



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología - ESIT

Máster Universitario en Internet De Las Cosas / INTERNET OF
THINGS (IoT)

Monitorización de Factores Ambientales en Granjas Piscícolas con Sistemas IoT

Trabajo fin de estudio presentado por:	Geyson de Jesús Julio Sermeño
Tipo de trabajo:	Proyecto de Internet de las Cosas
Director/a:	Caroline Leonore König
Lugar:	Sincelejo, Colombia
Fecha:	07/febrero/2023

Resumen

La piscicultura es el arte de criar peces en entornos naturales y artificiales con el fin de comercializar productos derivados de estos ambientes acuáticos sin la necesidad de utilizar tecnologías de comunicación o sistemas especializados. No obstante, con el auge y expansión de las nuevas tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial muchos procesos, sistemas y campos han ido adaptando y haciendo uso de estas tecnologías emergentes. Por lo anterior, en el presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) se desarrolló el tema de inclusión de tecnologías de la Industria 4.0 a la piscicultura con el objetivo de diseñar e implementar un desarrollo tecnológico para un sistema de monitoreo de factores ambientales en granjas piscícolas con tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). El objetivo se logró siguiendo una metodología mixta en cuatro fases: un estudio descriptivo, un desarrollo tecnológico, la implementación del prototipo y una fase de validación y pruebas. En este trabajo se consiguió diseñar un sistema de monitoreo de variables ambientales como pH, oxígeno disuelto, temperatura ambiente y temperatura del agua, mediante el uso de sensores, red inalámbrica LoRaWAN y plataformas IoT.

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT), monitoreo, LoRaWAN, piscicultura, red de sensores inalámbricos (WSN)

Abstract

Fish farming is the art of raising fish in natural and artificial environments in order to commercialize products derived from these aquatic environments without the need to use communication technologies or specialized systems. However, with the rise and expansion of the new technologies of the Fourth Industrial Revolution, many processes, systems and fields have been adapting and making use of these emerging technologies. Therefore, in this Final Master's Project (TFM) the topic of inclusion of Industry 4.0 technologies to fish farming was developed with the aim of designing and implementing a technological development for a monitoring system of environmental factors on fish farms with Internet of Things (IoT) technologies. The objective was achieved following a mixed methodology in four phases: a descriptive study, a technological development, the implementation of the prototype and a validation and testing phase. In this work, it was possible to design a monitoring system for environmental variables such as pH, dissolved oxygen, ambient temperature, and water temperature, using sensors, LoRaWAN wireless network and IoT platforms.

Keywords: Internet of Things (IoT), monitoring, LoRaWAN, fish farming, wireless sensor network (WSN)

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Jesús, mi Señor y Dios, por su amor incondicional hacía mí.

Agradezco a mi madre, Ana Josefa Sermeño de la Rosa, por su amor y dedicación hacía mí.

Agradezco al Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tolú, IDTOLU por hacer realidad este proyecto de Trabajo de Fin de Máster y brindarme las herramientas para alcanzar este logro. Gracias por su patrocinio.

Agradezco al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, MINTIC, por hacer realidad este sueño de ser Magister.

¡Muchas gracias!

Índice de contenidos

1.	Introducción	14
1.1.	Motivación	15
1.2.	Planteamiento del trabajo.....	16
1.3.	Estructura de capítulos.....	17
2.	Contexto y estado del arte	19
2.1.	Descripción general del contexto del proyecto	19
2.2.	Proyectos relacionados con el tema del TFM	20
2.2.1.	Proyecto 1	20
2.2.2.	Proyecto 2	20
2.2.3.	Proyecto 3	20
2.2.4.	Proyecto 4	21
2.2.5.	Proyecto 5	21
2.3.	Tecnologías relacionadas con el tema del TFM	21
2.3.1.	Internet de las Cosas/Internet of Things (IoT)	22
2.3.2.	Plataformas IoT	24
2.3.3.	Sensores	25
2.3.4.	Red de Sensores Inalámbricos.....	26
2.3.5.	Tecnologías de comunicación	28
2.3.6.	Visualización de datos IoT.	31
2.3.7.	Ciberseguridad y control de acceso.....	31
2.3.8.	Protocolos de comunicación en IoT	32
2.4.	Conceptos relacionados con el tema del TFM	33
2.4.1.	Agricultura inteligente	33
2.4.2.	Acuaponía, tipos y funciones.....	33

2.4.3.	Piscicultura y ejemplos.....	34
2.4.4.	Condiciones óptimas para el desarrollo de peces en piscicultura	34
2.5.	Conclusiones sobre el estado del arte	35
3.	Descripción general de la contribución del TFM.....	36
3.1.	Objetivos	36
3.1.1.	Objetivo general.....	36
3.1.2.	Objetivos específicos.....	36
3.2.	Metodología del trabajo.....	36
3.2.1.	Fase 1. Estudio Descriptivo.....	36
3.2.2.	Fase 2. Desarrollo Tecnológico	37
3.2.3.	Fase 3. Implementación y pruebas de funcionamiento.....	37
3.2.4.	Fase 4. Validación y pruebas	37
3.3.	Descripción general de las partes o componentes de la propuesta	37
3.3.1.	Alcance y limitaciones	38
3.3.2.	Listado de participantes	38
3.3.3.	Tecnologías implicadas.....	38
3.3.4.	Arquitectura, componentes e integración de tecnologías.....	39
3.3.5.	Resultados esperados	40
3.3.6.	Presupuesto y retorno esperado de la inversión.....	40
3.3.7.	Planificación general	41
4.	Descripción general de la contribución	43
4.1.	Arquitectura del proyecto	43
4.2.	Descripción general de la arquitectura.....	44
5.	Descripción de componentes tecnológicos	45
5.1.	Componentes eléctricos, electrónicos y físicos	45

5.1.1.	Estanque de agua.....	45
5.1.2.	Sensores y actuadores.....	46
5.1.3.	Protocolo de comunicación inalámbrica	52
5.1.4.	Sistema de alimentación autónomo.....	55
5.2.	Plataformas IoT y Módulos de Gestión.....	57
5.2.1.	Plataforma ChirpStack.....	57
5.2.2.	Influx DB.....	57
5.2.3.	Módulo de Gestión.....	59
6.	Desarrollo Tecnológico	60
6.1.	Articulación de partes físicas y hardware	60
6.2.	Configuración de plataformas IoT y software de gestión	61
7.	Implementación del prototipo.....	68
7.1.	Sistema de monitoreo	68
7.2.	Caja de circuitos	69
7.3.	Sistema de alimentación autónomo.....	69
7.4.	Sistema de transmisión y recepción	70
7.5.	Análisis de resultados.....	72
8.	Conclusiones y trabajos futuros de la contribución	77
8.1.	Conclusiones	77
8.2.	Trabajos futuros	78
9.	Referencias bibliográficas.....	80

Índice de figuras

Figura 1. Tecnologías denominadas «habilitadores digitales» de la Industria 4.0.....	16
Figura 2. Oficinas del laboratorio IDTOLU.	19
Figura 3. Internet de las cosas "nació" entre los años 2008 y 2009.	22
Figura 4. Modelo de referencia de IoT.	24
Figura 5. Plataforma IoT Azure de Microsoft.	25
Figura 6. Arquitectura de una WSN.....	27
Figura 7. Tecnologías de conectividad IoT inalámbricas.....	29
Figura 8. Arquitectura y capas del sistema.....	39
Figura 9. Cronograma de actividades.....	42
Figura 10. Arquitectura y capas del sistema.....	43
Figura 11. Esquemático de conexiones.	45
Figura 12. Estanque de agua de cría.	46
Figura 13. Sensor o medidor de pH analógico.....	47
Figura 14. Sensor medidor de oxígeno disuelto en agua.....	48
Figura 15. Sensor medidor de temperatura del agua.....	49
Figura 16. Sensor de temperatura ambiente DHT-11.	50
Figura 17. Sensor fotoeléctrico de nivel de líquidos modelo FS-IR02.....	51
Figura 18. Actuador lineal.	51
Figura 19. Módulo puente H - L298N.	52
Figura 20. Placa de desarrollo Wi-Fi ESP 32 LoRa para comunicación inalámbrica.	54
Figura 21. Dispositivo Gateway LoRaWAN.	54
Figura 22. Características físicas y técnicas del módulo solar.	55
Figura 23. Regulador de carga.....	56
Figura 24. Batería de 12VDC.	56

