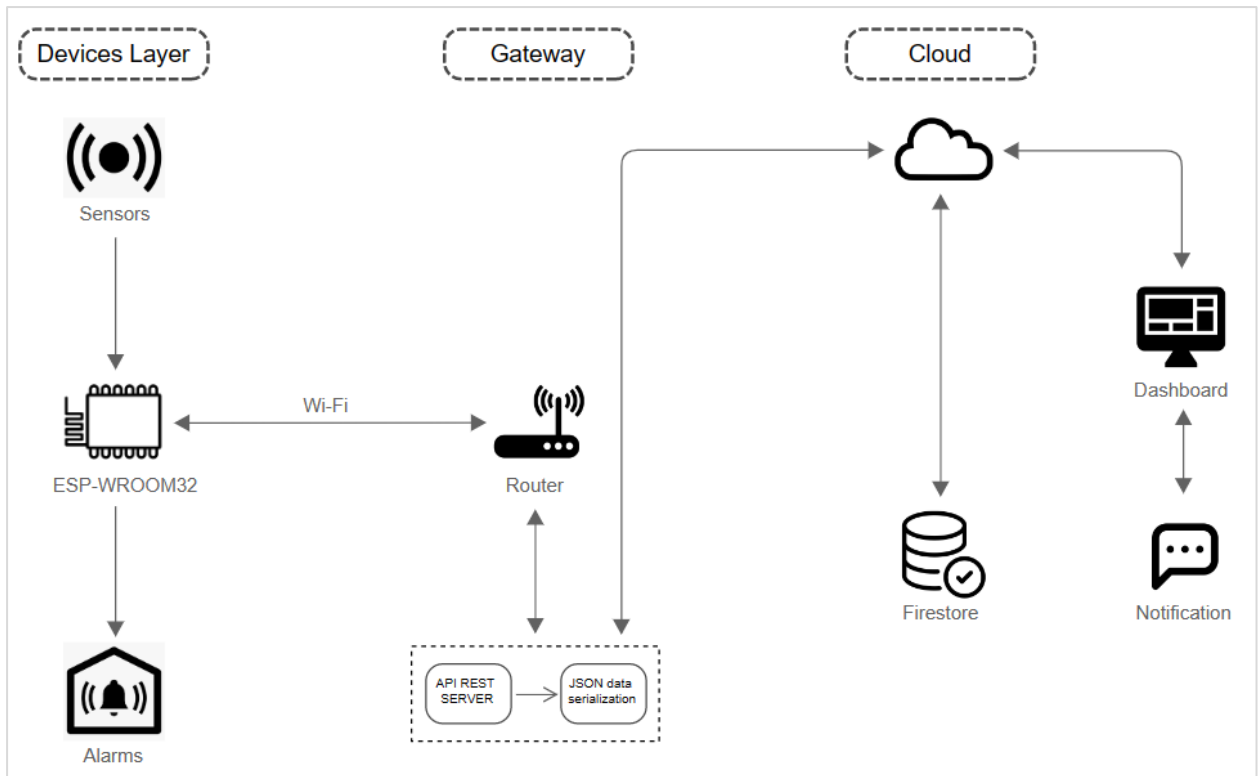


Figura 17. Diseño del Gateway (capa de red y software intermedio)

Diseño de la Interfaz

En la **Figura 18**, se muestra el prototipo del dashboard en donde se pueden monitorear las salidas del sistema respecto a los parámetros de temperatura, turbidez, pH. Cuenta también con un histograma de datos e historial de los registros.

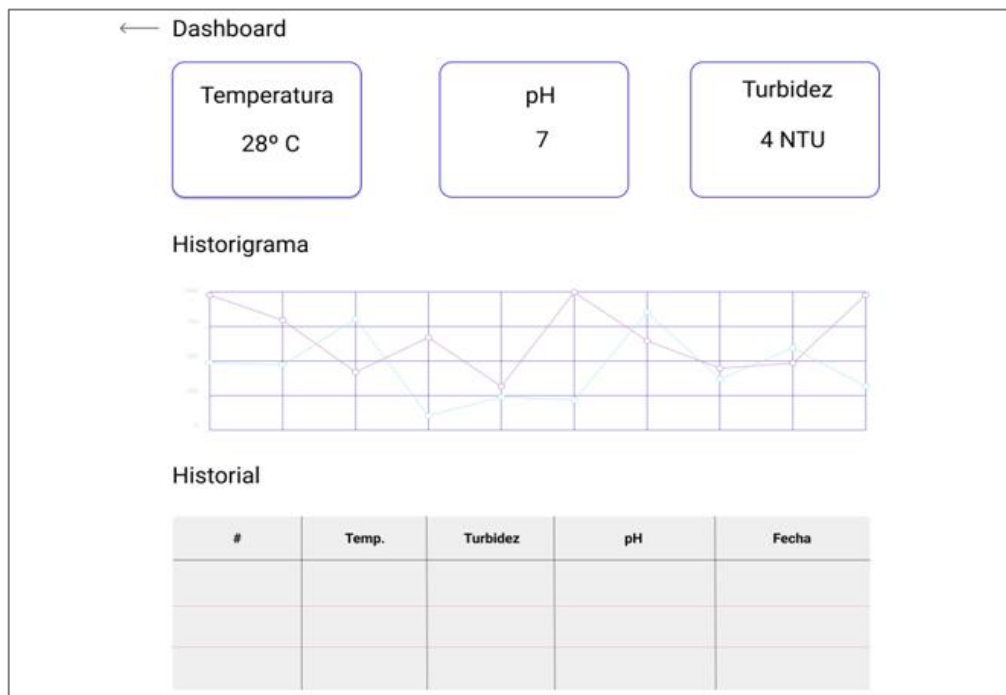


Figura 18. Interfaz del Dashboard en Grafana (capa de aplicación)

En la **Figura 19** se encuentra la interfaz móvil con la que dispondrá el usuario para la visualización de los parámetros que determinan la calidad del agua adaptándose de mejor manera a cualquier lugar en donde el usuario se encuentre.

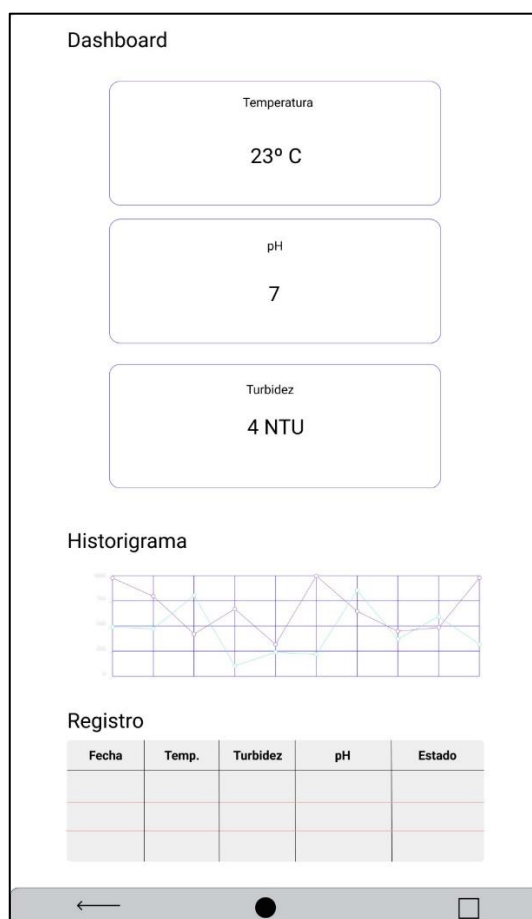


Figura 19. Interfaz móvil

2.3.3 FASE 3: Desarrollo

En esta fase se describe lo que se llevó a cabo en el resumen de las historias de usuario como parte de la consolidación de la metodología, como se muestra a continuación:

Historias de usuario

Tabla 13. Plantilla historia de usuario

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
1	Nuevo	Fácil	Fácil	10	20	Media
	Arreglo	Moderada	Moderada			

	Mejora	Difícil	Difícil			
Nombre: Nombre de la Historia de usuario.						
Descripción: Agregar descripción.						

- En el campo de ID se asigna un número o código que permite identificar y distinguir cada una de las HU que se han definido en el proyecto.
- En el campo tipo permite definir el tipo de actividad que se va a detallar en cada HU, y puede ser la implementación de un nuevo requerimiento, la corrección o mejora de uno ya existente.
- En el campo dificultad se especifica el nivel de complejidad que conlleva la implementación de un requerimiento para el equipo de desarrollo.
- En el campo de esfuerzo se especifica la cantidad de horas que el equipo de desarrollo deberá invertir para implementar el requerimiento en cuestión.
- En el campo de prioridad se debe incluir un valor que indique la relevancia del requerimiento para el proyecto en cuestión.
- El campo de nombre debe contener el nombre de la historia de usuario.
- El campo descripción corresponde al nombre de la historia de usuario que se está trabajando, mientras que en el campo inferior se detalla la funcionalidad específica que se va a implementar. Además, se pueden incluir posibles escenarios de éxito o fallo que puedan surgir en relación a esta funcionalidad.

Seguidamente se muestran las historias de usuario detalladas pertenecientes a las distintas áreas de interés indicadas en la sección de planeación.

Tabla 14. Historia de usuario mediciones de la temperatura del agua

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
1	Nuevo	Fácil	Fácil	10	15	Baja
	Arreglo	Moderada	Moderada			
	Mejora	Difícil	Difícil			
Nombre: Mediciones de la temperatura del agua.						

Descripción: Como piscicultor/encargado de mantenimiento quiero tomar las mediciones de la temperatura del agua para proporcionar los datos de los parámetros al sistema.