Figura 25. Interfaz web del servidor ChirpStack.....	57
Figura 26. Interfaz web InfluxDB.....	58
Figura 27. Interfaz web del Módulo de Gestión de IDTOLU.....	59
Figura 28. Modelo de tanque de prueba.....	60
Figura 29. Prototipo de sistema mecánico-robótico.....	61
Figura 30. Dashboard de ChirpStack.....	61
Figura 31. Configuración del perfil Gateway.....	62
Figura 32. Dashboard principal de ChirpStack.....	63
Figura 33. Resumen de datos de los dispositivos.....	63
Figura 34. Datos recibidos en LORAWAN FRAMES.....	64
Figura 35. Control de acceso al Módulo de Gestión.....	65
Figura 36. Dashboard del Módulo de Gestión.....	66
Figura 37. Submódulo Report.....	66
Figura 38. Histórico de mediciones de los sensores.....	67
Figura 39. Sistema de monitoreo instalado.....	68
Figura 40. Caja de circuitos.....	69
Figura 41. Sistema de alimentación con módulos fotovoltaicos.....	70
Figura 42. Ubicaciones del emisor y receptor.....	70
Figura 43. Distancia entre los puntos de transmisión y recepción.....	71
Figura 44. Torre de recepción.....	72
Figura 45. Mediciones de telemetría de los sensores.....	73
Figura 46. Mediciones históricas de temperatura del agua y ambiente.....	73
Figura 47. Mediciones históricas del pH y oxígeno disuelto.....	74
Figura 48. Reporte de medidas.....	74
Figura 49. Reporte de datos en archivo Excel.....	75

Figura 50. Reporte de datos en archivo CSV.	75
Figura 51. Notificación por e-mail.....	76
Figura 52. Notificación por WhatsApp.	76

Índice de tablas

Tabla 1. Arquitectura IoT de cuatro capas.	23
Tabla 2. Clasificación de sensores en función de la magnitud que miden.	26
Tabla 3. Elementos de una red de sensores inalámbricos (WSN).	28
Tabla 4. Protocolos de comunicación en IoT.....	32
Tabla 5. Presupuesto de materiales.....	41
Tabla 6. Especificaciones técnicas del sensor Waterproof DS18B20.....	49
Tabla 7. Especificaciones técnicas modulo Wi-Fi LoRa 32.....	53
Tabla 8. Ejemplo de una base de datos de InfluxDB.	58

Lista de abreviaturas

IoT	<i>Internet of Things</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
pH	Potencial de hidrogeno
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>

TSDB *Time Series Database*

M2M *Machine to machine*

1. Introducción

La piscicultura es una actividad económica muy popular en muchas regiones de Colombia y en la costa caribe es común el consumo de peces de mar, río, estanques de cría, arroyos, entre otros. Gran parte de estos productos alimenticios provienen de agua dulce y/o agua de mar como resultado del aprovechamiento de los recursos hídricos y naturales de la región, por lo cual los piscicultores se dedican a la cría y venta de peces que se destinan al consumo humano. Existen pequeñas y medianas empresas dedicadas al desarrollo de esta actividad económica. Principalmente en la costa caribe, más exactamente en el departamento de Sucre, esta práctica se explota aprovechando el ecosistema marino y la variedad de estanques de agua dulce tales como represas naturales y artificiales, pozos, arroyos e incluso albercas artificiales en el campo industrial.

Esta actividad del agro en la región ha desarrollado medianas y pequeñas empresas que promueven el consumo de peces de cría y propenden a la activación económica de pequeños vendedores. Pese a esto, dichas empresas no tienen en cuenta aspectos importantes como el cuidado del ambiente de cría, descuidando el desarrollo y crecimiento de los peces. Como consecuencia se genera baja calidad en la producción debido a la muerte de peces alevines, por mala calidad del agua e inadecuado confort de los estanques de cría, lo que a su vez ocasiona pérdidas económicas (Piamba et al., 2021).

Partiendo de lo anterior, se pretende mejorar los procesos de cría de peces alevines, aumentar la productividad y la calidad de los productos ofrecidos por los piscicultores (peces, camarones, alevines, etc.), se propone diseñar un sistema de monitorización que permita mejorar la calidad del agua, midiendo regularmente, a través de una red de sensores, los parámetros químicos y físicos del agua tales como: oxígeno disuelto, pH y temperatura. Dichos componentes podrán ser medidos y manipulados con dispositivos y sensores IoT o industriales como lo expone (Carriazo, Y., 2021) convirtiéndose en una propuesta innovadora que combine técnicas de recolección de datos a través de las nuevas tecnologías.

El monitoreo permitirá realizar acciones preventivas en el tiempo para conseguir la correcta alimentación de los alevines (peces de cría) y el adecuado confort del lugar de cría (pozo o estanque de agua). Serán monitoreados en tiempo real, en intervalos distintos (horas, días, semanas), por un equipo de cómputo que recopila la información tomada por los sensores.

Según (Flores, S. & Aracena, D., 2018) los factores del agua antes mencionados pueden afectar o no la salud de los animales, por lo cual la correcta adecuación a través de un adecuado control automatizado podrá prevenir fallas y caídas en la producción y mejoraría las condiciones de cría.

Por lo expuesto anteriormente, este trabajo se desarrollará en 4 fases siguiendo una metodología mixta que se divide en una etapa descriptiva y otra etapa experimental, cumpliendo el objetivo general que consiste en diseñar e implementar un sistema de monitoreo de factores ambientales para granjas piscícolas utilizando tecnologías de internet de las cosas (IoT).

1.1. Motivación

Dentro de la práctica de la piscicultura se han involucrado procesos tecnológicos que han ayudado el desarrollo de mejores técnicas para la cría de peces de consumo. Es de notar que existen innovadores sistemas de monitoreo de la calidad del agua, censo de variables físicas y químicas dentro del agro, optimización de los procesos de cultivo, entre otras ideas que comúnmente incluyen las nuevas tecnologías como sistemas IoT que conectan el mundo físico con el virtual (Gómez et al., 2018). En los procesos de cría de peces, técnicamente no se implementan estrategias para optimizar ni hacer seguimiento a los sitios de cría. Esto supone un problema que afecta la economía de las medianas o pequeñas empresas y un factor importante como es la calidad; por lo cual las técnicas de monitoreo con sistemas IoT buscan mejorar la calidad de las producciones y evitar que los alevines crezcan con problemas de salud y mueran ocasionando pérdidas. Además, existe una brecha operacional entre las tecnologías emergentes y el sector agrícola que propende hacia una mejora laboral de este sector (Salamanca, J., 2021).

Desde este punto se infiere una oportunidad de conectar el sector agrícola con el mundo tecnológico, más exactamente con los sistemas ciberfísicos que involucran tres partes principales: la comunicación, el almacenamiento y la computación de datos tomados del mundo real (Adedeji & Hamam, 2020). Esto permite la operatividad de tecnologías de última generación al sector del agro, estabilidad empresarial, y un gran avance tecnológico que

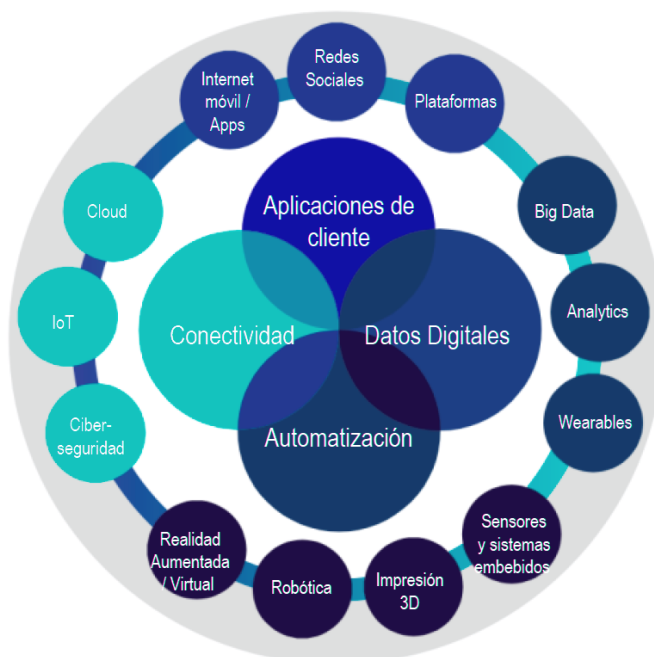
permite el control remoto y toma de decisiones en diferentes tiempos u horarios (Piamba et al., 2020).

Por lo anterior, se plantea que un sistema de monitoreo de variables ambientales a través de sistemas de internet de las cosas (IoT) buscaría reducir costos y pérdidas económicas, prevenir a un alto porcentaje la mortalidad de peces y mejorar la calidad de los procesos de producción.

1.2. Planteamiento del trabajo

El sector agrícola es un campo de nuevas oportunidades que está conectando los nuevos sistemas de vanguardia tecnológicos y digitales hacia la transformación de métodos que optimicen, cambien e interactúen en la toma de decisiones y procesos del campo industrial y del agro. En este trabajo se ha propuesto la utilización de tecnologías que apliquen mejoras a estos procesos con el fin de cerrar las brechas entre el campo agrícola y el mundo digital de lo cual derivan ventajas que establecen nuevos paradigmas económicos. Para el caso de las granjas piscícolas se busca implementar un sistema de monitoreo con sensores IoT en estanques de agua para cría de peces de consumo con el fin de identificar, monitorear y tomar decisiones con base a variables ambientales del agua como lo son: el pH, la temperatura y el nivel de oxigenación.