1. **Éxito:** Correcto funcionamiento del sensor de temperatura y su calibración.
2. **Fallo:** Incorrecto funcionamiento del sensor de temperatura y su calibración.

Tabla 15. Historia de usuario mediciones del pH del agua

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
2	Nuevo	Fácil	Fácil	10	15	Baja
	Arreglo	Moderada	Moderada			
	Mejora	Difícil	Difícil			

Nombre: Mediciones del pH del agua.

Descripción: Como piscicultor/encargado de mantenimiento quiero tomar las mediciones del pH del agua para proporcionar los datos de los parámetros al sistema.

1. **Éxito:** Correcto funcionamiento del sensor de pH y su calibración.
2. **Fallo:** Incorrecto funcionamiento del sensor de pH y su calibración.

Tabla 16. Historia de usuario mediciones de la turbidez del agua

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
3	Nuevo	Fácil	Fácil	10	15	Baja
	Arreglo	Moderada	Moderada			
	Mejora	Difícil	Difícil			

Nombre: Mediciones de la turbidez del agua.

Descripción: Como piscicultor/encargado de mantenimiento quiero tomar las mediciones de la turbidez del agua para proporcionar los datos de los parámetros al sistema.

1. **Éxito:** Correcto funcionamiento del sensor de turbidez y su calibración.
2. **Fallo:** Incorrecto funcionamiento del sensor de turbidez y su calibración.

Tabla 17. Historia de usuario registro de los datos de los sensores en tiempo real

ID	Tipo	Dificultad	Esfuerzo	Prioridad
----	------	------------	----------	-----------

		Antes	Después	Estimado	Gastado	
4	Nuevo Arreglo Mejora	Fácil Moderada Difícil	Fácil Moderada Difícil	15	25	Media
Nombre: Registro de los datos de los sensores en tiempo real.						
Descripción: Como piscicultor/ encargado de la calidad del agua quiero acceder al registro de los datos de los sensores en tiempo real para analizar posibles patrones de los parámetros evaluados.						
<ol style="list-style-type: none"> Éxito: Correcto envío de datos a la base de datos en formato y tiempo establecido. Fracaso: Incorrecto envío de datos a la base de datos en formato y tiempo establecido. 						

Tabla 18. Historia de usuario inicio de sesión en el sistema

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
5	Nuevo Arreglo Mejora	Fácil Moderada Difícil	Fácil Moderada Difícil	15	25	Alta
Nombre: Inicio de sesión en el sistema.						
Descripción: Como piscicultor/encargado de la calidad del agua quiero iniciar sesión en el sistema para identificarme como usuario y ver la información.						
<ol style="list-style-type: none"> Éxito: El usuario logra acceder con sus credenciales al dashboard. Fracaso: El usuario no logra acceder con sus credenciales al dashboard. 						

Tabla 19. Historia de usuario estado de los parámetros de calidad del agua

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
6	Nuevo Arreglo Mejora	Fácil Moderada Difícil	Fácil Moderada Difícil	20	40	Alta
Nombre: Estado de los parámetros de calidad del agua de manera continua.						

<p>Descripción: Como piscicultor/encargado de la calidad del agua quiero ver gráficamente el estado de los parámetros de calidad del agua de manera continua para conocer el estado de los parámetros del cultivo de peces en tiempo real.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Éxito: Correcta visualización de los datos y su captura en tiempo real. 2. Fracaso: Incorrecta visualización de los datos y su captura en tiempo real.
--

Tabla 20. Historia de usuario notificación del estado de la calidad del agua

ID	Tipo	Dificultad		Esfuerzo		Prioridad
		Antes	Después	Estimado	Gastado	
7	Nuevo	Fácil	Fácil	10	20	Alta
	Arreglo	Moderada	Moderada			
	Mejora	Difícil	Difícil			
<p>Nombre: Notificación del estado de la calidad del agua.</p> <p>Descripción: Como piscicultor/encargado del cuidado de los peces quiero que se me notifique de manera temprana el estado de la calidad del agua para actuar rápidamente si ocurre un problema en la calidad del agua que afecte el bienestar y salud de los peces.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Éxito: Se notifica oportunamente del estado de la calidad del agua según las mediciones al piscicultor. 2. Fracaso: No se notifica oportunamente del estado de la calidad del agua según las mediciones al piscicultor. 						

2.4 Ejecución del prototipo

El proceso comienza con el encendido del prototipo tecnológico en el escenario de aplicación “Laboratorio de maricultura de la Universidad Técnica de Machala”, de la siguiente manera:

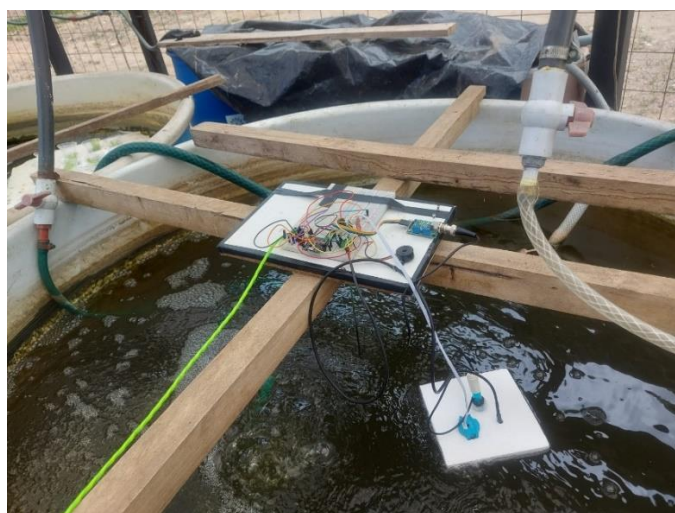


Figura 20. Prototipo en el escenario de aplicación

El proceso comienza en la ventana de acceso del sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua, donde será necesario ingresar las credenciales correspondientes para el ingreso.

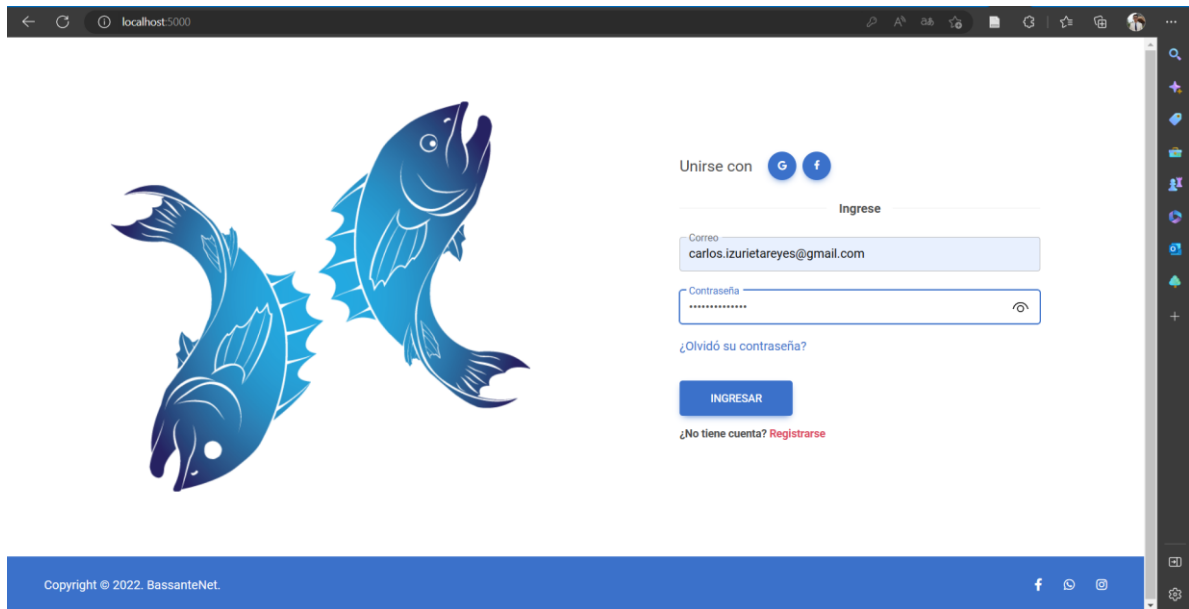


Figura 21. Página de inicio de sesión

La página de inicio de sesión cuenta con varias opciones para obtener acceso, autenticación por medio de cuentas de Google Accounts y Facebook que cuentan con cifrado SSL, para proteger la información transmitida entre los sistemas de terceros y sus servidores. Asimismo, el cifrado SSL ayuda a garantizar que la información esté protegida contra la interceptación y el robo de datos mientras se transmite a través de la red.

Para el inicio de sesión por medio de Gmail emerge la siguiente ventana:

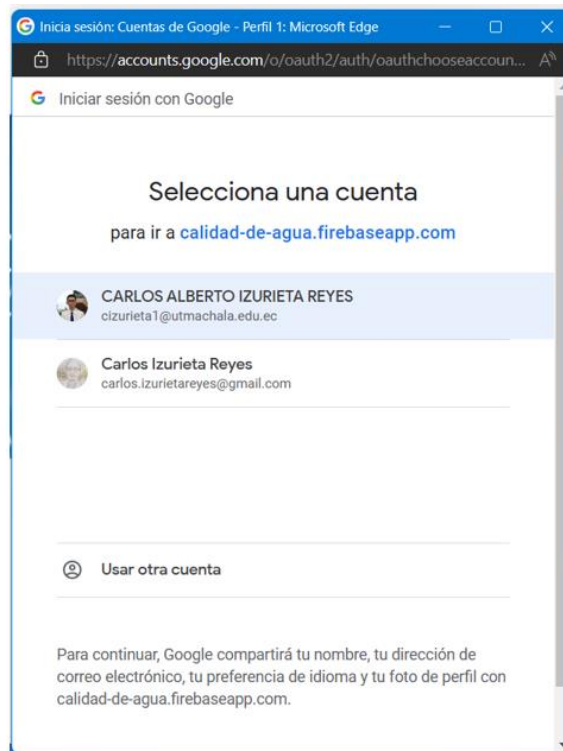


Figura 22. Inicio de sesión con Google Accounts

Para el inicio de sesión por medio de Facebook emerge la siguiente ventana.