Figura 1. Tecnologías denominadas «habilitadores digitales» de la Industria 4.0



Fuente: adaptado de Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2017, p. 4).

En la Figura 1 se pueden identificar las tecnologías de la Industria 4.0, que están desarrollando en el mundo actual la cuarta revolución industrial. Dentro de este proyecto se introducen los siguientes habilitadores digitales: internet de las cosas (IoT), sensores y sistemas embebidos, *cloud computing* y plataformas IoT.

En resumen, se busca dar respuesta a la siguiente pregunta problema: de qué manera se podría desarrollar una estrategia de transformación digital que optimice y mejore los procesos agrícolas en el campo de las granjas piscícolas.

1.3. Estructura de capítulos

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) se encuentra estructurado en cinco capítulos que se describen como sigue:

- 1. Introducción:** en el primer capítulo se hace una presentación introductoria al TFM, se hace una descripción general del proyecto identificando de manera breve y puntual los temas a tratar, se hace mención del planteamiento del problema y la forma de abordar una solución aplicando tecnologías de habilitadores digitales.
- 2. Contexto y estado del arte:** en el segundo capítulo se hace una descripción amplia del estado del arte, los antecedentes y demás proyectos e investigaciones que guardan relación al tema del TFM. Se hace una descripción clara y concreta de las tecnologías como habilitadores digitales a implementar en el proyecto para luego concluir con el planteamiento de cuáles son los aportes más relevantes que sirven de apoyo a la idea u objetivo general del proyecto.
- 3. Descripción general de la contribución del TFM:** en el tercer capítulo se presenta una descripción general de la solución al problema planteado, se detalla de forma clara los objetivos del proyecto los cuales dan paso al desarrollo de la metodología que marca el paso a paso a seguir en el proyecto. También se mencionan aspectos importantes como el alcance, las limitaciones, actores relevantes, planificación, presupuesto, tecnologías a utilizar y resultados esperados.

- 4. Descripción general de la contribución:** en el cuarto capítulo se describe a de manera general el desarrollo tecnológico de la solución propuesta, la selección de sensores, sitios de prueba, pruebas con la plataforma IoT, implementación de protocolos de comunicación, ingesta y analítica de los datos.
- 5. Descripción de componentes tecnológicos:** en el quinto capítulo se describen los principales componentes tecnológicos como las partes físicas, dispositivos, sensores, actuadores y esquemas de conexión.
- 6. Desarrollo tecnológico:** en el sexto capítulo se hace énfasis en el montaje, programación y articulación de partes del sistema de monitoreo IoT.
- 7. Implementación del prototipo:** en el séptimo capítulo se describe la implementación del producto final y ejecución de pruebas de funcionamiento y evaluación de los resultados.
- 8. Conclusiones y trabajos futuros:** en el octavo capítulo se mencionan las conclusiones y trabajos futuros que derivan del mismo.

2. Contexto y estado del arte

2.1. Descripción general del contexto del proyecto

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tolú - IDTOLU, donde se han adecuado los componentes tecnológicos como sensores, actuadores, equipos de cómputo, sistemas cableados y demás para el montaje del sistema de monitoreo. En este contexto, IDTOLU es un laboratorio I+D, localizado en el municipio de Santiago de Tolú, Colombia (Figura 2), que está dedicado en diseñar, desarrollar e implementar proyectos tendientes a la innovación de sistemas hardware y software en tecnologías y campos como el 4G y 5G, internet de las cosas - IoT, computación libre, microservicios, entre otros. Este cuenta con una infraestructura dotada de diversos recursos como la Cámara Anecoica de 400 MHz a 20 GHz, una cama de pruebas de radiofrecuencia controlada por Nube Nativa, instrumentos de pruebas de última generación, área de laboratorio para ingenieros, sala de entrenamiento, Nube Nativa, sistema de energía solar de 34 kW, enlace de fibra óptica a torre de transmisión y a cable submarino Maya 1, enlaces punto a multipunto TVWS, torre auto soportada de 60 m y Jaula de Faraday de 6 GHz a 40 GHz en QTS Miami Datacenter (IDTOLU, 2022).

Figura 2. *Oficinas del laboratorio IDTOLU.*



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Proyectos relacionados con el tema del TFM

En el presente apartado se muestra el resultado de las búsquedas realizadas en bases de datos, bibliotecas virtuales, repositorios universitarios y trabajos de grado o tesis similares al tema del TFM. Se analizaron las contribuciones que aportan las investigaciones y proyectos planteados en estos trabajos.

2.2.1. Proyecto 1

En la investigación de Contreras et al., (2018) se propuso un proyecto dentro de una granja acuícola que desarrolló un sistema de monitoreo remoto con sistemas IoT para el manejo de la calidad del agua donde se crían cachamas y tilapias. Se implementó NodeMCU que es la placa de desarrollo basada en el ESP8266 de bajo costo el cual integra el protocolo de comunicación Wi-Fi (802.11 b/g/n) utilizado para la transmisión de datos de manera remota de las mediciones de variables como el pH, Oxígeno Disuelto (OD), temperatura del agua, nivel del agua, radiación solar, humedad relativa y temperatura del aire.

2.2.2. Proyecto 2

De manera similar, Piamba et al., (2020) realizaron la implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha quienes desarrollaron un modelo de sistema constructivo IoT, midiendo variables en tiempo real como temperatura, oxígeno disuelto, pH para su tratamiento y con el fin de disminuir la mortalidad de la especie de trucha arcoíris en sus etapas más tempranas (ovas, larvas y alevinos). Al realizar este proyecto, se encontró que al implementar soluciones tecnológicas como el IoT, la conectividad a internet es un inconveniente importante, ya que en el sitio donde se desarrolló se utiliza conexión satelital deficiente. También se logró identificar que a través de este sistema de tecnologías mediante las plataformas IoT se facilitó la vigilancia de las especies de trucha incluyendo jornadas nocturnas.

2.2.3. Proyecto 3

Por su parte, Rocher et al., (2017) desarrollaron una red de sensores inalámbricos (WSN) que miden parámetros de la turbidez y la temperatura en tanques de una estación acuícola. Se implementó un Flyport como nodo entre los sensores y el servidor principal donde se envían los datos. Este sistema visualiza la información de las variables y cuenta con alarmas programadas para verificación y control del agua de los tanques.

2.2.4. Proyecto 4

En el trabajo de Saha et al., (2018), se ha diseñado un sistema de monitoreo de la calidad del agua en un entorno de acuicultura haciendo uso de tarjetas educativas como Raspberry Pi, Arduino, uso de la cámara de un smartphone y una aplicación de Android. Los parámetros estudiados en este trabajo son la temperatura, pH, conductividad eléctrica y el color del agua. Los datos son procesados desde los sensores por el Arduino y nuevamente procesados y almacenados por la Raspberry Pi, el cual hace las veces de servidor y también realiza la toma de imágenes con la ayuda de la cámara del teléfono inteligente para identificar el color del agua, quien a la vez hace uso del Protocolo de Transferencia de Medios (MTP) para el procesamiento y transmisión de datos.

2.2.5. Proyecto 5

En el caso de Cheng et al., (2015) han implementado el uso de módulos para detectar las variables de temperatura, oxígeno disuelto, pH y nivel de agua para el montaje de un sistema de monitoreo automatizado para una simulación ambiental de piscifactoría haciendo uso de una red de sensores inalámbricos (WSN), y a través de un dispositivo móvil el usuario final podrá monitorear y tener control informativo de los datos ambientales. Se emplea como dispositivo de transmisión y comunicación el módulo ZigBee que se encarga de llevar los datos a un nodo central de procesamiento desde donde se transfieren mediante señal Wi-Fi al dispositivo móvil. El microcontrolador MSP430 es el encargado de procesar los datos en cada nodo donde se ubique un sensor.

2.3. Tecnologías relacionadas con el tema del TFM

Dentro de las nuevas tecnologías del ecosistema 4.0, se pueden mencionar el Big Data, el *blockchain*, la ciberseguridad, la robótica o el *Internet of Things (IoT)*, tecnologías que hacen parte de la Industria 4.0 que ha venido transformando digitalmente los procesos de las diferentes organizaciones industriales con el fin de aumentar su productividad, facilitar mejores herramientas tecnológicas o aumentar la eficiencia disminuyendo los tiempos de producción (UNIR Revista, 2021). En este proyecto, se encuentran relacionadas las siguientes tecnologías de la Industria 4.0, también conocidos como habilitadores digitales:

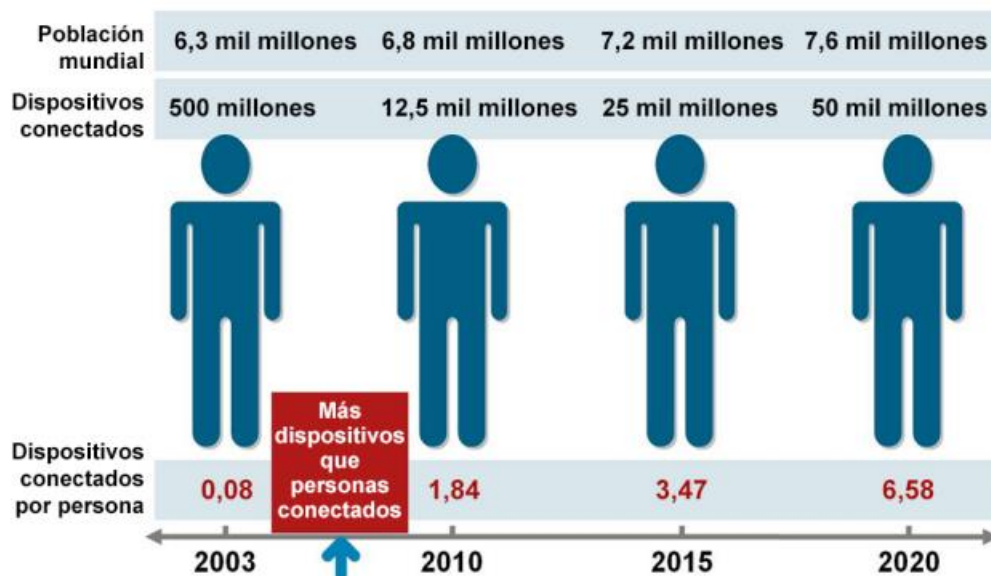
2.3.1. Internet de las Cosas/Internet of Things (IoT)

De acuerdo con la definición que se encuentra en Weber (2010), “el Internet de las cosas (IoT) es una arquitectura de información global emergente basada en Internet que facilita el intercambio de bienes y servicios en redes de cadenas de suministro globales”.

Este término fue acuñado o utilizado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 quien lo empleó como título de su presentación ante la empresa Procter & Gamble (P&G) quien lo relacionó con la tecnología emergente para ese entonces conocida como RFID (identificación por radiofrecuencia) (Ashton, 2006; Gutiérrez, 2016).

En otro sentido se podría deducir con base en la Figura 3, que el Internet de las Cosas (IoT) es el punto entre 2008 y 2009 cuando ocurrieron mayores conexiones de dispositivos (las cosas u objetos) a la red que personas conectadas (Evans, 2011).

Figura 3. Internet de las cosas "nació" entre los años 2008 y 2009.



Fuente: Cisco IBSG, 2011.

2.3.1.1. Arquitectura IoT y WSN

De acuerdo con Ma, H.-D., (2011) los sistemas de Internet de las Cosas, así como las Redes de Sensores Inalámbricos poseen una arquitectura que se puede dividir en cuatro capas: capa de detección de objetos, capa de intercambio de datos, capa de integración de la información y capa de servicios de aplicaciones (ver Tabla 1).

Tabla 1. *Arquitectura IoT de cuatro capas.*

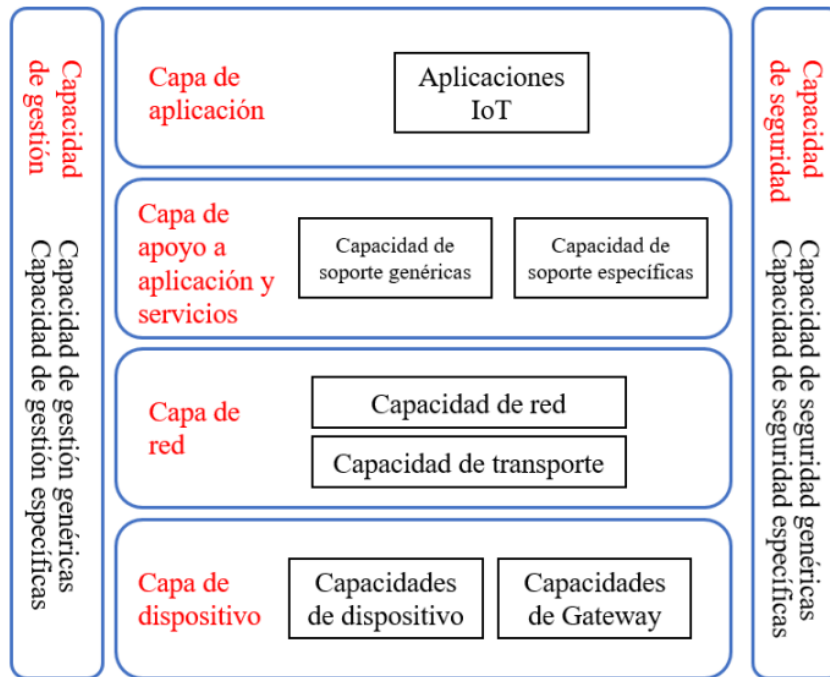
Arquitectura IoT de cuatro capas	
Capa de detección	Sensores, los objetos físicos y la obtención de datos.
Capa de intercambio de datos	Transmisión transparente de datos a través de redes de comunicación.
Capa de integración de la información	El procesamiento de la información incierta adquirida de las redes, filtrado de datos no deseados e integración de información principal en conocimiento útil para los servicios y los usuarios finales.
Capa de servicio de aplicación	Da servicio de contenido a los usuarios.

Fuente: Adaptación de Salazar & Silvestre, (2016).

La International Telecommunication Union (ITU-T) también define una arquitectura para IoT compuesta de cuatro capas: capa de aplicación, capa de apoyo a servicios y aplicaciones, capa de red y capa de dispositivos (Ver Figura 4). En adición a las cuatro capas, esta arquitectura tiene dos módulos transversales, el de gestión y el de seguridad. Esta arquitectura proporciona dos tipos de capacidades en sus módulos, las generales y específicas (ITU, 2012).

No obstante, existen otras arquitecturas de referencias para el Internet de las Cosas como la del IIoT (IoT Industrial) definida por el Industrial Internet Consortium, entre otras.

Figura 4. Modelo de referencia de IoT.

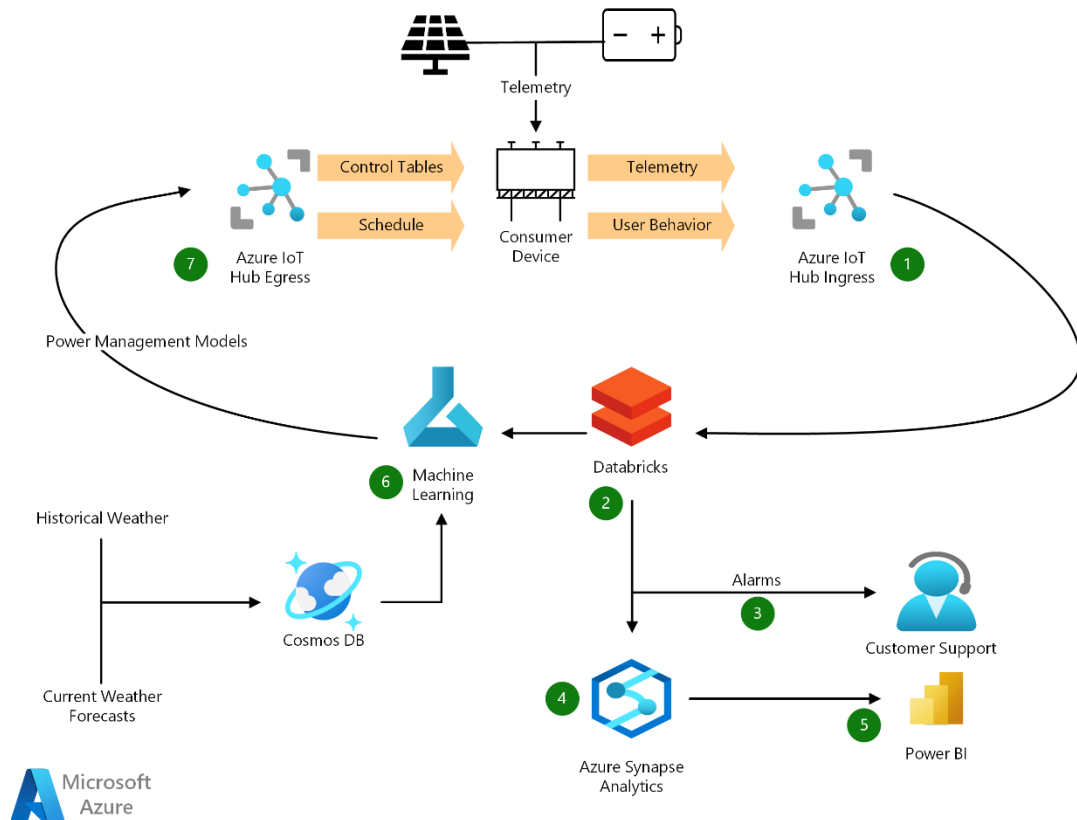


Fuente: ITU-T, 2012.