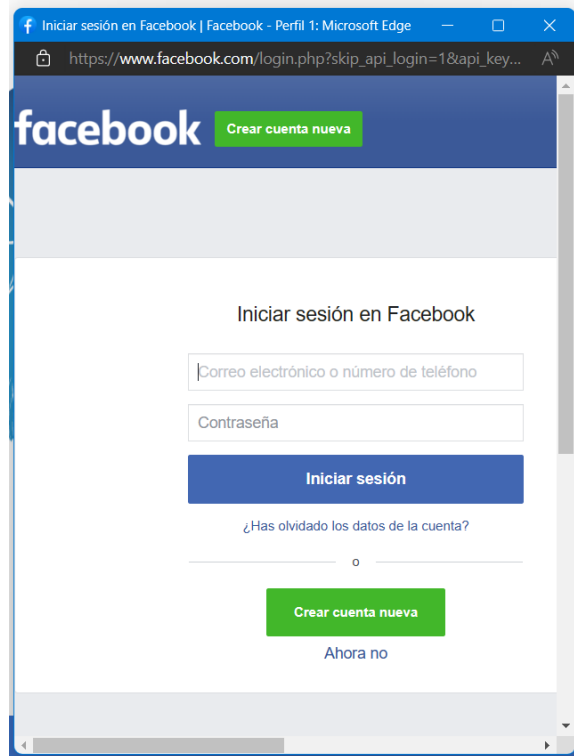


Figura 23. Inicio de sesión con Facebook

La página principal también contiene la opción de registro en donde se debe ingresar un correo y contraseña validos por el sistema para acceder crear el registro y acceder al sistema mediante el formulario de la página de inicio de sesión, como se muestra a continuación:

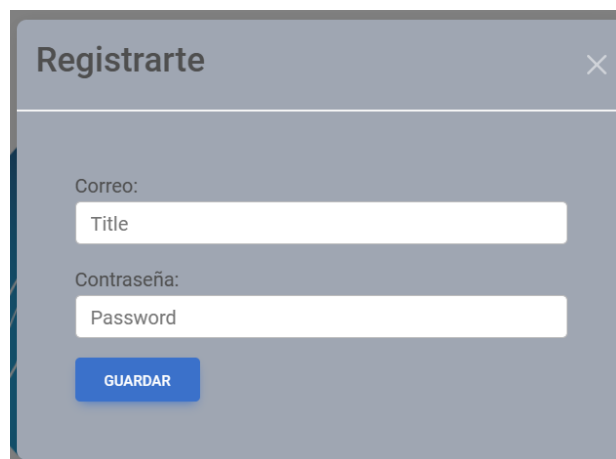


Figura 24. Ventana de registro

La identificación de los usuarios mediante cuentas de Google Accounts, Facebook y de registro se visualiza en la base de datos de firebase como se observa en la siguiente figura:

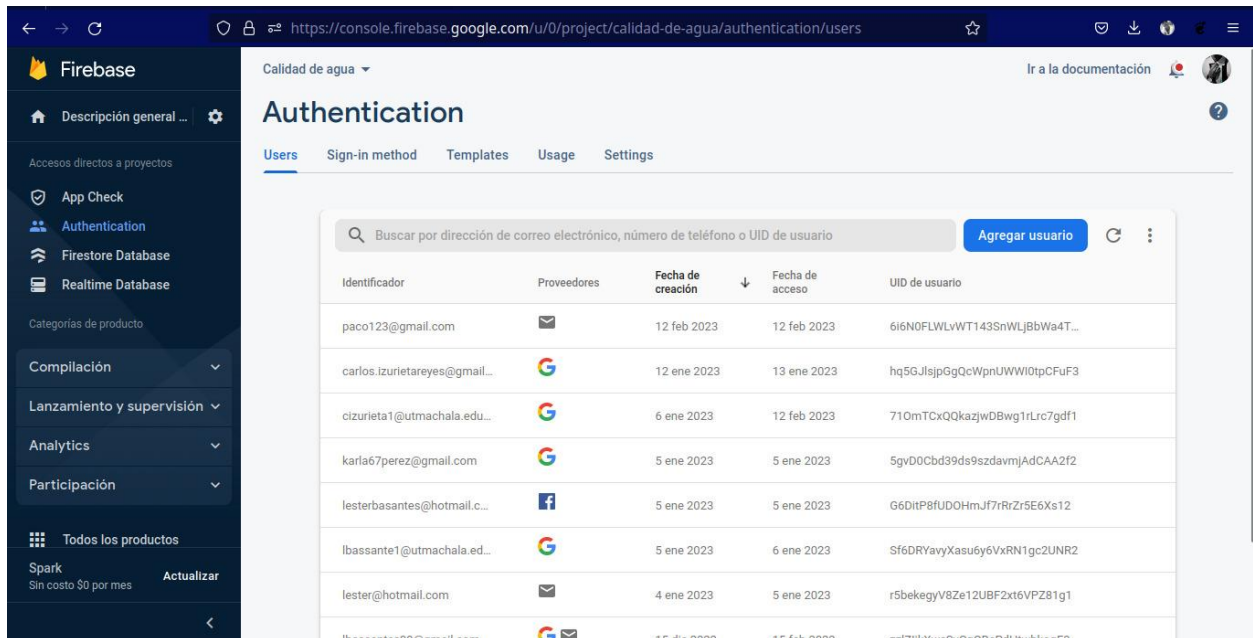


Figura 25. Registro de usuarios en firebase

Poniendo en marcha todos los servicios del prototipo se comienzan a capturar los datos en la base de datos Firestore, los mismos que servirán para ser transmitidos a la página del dashboard. Los datos registrados en la ejecución de la base de datos se muestran de la siguiente manera:

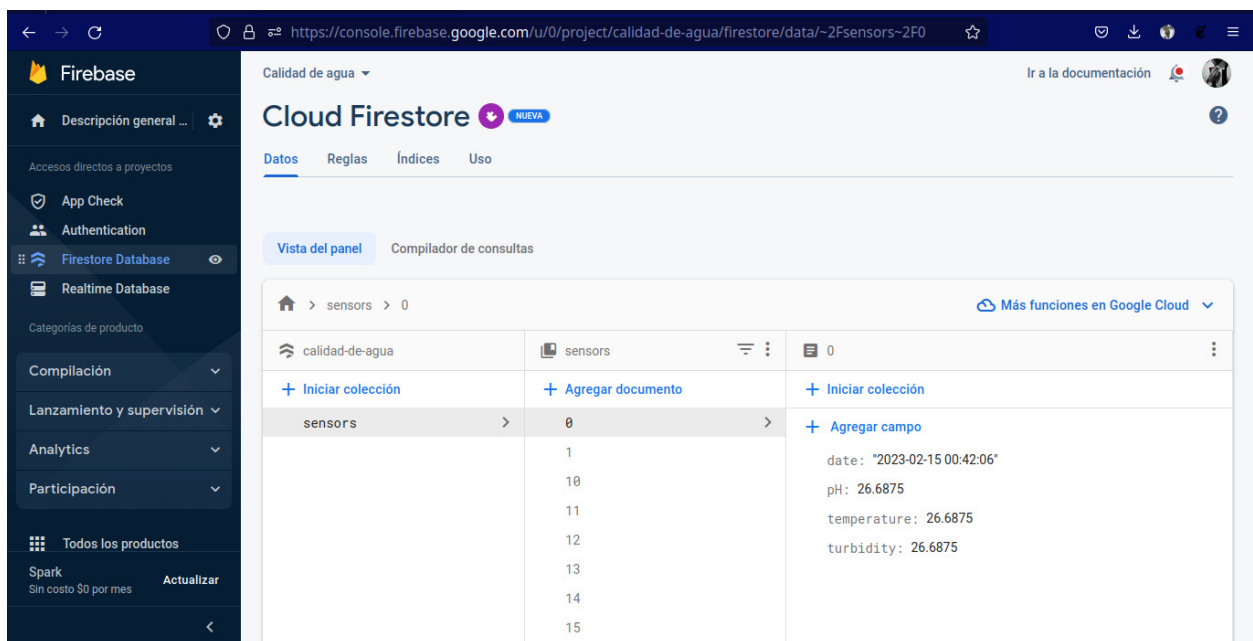


Figura 26. Registro de los datos sensados en firebase

El dashboard del sistema mostrará los indicadores clave de rendimiento del sistema registrados en de la base de datos, en tiempo real en cada uno de los parámetros referentes a temperatura, pH y turbidez respectivamente.



Figura 27. Indicadores claves del dashboard

Asimismo, el dashboard mostrará en un gráfico de líneas para cada parámetro de la calidad del agua, con las mediciones realizadas en cada intervalo de tiempo de manera ininterrumpida y por el cual se podrá identificar las variables de las métricas.



Figura 28. Gráfico de líneas del dashboard

Al desplegarse hacia la parte inferior del dashboard se puede visualizar el historial de las mediciones de cada parámetro y la información del intervalo en el cual fueron capturadas.