2.3.2. Plataformas IoT

Las plataformas IoT son programas de software libre o privado que aportan gran utilidad al permitir conectar redes locales de IoT a la nube garantizando la ingesta de datos para ser almacenados en servidores *cloud*, conectando el mundo real con el virtual por medio de la digitalización de datos (Ver figura 5). Esto permite a mayores rangos, conectividad de dispositivos IoT, la administración de dispositivos, la gestión de los datos en la nube permitiendo el *cloud computing*; además de gestionar la seguridad de los dispositivos u objetos conectados y analizar la información que estos entregan. Las plataformas IoT poseen en su arquitectura elementos modulares que logran integrar tecnologías como *Data Analytics*, *Machine Learning*, aplicaciones con Inteligencia Artificial, entre otras (Quiñonez, 2019).

Figura 5. Plataforma IoT Azure de Microsoft.



Fuente: Microsoft, 2023.

2.3.3. Sensores

Un sensor es un tipo de transductor y de acuerdo con el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) este se puede definir como:

Un dispositivo electrónico que produce datos eléctricos, ópticos o digitales derivados de una condición o evento físico. Los datos producidos por los sensores son luego transformados electrónicamente, por otro dispositivo, en información (salida) que es útil en la toma de decisiones realizada por dispositivos o individuos (personas) “inteligentes” (IEEE, 2007).

Existen diferentes clases de sensores que se podrían clasificar en dos grupos: en función de la variable a medir dentro de los cuales se pueden mencionar los de contacto, ópticos, térmicos, de humedad, magnéticos, infrarrojos, etc. (Ver Tabla 2). También están los sensores en función de su requerimiento de energía, que pueden ser activos o pasivos. Los sensores pasivos no requieren de una fuente de alimentación para medir el entorno, mientras que los sensores activos necesitan dicha fuente para operar. (Quiñonez, 2019).

Tabla 2. Clasificación de sensores en función de la magnitud que miden.

Magnitud	Tipo de sensor	Característica
Temperatura	Termómetro, calorímetro	Cambian su valor al detectar frío o calor generando una señal eléctrica. Son resistivos.
Luz	Óptico, fotorresistor, infrarrojo (IR)	Se activan con el contacto de luz visible o invisible. Son resistivos.
Movimiento	Infrarrojo (IR), ultrasonido, RADAR	Se activan con la detección de objetos por el contacto con las ondas la luz o de ultrasonido.
Campo eléctrico/magnético	Magnetómetro vectorial, magnético	Funcionan con el principio de inducción eléctrica y magnética por el flujo de corrientes eléctricas a través de un conductor. También se activan con el efecto de los imanes.
Humedad	Humedad, higrómetro	Se activan por la conductividad eléctrica del agua o vapor de agua generando señales eléctricas.
Sonido	Acústico, micrófono, geófono, hidrófono.	Se activan al detectar niveles de ruido en dB.
Presión	Barómetro, piezómetro	Miden la fuerza aplicada por líquidos o gases. La presión se mide en términos de fuerza por unidad de área.

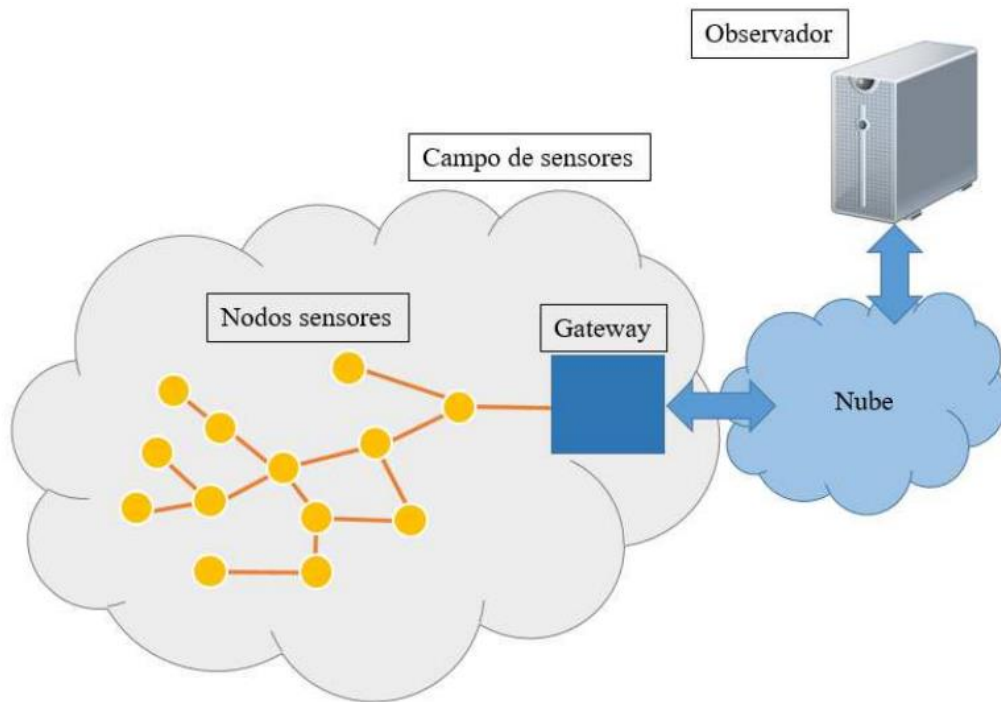
Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Red de Sensores Inalámbricos

Una Red de Sensores Inalámbricos o *Wireless Sensor Network* (WSN) está basada en una red conjunta de dispositivos y sensores generalmente de bajo costo y consumo energético, los

cuales se interconectan entre sí a través de la capa inalámbrica del Espectro Electromagnético (EEM) por medio de la cual se transmiten los datos hasta un nodo receptor para ser almacenados en un servidor como se observa en la Figura 6.

Figura 6. *Arquitectura de una WSN.*



Fuente: Adaptación de International Electrotechnical Commission, (2014).

Por lo tanto, una WSN se puede definir más concretamente como:

“(…) un conjunto de cientos o miles de dispositivos autónomos, llamados nodos sensores, que están distribuidos físicamente en un área geográfica para monitorizar condiciones físicas o ambientales, con capacidad de almacenar y comunicar datos en una red de forma inalámbrica. Un nodo sensor está compuesto por un procesador, una memoria, un transceptor, uno o más sensores, un convertor de señal analógica a digital (ADC) y una fuente de alimentación” (Rueda & Portocarrero, 2016).

2.3.4.1. Elementos de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN)

Una Red de Sensores Inalámbricos está compuesta por elementos que forman permiten el correcto funcionamiento y transmisión de información, estos elementos son: Nodos Sensoriales, Nodos Coordinadores, Gateway y Estación Base. (Parreño & Solís, 2019).

En la Tabla 3 se describe los elementos principales de una red de sensores inalámbricos.

Tabla 3. Elementos de una red de sensores inalámbricos (WSN).

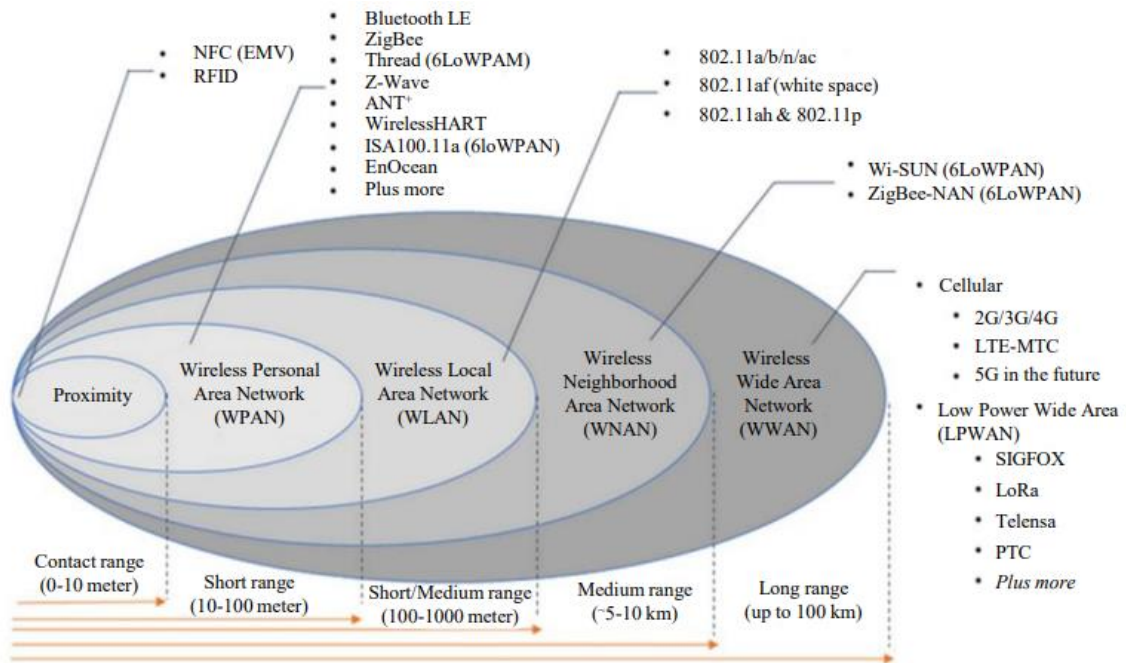
Elemento	Descripción
Nodos Sensoriales	Se encargan de recolectar información mediante la utilización de sensores de un evento físico para transmitir a otros nodos.
Nodos coordinadores	Son quienes reciben la información enviada por otros nodos. Reciben la información de forma inalámbrica y la reenvían hacia la parte de almacenamiento y tratamiento de información.
Gateway	Tiene la función de interconectar la Red de sensores inalámbricos con una red TCP/IP.
Estación base	En la estación base se encuentran los equipos que se encargan en procesar la información de la red inalámbrica para poder presentarlos y sean visualizados por los usuarios.