#	Temperatura	pH	Turbidez	Fecha
1	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 01:03:06
2	26.4375	26.5	26.5	2023-02-15 01:02:06
3	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 01:01:06
4	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 01:00:06
5	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 00:59:06
6	26.5	26.5	26.5625	2023-02-15 00:58:06
7	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 00:57:06
8	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 00:56:06
9	26.5	26.5	26.5	2023-02-15 00:55:06
10	26.5	26.5625	26.5625	2023-02-15 00:54:06
11	26.5625	26.5625	26.5625	2023-02-15 00:53:06
12	26.5625	26.5625	26.5625	2023-02-15 00:52:06
13	26.5625	26.625	26.625	2023-02-15 00:50:06
14	26.5625	26.5625	26.5625	2023-02-15 00:49:06
15	26.5625	26.625	26.625	2023-02-15 00:48:06

Figura 29. Historial de mediciones del dashboard

Finalmente, cuando ocurre una anomalía en uno de los parámetros de calidad del agua y que puede perjudicar el bienestar del cultivo, en base a los umbrales de peligro establecidos se clasifica la data entrante y se identifica el problema para la notificación al piscicultor.

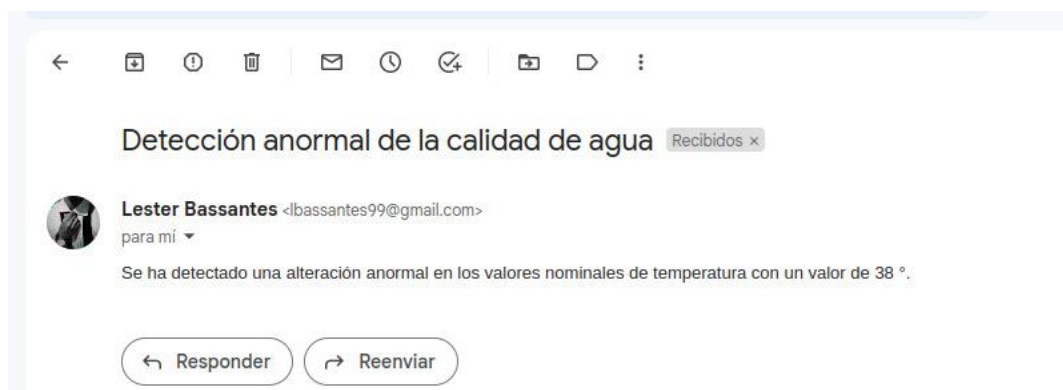


Figura 30. Notificación vía email al usuario

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

3.1 Plan de evaluación

3.1.1 Objetivo

Evaluar los objetivos específicos planteados en el trabajo de integración curricular a través de la metodología Extreme Programming adaptada para la determinación del nivel de satisfacción del prototipo en base a los resultados obtenidos.

3.1.2 Cronograma

El cronograma de actividades se ajustó a tres semanas, partiendo desde el segundo día de la semana 11 hasta el primer día de la semana 13, como se puede observar en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Cronograma del plan de evaluación

ACTIVIDADES	SEGUNDO HEMISEMESTRE 2022-2														
	Semana 11					Semana 12					Semana 13				
	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V
1. Diseño de las pruebas por objetivo, definiendo métricas y escenarios.															
2. Crear los escenarios de prueba.															
3. Definir materiales hardware y software necesarios para hacer las pruebas.															
4. Hacer los ajustes necesarios en el firmware del mote y del servidor (firebase) según las métricas deseadas.															
5. Realizar las pruebas diseñadas, recolectando datos de los mismos.															
6. Análisis de los resultados por métrica.															
7. Tabulación y gráficos con estadísticas o determinar calidad de las mediciones comparando con algún patrón.															

3.1.3 Proceso/Pasos

El propósito de incorporar pruebas de aceptación en la metodología XP es satisfacer las expectativas del cliente con respecto al sitio web. Los piscicultores del laboratorio de maricultura

de la Universidad Técnica de Machala hacen uso del prototipo y brindan la retroalimentación respectiva en base al cumplimiento de las funcionalidades indicadas en las historias de usuario en la fase de planificación, de esta manera verifican cada una de las pruebas. Las pruebas de aceptación están limitadas a los conocimientos de los usuarios, por ello, no en todas las historias de usuarios se cuenta con una prueba de aceptación como en el caso del inicio de sesión.

Dentro de la metodología XP existe una fase llamada Pruebas o evaluación en la cual se encuentran las pruebas de aceptación. En este sentido, el desarrollo de las pruebas será la siguiente:

- a) Efectuar las respectivas pruebas de aceptación en la semana 12 a los usuarios del laboratorio de maricultura a cargo del estudio del cultivo experimental de peces.
- b) La documentación y la estructuración de las pruebas de aceptación para determinar el porcentaje de éxito.

Con el fin de registrar las pruebas de aceptación, se ha desarrollado un formulario que incluye las pruebas correspondientes a las funciones de cada persona en el equipo, de acuerdo a su rol en el proceso. En la **Tabla 22**, se muestra el número de personas que forman parte del equipo y la cantidad de pruebas que se realizarán en cada área:

Tabla 22. Equipo del laboratorio de maricultura

Equipo del laboratorio de maricultura		
Área	N° de personas	N° de pruebas
Piscicultor/Encargado de mantenimiento	1 persona	2 prueba
Piscicultor/Encargado de la calidad del agua	1 personas	2 prueba
Piscicultor/Encargado del cuidado de los peces	1 persona	2 prueba
Total:	3 personas	6 pruebas

3.1.4 Actividades

El plan de evaluación se alinea con los procesos descritos en la sección anterior y, en consecuencia, se llevarán a cabo una serie de actividades que se incluyen en la **Tabla 23**:

Tabla 23. Actividades detalladas para realizar las pruebas diseñadas

Actividades de acuerdo a los requerimientos	Objetivos de la prueba	Métricas
Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.	Evaluar el correcto funcionamiento de los sensores y su calibración.	- Error relativo de la medición de temperatura. - Error relativo de la medición de pH. - Error relativo de la medición de turbidez.
Envío de datos a la base de datos Firestore.	Evaluar el correcto envío de datos a la base de datos en formato y tiempo establecido.	- Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se toma la medición hasta que llega al servidor.
Creación del Dashboard.	Evaluar la correcta visualización de los datos y su captura en tiempo real.	- Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se toma la medición hasta que se muestra en el dashboard.
Estado de la calidad del agua y notificación.	Verificar el estado de la calidad del agua según las mediciones para la notificación oportuna al piscicultor.	- Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se enciende el sistema local de alerta hasta que se notifica al usuario.

Cada prueba de aceptación se encuentra asociada a una determinada área de actividad y requiere que los usuarios realicen pruebas específicas de acuerdo a su rol. En el contenido de la **Tabla 24**, se organizan las pruebas de aceptación de acuerdo a las diferentes áreas a las que pertenecen:

Tabla 24. Pruebas de aceptación por área

Nombre de la prueba de aceptación	Área
Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.	Mantenimiento
Envío de datos a la base de datos Firestore.	Calidad del agua
Creación del Dashboard.	
Estado de la calidad del agua y notificación.	Cuidado de peces

3.1.5 Resultados esperados

Los resultados del plan de evaluación dependerán del cumplimiento de las actividades previamente mencionadas en la sección anterior. Para obtener los resultados esperados del plan de evaluación, es necesario que se realicen y completen todas las actividades establecidas en la sección anterior.

En la **Tabla 25** se muestra una plantilla para cada una de las historias de usuario propuestas con el fin de recopilar las pruebas de aceptación correspondientes. La plantilla establecida se utilizará para llevar a cabo la recolección de las pruebas de aceptación de manera organizada y sistemática.

Tabla 25. Plantilla de prueba de aceptación

Caso de prueba de aceptación N°1	
ID de historia de usuario	HU1, HU2, HU3
Nombre	Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.
Descripción del paquete de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar el prototipo por fuera de la piscina de cultivo (módulos de medición, plataforma de hardware, etc.) • Ubicar las sondas de medición sobre la superficie acuosa de la piscina de cultivo. • Encender el prototipo y compilar el programa en el esp32. • Hacer los ajustes necesarios hasta que los sensores estén calibrados. • Visualizar los datos medidos en la consola del programa. • Tomar mediciones del patrón. • Obtener el error relativo de cada sensor utilizado en el prototipo, con la siguiente fórmula: $\text{error relativo} = (\text{valor medido} - \text{valor patrón}) / \text{valor patrón} * 100\%$
Criterios de aceptación	Evaluar el correcto funcionamiento de los sensores y su calibración.
Supuestos y restricciones	Seguir el cronograma establecido. No sobrepasar el tiempo establecido.
Hitos y duración	Fecha de inicio: 30/01/2023 Fecha de culminación: 03/02/2023
Responsables	Carlos Izurieta Lester Bassantes
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> • Error relativo de la medición de temperatura. • Error relativo de la medición de pH. • Error relativo de la medición de turbidez.
Dependencias	Antes de este paquete de trabajo: Ninguna

Caso de prueba de aceptación N°1	
	Después de este paquete de trabajo: Envío de datos a la base de datos Firestore.
Fecha límite de vencimiento	03/02/2023

3.2 Resultados de la evaluación

La evaluación del prototipo arrojó un conjunto de 6 pruebas de aceptación que cumplieron con todas las historias de usuario previamente propuestas en la sección correspondiente. De esta manera, se ha verificado que el prototipo cumple con los requisitos y funcionalidades esperadas.

Tabla 26. Prueba de aceptación N°1

Caso de prueba de aceptación N°1	
ID de historia de usuario	HU1, HU2, HU3
Nombre	Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.
Descripción del paquete de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar el prototipo por fuera de la piscina de cultivo (módulos de medición, plataforma de hardware, etc.) • Ubicar las sondas de medición sobre la superficie acuosa de la piscina de cultivo. • Encender el prototipo y compilar el programa en el esp32. • Hacer los ajustes necesarios hasta que los sensores estén calibrados. • Visualizar los datos medidos en la consola del programa. • Tomar las mediciones del patrón con: <ul style="list-style-type: none"> ○ Un multiparámetro digital. ○ Un pHmetro ○ Un TDS tester • Obtener el error relativo de cada sensor utilizado en el prototipo, con la siguiente fórmula: $\text{error relativo} = (\text{valor medido} - \text{valor patrón}) / \text{valor patrón} * 100\%$
Criterios de aceptación	Evaluar el correcto funcionamiento de los sensores y su calibración.
Supuestos y restricciones	Seguir el cronograma establecido. No sobrepasar el tiempo establecido.
Hitos y duración	Fecha de inicio: 30/01/2023 Fecha de culminación: 03/02/2023
Responsables	Carlos Izurieta Lester Bassantes
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> • Error relativo de la medición de temperatura. • Error relativo de la medición de pH.

Caso de prueba de aceptación N°1	
	<ul style="list-style-type: none"> Error relativo de la medición de turbidez.
Dependencias	<p>Antes de este paquete de trabajo: Ninguna</p> <p>Después de este paquete de trabajo: Envío de datos a la base de datos Firestore.</p>
Fecha límite de vencimiento	03/02/2023

Tabla 27. Prueba de aceptación N°2

Caso de prueba de aceptación N°2	
ID de historia de usuario	HU4
Nombre	Envío de datos a la base de datos Firestore.
Descripción del paquete de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Acceder a la base de datos de Firestore y limpiar el registro de los datos. Enviar conjuntos de datos desde los sensores hacia la base de datos firestore en intervalos de tiempo de un minuto. Verificar que los datos se almacenen en la base de datos en formato json y en tiempo real.
Criterios de aceptación	Evaluar el correcto envío de datos a la base de datos en formato y tiempo establecido.
Supuestos y restricciones	<p>Seguir el cronograma establecido.</p> <p>No sobrepasar el tiempo establecido.</p>
Hitos y duración	<p>Fecha de inicio: 30/01/2023</p> <p>Fecha de culminación: 03/02/2023</p>
Responsables	<p>Carlos Izurieta</p> <p>Lester Bassantes</p>
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se toma la medición hasta que llega al servidor.
Dependencias	<p>Antes de este paquete de trabajo: Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.</p> <p>Después de este paquete de trabajo: Creación del Dashboard.</p>
Fecha límite de vencimiento	03/02/2023

Tabla 28. Prueba de aceptación N°3

Caso de prueba de aceptación N°3	
ID de historia de usuario	HU6
Nombre	Creación del Dashboard.
Descripción del paquete de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Medir el rendimiento de la red utilizada. • Medir el tiempo en que se toman las mediciones en el prototipo. • Medir el tiempo en que llegan los datos al firmware del mote del servidor a través de un ping. • Obtener el periodo de latencia entre las mediciones.
Criterios de aceptación	Evaluar la correcta visualización de los datos y su captura en tiempo real.
Supuestos y restricciones	<p>Seguir el cronograma establecido.</p> <p>No sobrepasar el tiempo establecido.</p>
Hitos y duración	<p>Fecha de inicio: 30/01/2023</p> <p>Fecha de culminación: 03/02/2023</p>
Responsables	<p>Carlos Izurieta</p> <p>Lester Bassantes</p>
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> • Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se toma la medición hasta que se muestra en el dashboard.
Dependencias	<p>Antes de este paquete de trabajo: Envío de datos a la base de datos Firestore.</p> <p>Después de este paquete de trabajo: Estado de la calidad del agua y notificación.</p>
Fecha límite de vencimiento	03/02/2023

Tabla 29. Prueba de aceptación N°4

Prueba de aceptación N°4	
ID de historia de usuario	HU7
Nombre	Estado de la calidad del agua y notificación.
Descripción del paquete de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Medir el tiempo en el que se dispara el sistema local de alerta. • Medir el tiempo en el que el usuario ha sido notificado en relación al sistema de alerta local. • Obtener el periodo de latencia entre las mediciones.

Prueba de aceptación N°4	
Criterios de aceptación	Verificar el estado de la calidad del agua según las mediciones para la notificación oportuna al piscicultor.
Supuestos y restricciones	Seguir el cronograma establecido. No sobrepasar el tiempo establecido.
Hitos y duración	Fecha de inicio: 30/01/2023 Fecha de culminación: 03/02/2023
Responsables	Carlos Izurieta Lester Bassantes
Métricas	<ul style="list-style-type: none"> Latencia de las mediciones en tiempo real, medidos, desde que se enciende el sistema local de alerta hasta que se notifica al usuario.
Dependencias	Antes de este paquete de trabajo: Estado de la calidad del agua y notificación. Después de este paquete de trabajo: Ninguna.
Fecha límite de vencimiento	03/02/2023

Después de realizar las pruebas de aceptación en el laboratorio de maricultura, se logró una aprobación satisfactoria del personal en su totalidad, tal como se detalla en la siguiente tabla que muestra las 6 pruebas de aceptación y el porcentaje de cumplimiento para cada una de ellas. De esta manera, se ha verificado la eficacia del sistema y su capacidad para satisfacer las necesidades y expectativas del equipo.

Tabla 30. Resultados de la aceptación

Nombre de la prueba de aceptación	Área	Rol	N° pruebas	Porcentaje de calificación
Monitoreo de los parámetros de calidad de agua de los sensores.	Mantenimiento	Piscicultor/Encargado de mantenimiento	2	100%
Envío de datos a la base de datos Firestore.	Calidad del agua	Piscicultor/Encargado de la calidad del agua	2	100%
Creación del Dashboard.				
Estado de la calidad del agua y notificación.	Cuidado de peces	Piscicultor/Encargado del cuidado de peces	2	100%
Total:				100%

3.3 Contrastación de hipótesis

Después de completar todas las etapas de la metodología XP, se logró desarrollar un sistema que cumple con los requisitos necesarios para monitorear y alertar sobre la calidad del agua en una piscina de peces en el laboratorio de maricultura. Además, fue necesario comparar los sensores del prototipo con el patrón utilizado comúnmente en el escenario, lo que permitió determinar el error relativo de las mediciones de los parámetros de calidad del agua.

Se procesaron los datos obtenidos para determinar en la **Tabla 31** el error relativo del prototipo en comparación con los valores del patrón. Para el cálculo del error relativo se utilizó la siguiente fórmula: $\text{error relativo} = (\text{valor medido} - \text{valor patrón}) / \text{valor patrón} * 100\%$.

Tabla 31. Resultados estadísticos de precisión

Parámetros de calidad del agua	Resultados			
	Media del prototipo	Media del Patrón	Error relativo	Precisión
Temperatura	27,9 °C	28,2 °C	1,06%	98,94%
Potencial de Hidrógeno (pH)	9,1	8,5	7,05%	92,95%
Turbidez	239,3 ppm	285,4 ppm	16,15%	83,85%
<i>Medias de error y precisión del sistema</i>			8,09%	91,91%

Como se puede observar en la **Tabla 31**, según los datos obtenidos se ha podido determinar un error relativo del 1,06% para las mediciones de temperatura, de un 7,05% para las mediciones de pH y del 16,15% para las mediciones de turbidez.

En la **Figura 31** se representan los resultados contenidos en la tabla anterior respecto al parámetro de temperatura.

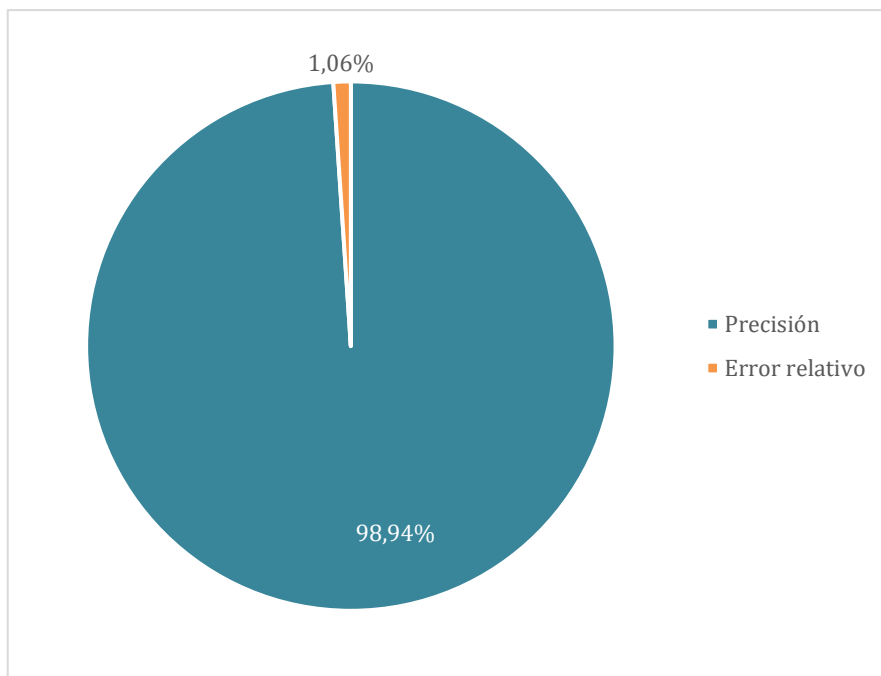


Figura 31. Resultados estadísticos de precisión de temperatura

De la misma manera, en la **Figura 32** se representan los resultados contenidos en la tabla anterior respecto al parámetro de potencial de hidrógeno.