Fuente: Adaptación de Parreño & Solís, (2019).

2.3.5. Tecnologías de comunicación

Dentro de las tecnologías de comunicación inalámbricas existen diferentes tipos para IoT, que pueden abarcar distintos alcances, ya sea en centímetros o varios kilómetros. En la Figura 7 se clasifican este tipo de tecnologías con base a su alcance. Para comunicaciones de corto a mediano alcance, se recomiendan tecnologías inalámbricas de red de área local y personal (WPAN\LAN) tales como: Bluetooth, ZigBee, 6LowPAN y Wi-Fi. Para la comunicación de largo alcance, la recomendación es para las tecnologías de red de área amplia inalámbrica (WWAN) y estas se pueden dividir en dos tipos, ya sea para usar con licencia (celular 2G/3G/4G y 5G en el futuro) o tecnologías exentas de licencia (LPWAN LoRa, SIGFOX, entre otras) (Mahmoud & Mohamad, 2016).

Figura 7. *Tecnologías de conectividad IoT inalámbricas.*



Fuente: Mahmoud & Mohamad, (2016).

Algunas de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas implementadas en INTERNET de las Cosas son:

2.3.5.1. NFC

Las NFC (del inglés Near Field Communications) o Comunicaciones de Campo Cercano son un tipo de red de proximidad de corto alcance. Permite una comunicación entre dos dispositivos a una distancia entre ellos de típicamente 10 a 20 cm. Posee una frecuencia de portadora de 13,56 MHz y una tasa de datos máxima de 424 kbps. Esta tecnología se usa principalmente en dispositivos móviles como celulares (Molina & Martín, 2018).

2.3.5.2. Bluetooth Low Energy (BLE)

Es un tipo de red inalámbrica de área personal (WPAN) de bajo consumo. Bluetooth es una especificación regulada por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1, que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante enlace de radiofrecuencia en la banda ISM de 2,4 GHz. Puede lograr alcances de 10 hasta 100 m conectando asistentes digitales personales (PDA), teléfonos móviles, ordenadores portátiles, entre otros (Prieto, 2015).

2.3.5.3. ZigBee

El estándar ZigBee (IEEE 802.15.4) definen los niveles de red básicos para dar servicio a un tipo específico de red WPAN centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos ubicuos con baja complejidad, pequeño consumo de energía, conectividad inalámbrica de baja velocidad de datos y de bajo coste. Logra alcanzar de 70 a 100 m de rango de transmisión (Garbarino & Echeverría, 2011).

2.3.5.4. Wi-Fi

El estándar Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) es un tipo de Red Inalámbrica de Área Local (WLAN) que logra ser un gran candidato para garantizar la conectividad en aplicaciones IoT debido a su gran crecimiento en los últimos años, a pesar del alto consumo de energía, lo que le resta protagonismo en comparación con otros estándares. Sin embargo, desde 2006, esto ha cambiado cuando la comunidad Wi-Fi comenzó a aplicar tecnologías bien conocidas como el ciclo de trabajo, es decir, poner los chips en modo de suspensión la mayor parte del tiempo y los módulos Wi-Fi de baja potencia ven luces como como módulo RN171 de Microchips, que es un módulo de red de área local inalámbrica (WLAN) 802.11 b/g integrado e independiente (Mahmoud & Mohamad, 2016; Microchip Technology, 2014).

2.3.5.5. LoRa

La tecnología LoRa se puede ubicar dentro de las Redes Inalámbricas de Área Amplia (WWAN), puesto que el término LoRa proviene de *Long Range* que significa de largo alcance. Es una tecnología de radiofrecuencia que funciona como medio de conexión para el protocolo LoRaWAN, que se caracteriza por su bajo consumo energético, logrando distancias de hasta 15 Km y una velocidad de transmisión de 0.3 Kbps a 50 Kbps, permitiendo que LoRa sea una buena opción para la conectividad LPWAN (Low power). La comunicación LoRa se basa en la modulación de espectro extendido Chirp (CSS) desarrollada por SEMTEC (Campos & Chacón, 2018; Andrade, 2022).

Las bandas de frecuencia de LoRa son distribuidas según su localización así (Silva & Coello, 2020):

- EE. UU. y América utiliza la banda de 902 MHz a 928 MHz.
- Europa utiliza la banda de 863 MHz a 870 MHz.
- China (Asia) utiliza la banda de 779 MHz a 787 MHz.

2.3.6. Visualización de datos IoT.

Los datos IoT pueden ser almacenados y procesados a través de una aplicación web, realizando una serie de acciones automáticas en tiempo real en función de estos.

Estas aplicaciones tienen la capacidad de visualizar los datos obtenidos de forma sencilla y fácil de entender para el usuario y pueden ser reflejados en forma de gráficas, texto, tablas, imágenes o videos. Algunas de las aplicaciones más comunes dentro de este campo son: Freeboard.io, Power BI, Tableau, Grafana, entre otras (Salguero, 2020).

2.3.7. Ciberseguridad y control de acceso.

2.3.7.1. Ciberseguridad

La ciberseguridad es la práctica informática con capacidad de interferir y proteger los datos de amenazas digitales, Santander (2021) define una amenaza como “cualquier circunstancia o evento con el potencial de afectar adversamente las operaciones organizacionales incluyendo su misión, funciones, imagen, reputación, recursos u otras organizaciones”.

2.3.7.2. Control de acceso

Los controles de acceso son mecanismos clasificados que tienen la capacidad de “controlar el ingreso de personas a espacios restringidos en las empresas, garantizando así la seguridad de las mismas” (Vásquez, 2022).

Los controles de acceso son muy comunes y se pueden observar en la vida cotidiana como lo son puertas, cuya función es permitir o impedir el paso de alguien o algo. En el entorno de los sistemas informáticos y del internet de las cosas (IoT), existen varios tipos de control de acceso uno de ellos es el ingreso por “usuario web y contraseña” que tienen la finalidad de permitir el acceso a un sitio web por medio de un usuario y una contraseña, con el propósito de cuidar los datos de empresas o personas (Cervantes, 2022). Asimismo, se pueden mencionar los controles por doble factor de autenticación, ya sea por un código que llega por mensaje de texto al teléfono móvil, una llamada por teléfono, autenticación biométrica (facial, por voz o por huella dactilar) o autenticación con App móvil.

Otros con mucho potencial son los controles de acceso por datos biométricos donde las más comunes son por huella dactilar que permite la veracidad de la identidad de la persona, o

identificación por radiofrecuencia (RFID) (Sotelo, 2020) y control de acceso facial el cual se usa para detectar los rostros de las personas en tiempo real. Estos se utilizan para descifrar los rostros que están en diferentes posiciones que miran de frente y de lado. De modo que las detecta usando técnicas basadas en algoritmos (Singh et al, 2021).

2.3.8. Protocolos de comunicación en IoT

Estos protocolos son los encargados de suministrar la seguridad en la capa transparente para proteger los datos, Wytrebowicz et al, (2021) menciona que escoger algunos de los protocolos de comunicación en IoT es una complicada elección ya que, dependiendo del protocolo escogido, la optimización, costes del proyecto y desarrollo, se verán mejorados o afectados notoriamente.