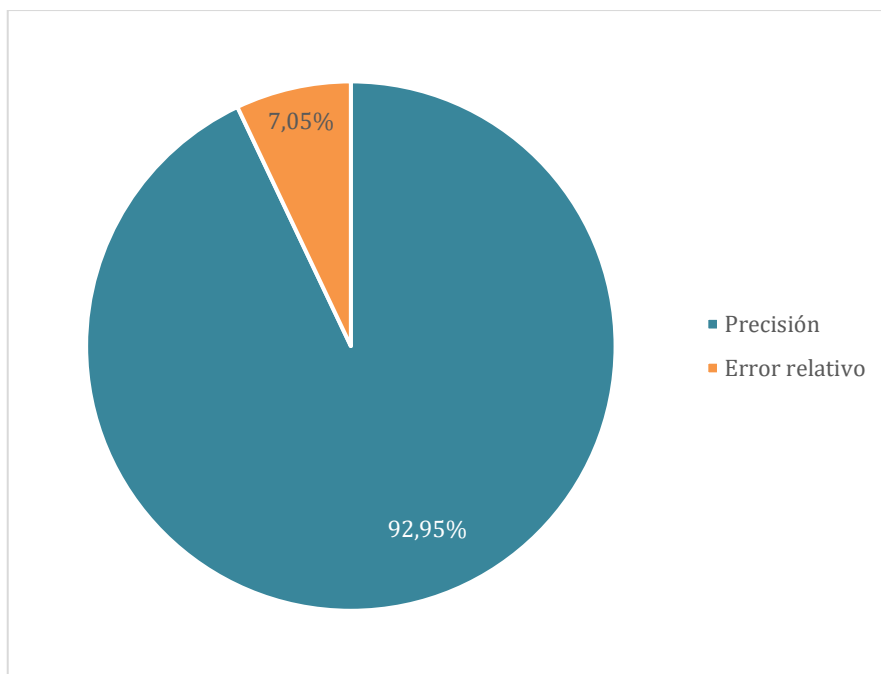


Figura 32. Resultados estadísticos de precisión de pH

Finalmente, en la **Figura 33** se representan los resultados contenidos en la tabla anterior respecto al parámetro de turbidez.

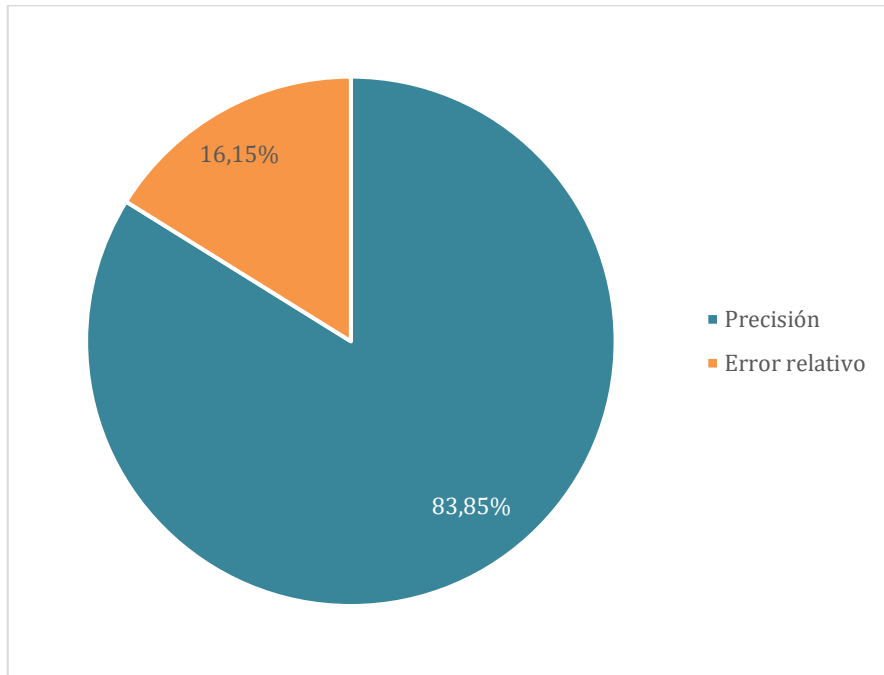


Figura 33. Resultados estadísticos de precisión de turbidez

Por lo que se puede determinar la precisión del sistema con respecto al margen de error, el resultado se muestra en la **Figura 34**, a continuación:

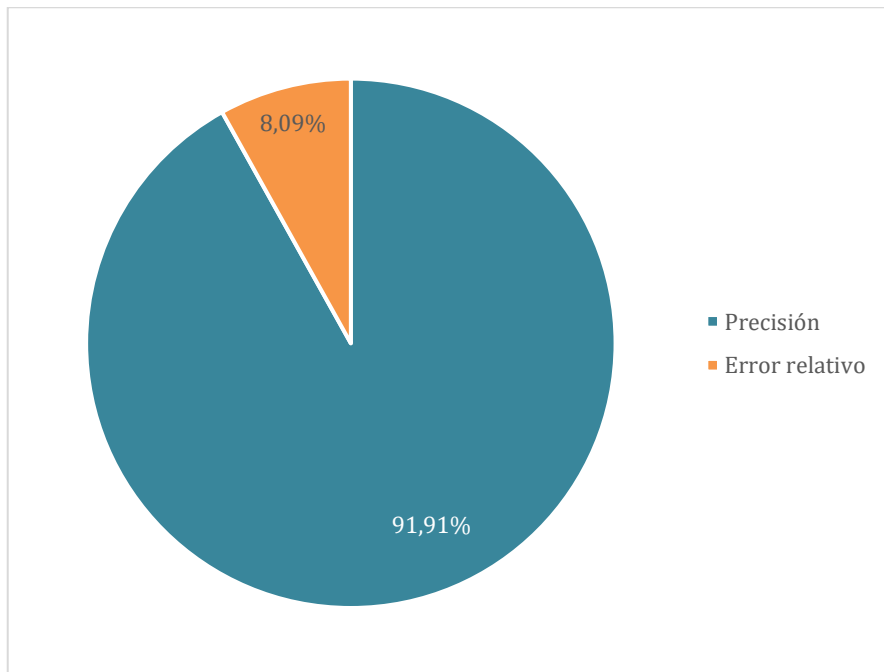


Figura 34. Resultados estadísticos de precisión del prototipo

De la misma se procesó los datos obtenidos a través de la prueba de latencia para evaluar la velocidad del sistema en sus diferentes etapas expresadas en milisegundos (ms), como se muestra en la **Tabla 32**.

Tabla 32. Mediciones recabadas para la prueba de latencia

Tiempo total de las operaciones	Temperatura	Potencial de Hidrógeno	Turbidez
4456	732	750	765
2562	732	730	740
4147	732	725	749
2507	732	712	815
2649	732	725	760
4246	733	750	715
2606	732	812	749
2615	732	745	715
4280	732	742	720
2625	732	718	689

En la última fila de la primera columna de la **Tabla 32** se muestran todas las mediciones realizadas desde el sensado hasta que se notifica al usuario sobre algún evento que afecte negativamente la calidad del agua. Asimismo, se puede observar todas las mediciones efectuadas en la prueba de cada parámetro de calidad desde el sensado hasta el envío de los datos al dashboard.

En la **Figura 32** se muestran las medias resultantes de cada columna identificada en la tabla anterior.

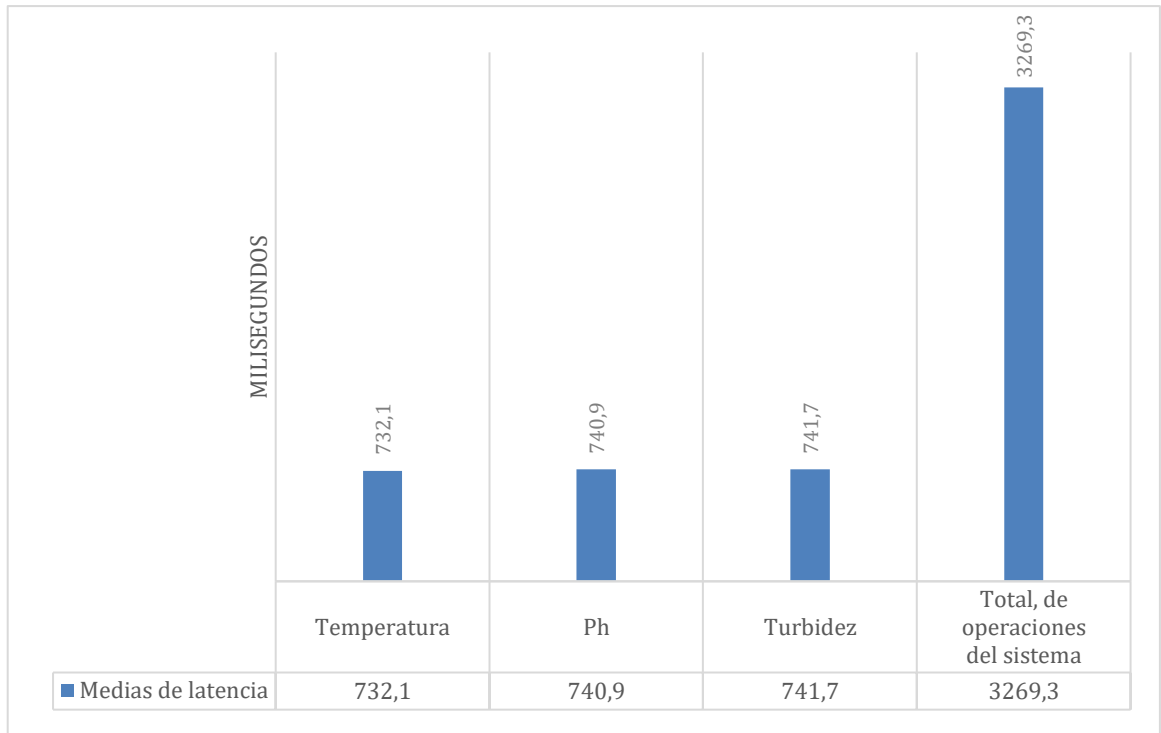


Figura 35. Resultados estadísticos de latencia

CONCLUSIONES

- El objetivo de implementar un prototipo de sistema de monitoreo y alerta de la calidad del agua en un cultivo experimental de peces se logró exitosamente. Se utilizó tecnología de IoT para la recolección y transmisión de datos de calidad del agua en tiempo real, y se implementó una plataforma de alerta para notificar al productor cuando se detectan desviaciones en los parámetros de calidad del agua. El prototipo se probó satisfactoriamente en un cultivo experimental de peces, lo que demuestra su viabilidad para su uso en la producción de peces a mayor escala. La aplicación de tecnologías de IoT en la acuicultura tiene el potencial de mejorar la calidad y la eficiencia de la producción, reducir costos y minimizar el impacto ambiental.
- En el estudio se pudo llevar a cabo la elaboración del estado del arte y marco teórico, el cual se realizó a través de un proceso de revisión sistemática de la literatura en diversas fuentes de información como bases de datos científicas y revistas especializadas.
- El diseño del sistema de monitoreo y alerta se basó en las tecnologías de IoT identificadas en la revisión sistemática de la literatura. Se consideraron los parámetros de calidad del agua que se deben monitorear en una piscifactoría, así como los umbrales de peligro para cada parámetro, para establecer los límites de alerta del sistema
- Se desarrolló las alertas respectivas que notifiquen sobre el estado de la calidad del agua en un cultivo de peces mediante la aplicación de una técnica de clasificación de datos. Se han considerado umbrales de peligro que pueden desencadenar patologías, con el fin de garantizar una óptima producción de peces. Esto es una contribución valiosa para la mejora de la acuicultura y puede ser de gran utilidad para aquellos involucrados en la producción de peces y la toma de decisiones relacionadas con la calidad del agua.

RECOMENDACIONES

- Aunque el prototipo puede ser mejorado en algunos aspectos técnicos, los resultados obtenidos sugieren que el sistema tiene un gran potencial para ser implementado a mayor escala en actividades acuícolas y contribuir a la mejora de la gestión de recursos acuáticos.
- Durante la revisión sistemática se debe recopilar información relevante, de acuerdo al área de interés esta debe organizarse en apartados predefinidos, lo cual permitirá obtener una visión completa y actualizada del conocimiento existente en el campo de estudio.
- Se recomienda que, con el fin de mejorar en el futuro, se incluya funcionalidades en el diseño del prototipo para llevar a cabo el control de los parámetros a través de nuevos dispositivos que actúen sobre las variables de manera remota cuando ocurra una afectación en la calidad del agua. Es fundamental tomar en cuenta las posibilidades tecnológicas disponibles para implementar esta opción en el sistema o software correspondiente.
- Con el fin de evitar posibles errores al compilar un proyecto, se recomienda utilizar las versiones apropiadas de las herramientas que se utilizaron para trabajar en el código fuente del sistema. Es importante tener en cuenta que la manipulación del código fuente requiere un uso cuidadoso de las herramientas, y cualquier incompatibilidad entre versiones podría causar problemas significativos en el proyecto.
- Se sugiere utilizar los navegadores web Google Chrome u Opera, ya que son considerados dos de las opciones más confiables y eficientes en el mercado actual. Ambos navegadores tienen características y funcionalidades que los hacen ideales para navegar por Internet y brindan una experiencia segura y satisfactoria para el usuario.
- Al utilizar el sistema, es esencial considerar la velocidad de conexión a la red para asegurar su correcto funcionamiento. Si la conexión es lenta, puede resultar en tiempos de espera prolongados, lo que afectaría negativamente la experiencia del usuario al utilizar el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Estadísticas - Cámara Nacional de Acuicultura», 31 de marzo de 2022. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/> (accedido 6 de septiembre de 2022).
- [2] A. Gonzalez-Martinez *et al.*, «Morphometric and Meristic Characterization of Native Chame Fish (*Dormitator latifrons*) in Ecuador Using Multivariate Analysis», *Animals*, vol. 10, n.º 10, Art. n.º 10, oct. 2020, doi: 10.3390/ani10101805.
- [3] J. I. Sonnenholzner-Varas, «Where is echinoderm aquaculture heading in latin america? Potential, challenges and opportunities», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 69, n.º suppl, pp. 514-549, 2021, doi: 10.15517/rbt.v69iSuppl.1.46393.
- [4] J. Jácome, C. Q. Abad, O. S. Romero, J. E. Pérez, y M. Nirchio, «Tilapia in Ecuador: Paradox between aquaculture production and the protection of Ecuadorian biodiversity», *Rev. Peru. Biol.*, vol. 26, n.º 4, pp. 543-550, 2019, doi: 10.15381/rpb.v26i4.16343.
- [5] B. Guan *et al.*, «Pathogen identification, risk factor and preventive measure of a columnaris disease outbreak in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) eggs and larvae from a tilapia hatchery», *Aquaculture*, vol. 561, 2022, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738718.
- [6] M. Ziarati *et al.*, «Zoonotic diseases of fish and their prevention and control», *Vet. Q.*, vol. 42, n.º 1, pp. 95-118, dic. 2022, doi: 10.1080/01652176.2022.2080298.
- [7] C. Song *et al.*, «HSP60 and HSP90 β from blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*: Molecular cloning, characterization, and comparative response to intermittent thermal stress and *Aeromonas hydrophila* infection», *Fish Shellfish Immunol.*, vol. 74, pp. 119-132, mar. 2018, doi: 10.1016/j.fsi.2017.12.046.
- [8] T. J. Cleary *et al.*, «Characteristics and Uses of SRL Microanalysis across Diverse Contexts, Tasks, and Populations: A Systematic Review», *Sch. Psychol. Rev.*, vol. 0, n.º 0, pp. 1-21, abr. 2021, doi: 10.1080/2372966X.2020.1862627.
- [9] G. Ikrissi y T. Mazri, «IOT-BASED SMART ENVIRONMENTS: STATE of the ART, SECURITY THREATS and SOLUTIONS», presentado en International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2021, vol. 46, n.º 4/W5-2021, pp. 279-286. doi: 10.5194/isprs-Archives-XLVI-4-W5-2021-279-2021.
- [10] I. Shahrour y X. Xie, «Role of internet of things (IoT) and crowdsourcing in smart city projects», *Smart Cities*, vol. 4, n.º 4, pp. 1276-1292, 2021, doi: 10.3390/smartcities4040068.
- [11] K. Kuru y D. Ansell, «TCitySmartF: A comprehensive systematic framework for transforming cities into smart cities», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 18615-18644, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2967777.
- [12] M.-C. Chiu, W.-M. Yan, S. A. Bhat, y N.-F. Huang, «Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models», *J. Agric. Food Res.*, vol. 9, 2022, doi: 10.1016/j.jafr.2022.100357.
- [13] G. Chen, P. Sun, y Y. Shang, «Automatic Fish Classification System Using Deep Learning», en *2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, nov. 2017, pp. 24-29. doi: 10.1109/ICTAI.2017.00016.
- [14] I. T. V. D. S. do Nascimento, N. J. Pereira, R. S. Martins, T. A. de Melo, D. M. S. Santos, y I. M. R. D. S. Serra, «Quality of water from fish farms and histopathological analysis of tilapia (*Oreochromis*