En la actualidad existen muchos tipos de protocolos de comunicación en IoT, en la Tabla 4 se resumen los objetivos y características relacionadas de algunos de ellos:

Tabla 4. *Protocolos de comunicación en IoT.*

Protocol	Main Purpose	Defined Roles	Architectures	Discovery of	Real time
MQTT	M2M & IoT small code footprint limited bandwidth and high latency networks	publisher, subscriber, broker	client-broker-client	topics	partial
MQTT-SN	constrained devices	publisher, subscriber, broker	client-broker-client	topics, gateway	partial
CoAP	constrained devices, lossy networks	server, client, support pub/submechanism	p2p, client-server, master-slave	resources	yes
STOMP	simple data exchange	publisher, subscriber, server	client-m_server- client		partial
XMPP	generalized routing of XML data	client, server	client-m_router- client	clients	limited
WAMP	messaging & RPC	publisher, subscriber, broker, callee, caller, dealer	client-m_router- client, client- RPC_router-client	topics & RPCs	yes or partial
AMQP	corporate environments	publisher, subscriber, broker	client-m_router- client,client-broker- client		partial

Protocol	Main Purpose	Defined Roles	Architectures	Discovery of	Real time
DDS	real-time dependable systems, constrained devices (DDS-XRCE)	publisher, subscriber	p2p	publishers, subscribers, topics	yes
OPC UA	Industrial applications	client, server, publisher, subscriber	client-server, publishers-subscribers, servers-aggregator-clients, p2p,	Application profiles, objects methods and variables	yes or partial
LwM2M	General M2Mcommunication	client, server	client-server	devices	yes or partial
Weave	Smart home	publisher-subscriber	p2p, client-broker-client		

Fuente: Adaptado de Wytrebowicz et al, (2021).

2.4. Conceptos relacionados con el tema del TFM

2.4.1. Agricultura inteligente

Según el Ingeniero Técnico de Telecomunicación Eiriz para la revista “antena” define agricultura inteligente como “herramientas que recopilan, almacenan, analizan y comparten digitalmente datos y/o información a lo largo de la cadena de valor agrícola” (Eiriz, 2020).

2.4.2. Acuaponía, tipos y funciones.

La acuaponía es definida como un sistema de cultivo que unifica la hidroponía y la acuicultura, practicada desde tiempos antiguos y hoy día es considerada como un trabajo familiar con buenos resultados financieros. De igual manera menciona que en las actividades acuapónicas usan una técnica llamada “sistema de recirculación acuícola (SRA)”, la cual proporciona la más mínima cantidad de agua para el trabajo, convirtiéndola en una alternativa amigable para el medio ambiente (Gonzales, 2019).

Entre las principales funciones de la acuaponía se tienen, la disminución de los gastos de reproducción y producción, ahorro de hasta un 80% a 90% de las cantidades de agua utilizadas a comparación con los cultivos normalmente conocidos, obtención de productos sanos con

alta calidad, cuidado del medio ambiente y mejora de los ingresos monetarios de las familias cultivadoras (Gonzales, 2019).

2.4.3. Piscicultura y ejemplos

La piscicultura simplemente es la crianza de peces, esta estudia las características morfo-fisiológicas de los peces, registra las diferentes fases de desarrollo de los peces y los sistemas de producción de las diferentes especies, con la finalidad de solucionar las situaciones de improductividad asociados al mal manejo o enfermedades (Ortega, 2018).

En el desarrollo de las prácticas en la Universidad Autónoma del Estado de México del programa de zootecnia, denota algunos ejemplos de la implementación de la piscicultura, los cuales son: realización de necropsia a peces, definir los parámetros físicos y químicos del agua a través de componentes electrónicos especializados y obtención de muestras de microorganismos para luego ser examinados en laboratorio (Ortega, 2018).

2.4.4. Condiciones óptimas para el desarrollo de peces en piscicultura

Entre mejores sean las condiciones en los espacios reproductivos de peces, mejor será la recompensa en calidad y cantidad de reproducción y posterior recolección. Piamba et al, (2021) plantó como objetivo principal un monitoreo IoT aplicado a una piscicultura con especialidad en la trucha, con el fin de obtener datos a través de sensores para el monitoreo de variables críticas, con el propósito de identificar las variables que afectan la supervivencia y crecimiento de los peces. Piamba afirma que la temperatura óptima para las truchas es de 10 a 17 °C, deben tener el oxígeno disuelto en el agua superior a 5.5 mg/L y que el pH del agua este entre 7.0 y 8.0. Teniendo estos parámetros controlados se reducirán los riesgos de enfermedades, se agiliza el crecimiento y bajara la tasa de natalidad de las truchas.

Esto implica identificar ciertos factores para brindar las condiciones adecuadas a los peces para que logren su homeostasia. Estos factores son medidos por medio de un sensor de oxígeno que mide la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, un sensor de pH que mide los niveles de pH del agua y un sensor temperatura que mide el rango de temperatura que tiene el agua. Donde los datos obtenidos son procesados, mostrados y dependiendo de la especie los parámetros son controlados (Hernández, 2021).

2.5. Conclusiones sobre el estado del arte

Luego de desarrollar el levantamiento del estado del arte se observó que dentro de los proyectos e investigaciones realizadas tienen varios aspectos en común en cuanto al propósito general de los proyectos, el uso de tecnologías y los métodos de recolección de datos. En cuanto a las tecnologías más implementadas se ha tenido preferencia por las redes de sensores inalámbricos (WSN), el uso de sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura y turbidez son algunos de los más comunes. Estas investigaciones proponen el monitoreo de las variables ambientales mencionadas para el control de la calidad del agua analizando los parámetros y valores específicos para el óptimo desarrollo de los peces para cada caso.

En el mismo sentido, el presente trabajo busca el control de variables ambientales dentro del mismo contexto, aunque en este caso apunta hacia un control general de los parámetros que afectan o no el desarrollo de los peces, con el fin de prevenir enfermedades o cualquier desequilibrio dentro de los niveles normales establecidos para la producción y cría. Asimismo, se propende desarrollar un sistema mecánico y robótico que minimice el contacto de los sensores con el agua, ya que esto en casos anteriores produjo errores de medición y fallas de funcionamiento en los dispositivos. Con esta novedad se busca tomar mediciones por intervalos de tiempo sin entrar constantemente en contacto con el agua, sino solamente por tiempos específicos. Por otro lado, este proyecto busca la expansión de las tecnologías de la Industria 4.0 en el contexto de la agricultura inteligente o *Smart Farming*.

3. Descripción general de la contribución del TFM

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

El objetivo general del TFM consiste en:

Diseñar e implementar un desarrollo tecnológico para un sistema de monitoreo de factores ambientales para granjas piscícolas utilizando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT).

3.1.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del TFM son los siguientes:

- Diseñar el montaje de sensores IoT para la medición de variables ambientales del agua como pH, oxígeno disuelto y temperatura.
- Crear y configurar alertas tempranas que aporten a la prevención de eventos de mortalidad en entornos piscícolas mediante el sistema de monitoreo IoT.
- Determinar y analizar los eventos que afectan los rangos de medición establecidos de los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura mediante la visualización de informes y gráficos.

3.2. Metodología del trabajo

En este trabajo se desarrollarán 4 fases siguiendo una metodología mixta que se divide en una etapa descriptiva y una etapa experimental, cumpliendo el objetivo general que consiste en diseñar e implementar un sistema de monitoreo de factores ambientales para granjas piscícolas utilizando tecnologías IoT.

Las fases de la investigación determinan el camino del desarrollo del trabajo a realizar a nivel general, por lo cual se describen las siguientes fases:

3.2.1. Fase 1. Estudio Descriptivo

En esta fase se realizará un levantamiento del estado del arte, siguiendo estudios e investigaciones como tesis, documentos científicos, bases de datos, entre otras fuentes, que aporten sobre el trabajo realizado de tecnologías IoT en sistemas de monitoreo de granjas

piscícolas. Se estudiarán los componentes tecnológicos de hardware y software más relevantes dentro de este contexto, como sensores, sistemas embebidos, plataformas IoT, protocolos, etc., así como los habilitadores digitales presentes en este trabajo.

3.2.2. Fase 2. Desarrollo Tecnológico

En esta fase se implementará el desarrollo de un prototipo tecnológico que monitoree las variables o factores ambientales más importantes como el pH, oxígeno disuelto y temperatura. Se inspeccionará el entorno de cría de los peces llevando el control de estas variables a través de una plataforma IoT que ingesta los datos tomados de los sensores. También se realizarán simulaciones haciendo uso de plataformas para tal fin.

3.2.3. Fase 3. Implementación y pruebas de funcionamiento

Para esta fase, se implementará el prototipo mencionado en la fase 2. Esto conllevará a la articulación de partes físicas, instalación de los sensores y monitorización de las variables en el ambiente de trabajo o campo (granjas).

3.2.4. Fase 4. Validación y pruebas

En la fase final se deberán realizar pruebas de funcionamiento, validación y corrección de fallas. Esta fase también es aplicada dentro de los procesos que siguen desde la fase inicial.