- sp.) in São José de Ribamar and Paço do Lumiar, state of Maranhão, Brazil», *Aquac. Res.*, vol. 52, n.º 9, pp. 4217-4226, 2021, doi: 10.1111/are.15260.
- [15] V. Madhava Sai Teja, B. Sai, G. Veerapandu, y M. K. Singh, «A Comparative Study of Different IOT Sensors», *Smart Innov. Syst. Technol.*, vol. 290, pp. 53-61, 2023, doi: 10.1007/978-981-19-0108-9_6.
- [16] L. F. A. Ramos, F. O. Idarraga, y J. G. A. Marín, «Caracterización y redimensionamiento de sistema de bombeo de agua para cultivos acuícolas en finca el Rubí en Aipe-Huila», *Ing. Región*, n.º 25, pp. 46-59, 2021.
- [17] L. D. B. Sánchez, C. C. R. Castellanos, y L. A. M. Poveda, «EVALUACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE OXIGENO MEDIANTE EL USO DEL AIREADOR DE AGUA POR VÓRTICE DESARROLLADO POR EL INGENIERO FLAMINIO RUEDA C, Y DESARROLLAR UNAS ALTERNATIVAS», p. 219, 2019.
- [18] H. Amiri, B. Hadizadeh, M. G. Mooselu, S. Azadi, y A. H. Sayyazadeh, «Evaluating the water quality index in dam lake for cold water fish farming», *Environ. Chall.*, vol. 5, p. 100378, dic. 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100378.
- [19] «Sensor de Temperatura Digital DS18B20», *Naylamp Mechatronics - Perú*. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html> (accedido 7 de septiembre de 2022).
- [20] R. A. Koestoer, Y. A. Saleh, I. Roihan, y Harinaldi, «A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system», presentado en THE 10TH INTERNATIONAL MEETING OF ADVANCES IN THERMOFLUIDS (IMAT 2018): Smart City: Advances in Thermofluid Technology in Tropical Urban Development, Bali, Indonesia, 2019, p. 020006. doi: 10.1063/1.5086553.
- [21] D. Tapia y C. Emmanuel, «Diseño e implementación de prototipo IOT para el monitoreo remoto de la calidad del agua para la crianza de tilapias en estanques», p. 110, 2021.
- [22] A. Saenz Cahuana y L. V. Sanchez Huamani, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE NODOS DE SENSORES INALÁMBRICOS CON TECNOLOGÍA ESP8266 PARA MONITOREAR LA TURBIDEZ DEL AGUA DE UNA PISCIGRANJA DE TRUCHAS», *Repos. Inst. - UNH*, dic. 2021, Accedido: 7 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4180>
- [23] R. Espítaleta Burgos, «Diseño e implementación de una estación de monitoreo de variables agroclimáticas para cultivos durante temporadas de sequías prolongadas en la región caribe colombiana», *InstnameUniversidad Antonio Nariño*, mar. 2021, Accedido: 7 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2341>
- [24] B. I. Vera Cabanilla y E. M. Cadena Mite, «Diseño e implementación de un prototipo controlador de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto para la supervivencia del camarón usando controladores p, pi, pid y lógica difusa.», mar. 2019, Accedido: 7 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17262>
- [25] M. Babiuch, P. Foltýnek, y P. Smutný, «Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing», en *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, may 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765944.
- [26] A. Rahmi, I. N. Piarsa, y P. W. Buana, «FinDoctor-Interactive Android Clinic Geographical Information System Using Firebase and Google Maps API», *Int. J. New Technol. Res.*, vol. 3, n.º 7, p. 263272, jul. 2017.

- [27] «Node.js Introduction». https://www.w3schools.com/nodejs/nodejs_intro.asp (accedido 11 de febrero de 2023).
- [28] «Nodemailer». <https://nodemailer.com/about/> (accedido 11 de febrero de 2023).
- [29] S. Raschka, J. Patterson, y C. Nolet, «Machine Learning in Python: Main Developments and Technology Trends in Data Science, Machine Learning, and Artificial Intelligence», *Information*, vol. 11, n.º 4, Art. n.º 4, abr. 2020, doi: 10.3390/info11040193.
- [30] B. Pang, E. Nijkamp, y Y. N. Wu, «Deep Learning With TensorFlow: A Review», *J. Educ. Behav. Stat.*, vol. 45, n.º 2, pp. 227-248, abr. 2020, doi: 10.3102/1076998619872761.
- [31] M. E. Cambroner, H. Macià, V. Valero, y L. Orozco-Barbosa, «Modeling and Analysis of the 1-Wire Communication Protocol Using Timed Colored Petri Nets», *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27356-27372, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2833213.
- [32] «Visual Studio Code Frequently Asked Questions». <https://code.visualstudio.com/docs/supporting/faq> (accedido 11 de febrero de 2023).
- [33] H. Fulara, G. Singh, D. Jaisinghani, M. Maity, T. Chakraborty, y V. Naik, «Use of machine learning to detect causes of unnecessary active scanning in WiFi networks», presentado en 20th IEEE International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM 2019, 2019. doi: 10.1109/WoWMoM.2019.8793010.
- [34] M. Ahmadi y M. Qaisari Hasan Abadi, «A review of using object-orientation properties of C++ for designing expert system in strategic planning», *Comput. Sci. Rev.*, vol. 37, p. 100282, ago. 2020, doi: 10.1016/j.cosrev.2020.100282.
- [35] «ESP32 Getting Started Guide». <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> (accedido 11 de febrero de 2023).
- [36] FAO, «Fisheries and Aquaculture - Latest publications - Informes Nacionales: Ecuador - Informe de país en apoyo a la preparación del primer informe sobre El Estado de los Recursos Genéticos Acuáticos para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo». <https://www.fao.org/fishery/en/publications/270886> (accedido 11 de febrero de 2023).
- [37] C. N. Udanor *et al.*, «An internet of things labelled dataset for aquaponics fish pond water quality monitoring system», *Data Brief*, vol. 43, 2022, doi: 10.1016/j.dib.2022.108400.
- [38] B. Mazon-Olivo y A. Pan, «Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 20, n.º 1, pp. 49-63, 2022, doi: 10.1109/TLA.2022.9662173.

ANEXOS

Anexo 1 - Matriz de consistencia

Tabla 33. Matriz de consistencia

Problema, objeto y campo	Objetivo	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema: ¿Cómo implementar un sistema que permita el monitoreo y alerta de la calidad del agua para el cultivo de peces en una piscina experimental ubicada en el cantón Santa Rosa, durante el periodo académico 2022 - 2023?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son los parámetros a evaluar para la calidad del agua? - ¿Cuáles son las tecnologías y arquitectura de IoT que permitan monitorear los parámetros de la calidad del agua en una piscina 	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar un prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua, en un cultivo experimental de peces, mediante la aplicación de tecnologías de IoT para una óptima producción. <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elaborar el estado del arte y marco teórico aplicando un proceso de revisión sistemática de la literatura. - Diseñar un sistema de monitoreo de los parámetros de la calidad del agua de un cultivo experimental de peces. 	<p>Antecedentes históricos a nivel internacional y nacional del objeto, campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Historia de la Inteligencia artificial. - Historia de las Redes neuronales. - Historia del Internet de las cosas. - Historia de la Piscicultura. <p>Fundamentos Teóricos de objeto, campo y variables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es Internet de las Cosas? • ¿Qué es la Inteligencia Artificial? • ¿Qué son las Redes Neuronales Artificiales? • ¿Qué es la Piscicultura? <ul style="list-style-type: none"> ○ Ventajas de la piscicultura • ¿Qué son los Actuadores? 	<p>Hipótesis General:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La implementación de un sistema ayudará a monitorear y alertar sobre los parámetros de la calidad del agua que debilitan el sistema inmunitario y causan enfermedades en una piscina de cultivo de peces. 	<p>Variable 1 / Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prototipo de sistema para el monitoreo y alerta de los parámetros de la calidad del agua. <p>Dimensiones o categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de un sistema de monitoreo de los parámetros de la calidad del agua 	<p>Enfoque:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuantitativo. <p>Alcance:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptivo - Correlacional <p>Diseño:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuasi-experimental <p>Unidades de análisis:</p> <p>Para la medición y análisis de las variables a medir, se trabajará con una piscina experimental para cultivo de peces, por lo que la población y muestra corresponderá a las mediciones realizadas para cada una de las métricas definidas.</p>

Problema, objeto y campo	Objetivo	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>experimental para el cultivo de peces?</p> <p>- ¿Cómo realizar la alerta para notificar al piscicultor sobre la calidad del agua?</p> <p>Objeto de estudio: Monitoreo y alerta de la calidad del agua en una piscina experimental de cultivo de peces.</p> <p>Campo de Acción: Tecnologías de IoT aplicadas al monitoreo y alerta de la calidad del agua en una piscina experimental de cultivo de peces.</p>	<p>- Alertar sobre la calidad del agua, aplicando Inteligencia Artificial a través de una red neuronal, considerando umbrales de peligro que puedan desencadenar en patologías.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Actuadores para el Control de la Calidad del Agua <ul style="list-style-type: none"> ○ Aireador ○ Lámpara Led • Parámetros del Cultivo de Peces <ul style="list-style-type: none"> ○ Temperatura ○ Oxígeno disuelto ○ pH ○ Turbidez ○ Luminosidad • Sensores de Prototipo IoT para la Medición de Calidad de Agua en el Cultivo de Peces <ul style="list-style-type: none"> ○ Sensor de temperatura digital DS18B20 ○ Sensor de pH GAOHOU PH0-14 ○ Sensor de turbidez de agua ○ Sensor de luz con fotocelda LDR ○ Sensor de oxígeno disuelto • Tecnologías para el Desarrollo del Prototipo <ul style="list-style-type: none"> ○ IDE Arduino ○ Node-RED ○ Grafana ○ Notify Events ○ MQTT ○ WI-FI ○ Bluetooth 		<p>aplicando IoT.</p> <p>- Alerta de la calidad del agua, aplicando Inteligencia Artificial.</p> <p>Variable 2/ Dependiente:</p> <p>- La calidad del agua en la piscina experimental de maricultura.</p> <p>Dimensiones o categorías:</p> <p>- Parámetros de calidad del agua.</p> <p>- Niveles de estrés y causas de</p>	<p>No se obtendrá la muestra ya que se trabajará con el total de la población.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <p>-Observación sistematizada</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos:</p> <p>- Estadística descriptiva.</p>

Problema, objeto y campo	Objetivo	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Lenguaje de programación C++ • Plataformas de Hardware <ul style="list-style-type: none"> ○ Raspberry PI 3 ○ ESP-WROOM 32 		<p>patologías en peces.</p>	

Anexo 2 - Ficha de observación

Tabla 34. Ficha de observación

FICHA DE OBSERVACIÓN		N°		
Observador:				
Fecha:				
Hora	Temperatura	pH	Turbidez	Observaciones

Anexo 3 – Mediciones en el escenario



Figura 36. Monitoreo en el escenario



Figura 37. Mediciones del patrón