3.3. Descripción general de las partes o componentes de la propuesta

En el presente trabajo se propone un desarrollo tecnológico que incluya componentes de Internet de las Cosas (IoT) para la implementación de un montaje para un sistema de monitoreo de factores ambientales del agua en granjas piscícolas con el fin de mantener bajo vigilancia preventiva parámetros fisicoquímicos del agua como lo son la escala de pH, el nivel de oxígeno disuelto, la temperatura ambiente y la temperatura del agua para disponer de un apropiado desarrollo y crecimiento de alevines o peces de cría para el consumo.

Dentro de este capítulo se describen los componentes de hardware, software, actores relevantes, alcance y limitaciones del proyecto, entre otros aspectos.

3.3.1. Alcance y limitaciones

El sistema de monitoreo IoT planteado es un desarrollo tecnológico que tiene como funciones principales capturar, enviar, procesar y visualizar datos de parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua en ambientes de cría de peces, como lo son granjas piscícolas.

Teniendo esto en cuenta, este sistema pretende recolectar los siguientes tipos de datos:

- Nivel de potencial de hidrogeno (pH) en la escala de 0 a 14.
- Nivel de oxígeno disuelto en mg/L.
- Medición de la temperatura ambiente en °C.
- Medición de la temperatura del agua en °C.

Las anteriores mediciones permitirán tomar acciones preventivas y correctivas en cuanto a la calidad del agua y la salud de los peces, mediante alarmas informativas cuando se llegue a un tope o limite dentro de cada variable.

Como limitaciones, este proyecto no puede prevenir la disminución de la tasa de mortalidad de las granjas piscícolas o de los entornos de cría mediante la acción, pero si el de prevención mediante la información del sistema de monitoreo propuesto. Los operarios son los encargados en cada caso de tomar las acciones necesarias.

3.3.2. Listado de participantes

Dentro del listado de participantes del presente proyecto se contó con la contribución del personal administrativo y operativo del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Tolú - IDTOLU.

3.3.3. Tecnologías implicadas

En esta parte se identifican las tecnologías utilizadas en la propuesta del TFM, especialmente las relacionadas con Internet de las Cosas.

Dentro de las tecnologías implicadas como habilitadores digitales de la Industria 4.0 del presente proyecto se tienen las siguientes:

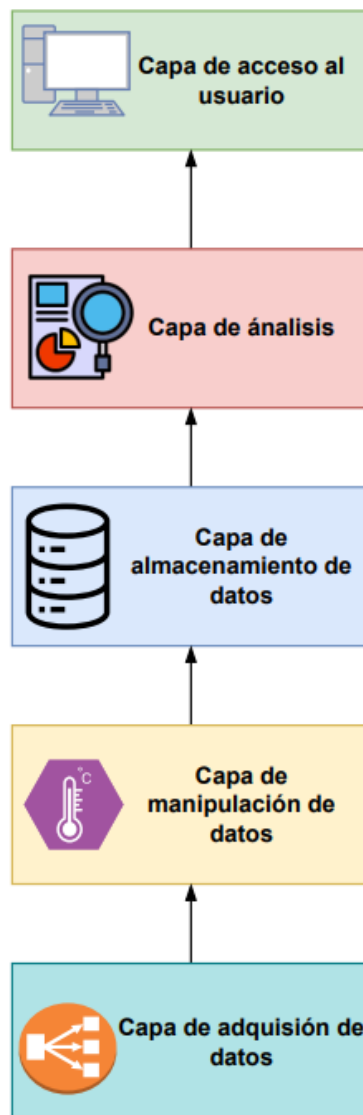
- Internet de las Cosas (IoT).
- Sensores y actuadores.
- Plataformas de Internet de las Cosas.
- Bases de datos.

- Ciberseguridad.
- Computación en la nube (Cloud Computing).
- Comunicaciones inalámbricas.

3.3.4. Arquitectura, componentes e integración de tecnologías

La arquitectura del actual trabajo se muestra en la Figura 8 y está basada en la arquitectura de la Industria 4.0 compuesta por cinco capas las cuales son: capa de adquisición de datos, capa de manipulación de datos, capa de almacenamiento de datos, capa de análisis y capa de acceso de usuario (Jena et al., 2019).

Figura 8. Arquitectura y capas del sistema.



Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Resultados esperados

Con el presente proyecto propuesto se esperan los siguientes resultados:

- Diseñar un sistema de monitoreo tecnológico de variables ambientales para granjas piscícolas haciendo uso de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT).
- Crear y configurar alertas tempranas que aporten a la prevención de eventos de mortalidad en entornos piscícolas mediante el sistema de monitoreo IoT.
- Determinar y analizar los eventos que afectan los rangos de medición establecidos de los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura mediante la visualización de informes y gráficos.
- Implementar el sistema de monitoreo propuesto.
- Dar a conocer la presente propuesta en el contexto de granjas piscícolas en el Departamento de Sucre y la región.
- Realizar pruebas de funcionamiento y validación futuras mediante el producto final.

3.3.6. Presupuesto y retorno esperado de la inversión

El presupuesto de materiales estimado de acuerdo con la información de la Tabla 5 es de \$3.626.905 (pesos colombianos), esto sin tener en cuenta el presupuesto por diseño o mano de obra de los funcionarios del laboratorio IDTOLU puesto que corren por cuenta propia.

En esta tabla de presupuesto se tuvo en cuenta los materiales físicos, hardware, componentes y dispositivos electrónicos. En cuanto a los servicios de plataformas, sistemas web y servicios en la nube, son propios de la entidad y cuenta como un servicio privado. Por lo tanto, el propósito de esta información es estimar una inversión aproximada de los sistemas y componentes hardware que se emplearon en este proyecto.

Tabla 5. Presupuesto de materiales.

Detalle	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Sensor analógico de pH	1	134105	134105
Sensor analógico de temperatura del agua	1	34094	34094
Sensor analógico de temperatura ambiente DHT11	1	8955	8955
Sensor analógico de oxígeno disuelto	1	768265	768265
Sensor fotoeléctrico de nivel de agua	1	31367	31367
ESP32 LoRa	1	175561	175561
Gateway LoRaWAN	1	795541	795541
Módulo L298N Puente H	1	14000	14000
Actuador lineal 12V/100N	1	238677	238677
Módulos solares	2	55000	110000
Batería DC	1	89990	89990
Regulador de carga DC-DC	1	18850	18850
Caja de circuitos	2	33500	67000
Soporte metálico	1	54700	54700
Soporte metálico tubular	1	69900	69900
Tanque 1000 L	1	808900	808900
Soldadura	1	48000	48000
Pintura	1	79000	79000
Otros gastos	1	80000	80000
		\$ 3.538.405	\$ 3.626.905
		Subtotal	Total

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7. Planificación general

En este proyecto se desarrollaron una serie de actividades para dar cumplimiento a la metodología propuesta en sus tres fases iniciales. Estas fases se resumen en el cronograma de la Figura 9 y se describen a continuación:

- **Actividades fase 1:** el estudio descriptivo es la primera en la cual se realizará un levantamiento del estado del arte, haciendo búsquedas en fuentes de valor como estudios e investigaciones de tesis, documentos científicos, bases de datos, entre otras. Las actividades por realizar en esta fase son:
 - ✓ Revisión bibliográfica de sistemas IoT aplicados a agricultura inteligente y granjas piscícolas.
- **Actividades fase 2:** el desarrollo tecnológico es la segunda fase en la cual se implementará el desarrollo de un prototipo tecnológico que monitoree variables o

como el pH, oxígeno disuelto y temperatura. Las actividades por realizar en esta fase son:

- ✓ Diseño de esquemáticos y modelado de arquitectura del proyecto.
 - ✓ Selección de requerimientos de elementos electrónicos, físicos y demás.
 - ✓ Adquisición de elementos electrónicos e inicio de pruebas de funcionamiento.
 - ✓ Diseño del montaje de dispositivos, sensores, cableado y configuración de programas de cómputo y plataformas.
- **Actividades fase 3:** la implantación es la tercera fase en la cual se implantará el prototipo mencionado en la fase 2 lo que indica que en esta fase se debe instalar el prototipo desarrollado para realizar pruebas de funcionamiento. Las actividades por realizar en esta fase son:
 - ✓ Montaje del sistema y prototipo.

Figura 9. Cronograma de actividades.

Título del Proyecto: Monitorización de Factores Ambientales en Granjas Piscícolas con Sistemas IoT														Fecha de inicio: 7 de julio de 2022														
Actividades	Año: 2022																Año: 2023											
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero			
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4
1. Revisión Bibliográfica de sistemas IoT aplicados a agricultura inteligente y granjas piscícolas.																												
2. Diseño de esquemáticos y modelado de arquitectura del proyecto.																												
3. Selección de requerimientos de elementos electrónicos, físicos y demás.																												
4. Adquisición de elementos electrónicos e inicio de pruebas de funcionamiento.																												
5. Diseño del montaje de dispositivos, sensores, cableado y configuración de programas de cómputo y plataformas.																												
6. Montaje del sistema y prototipo.																												
7. Pruebas y validación.																												

Fuente: Elaboración propia.

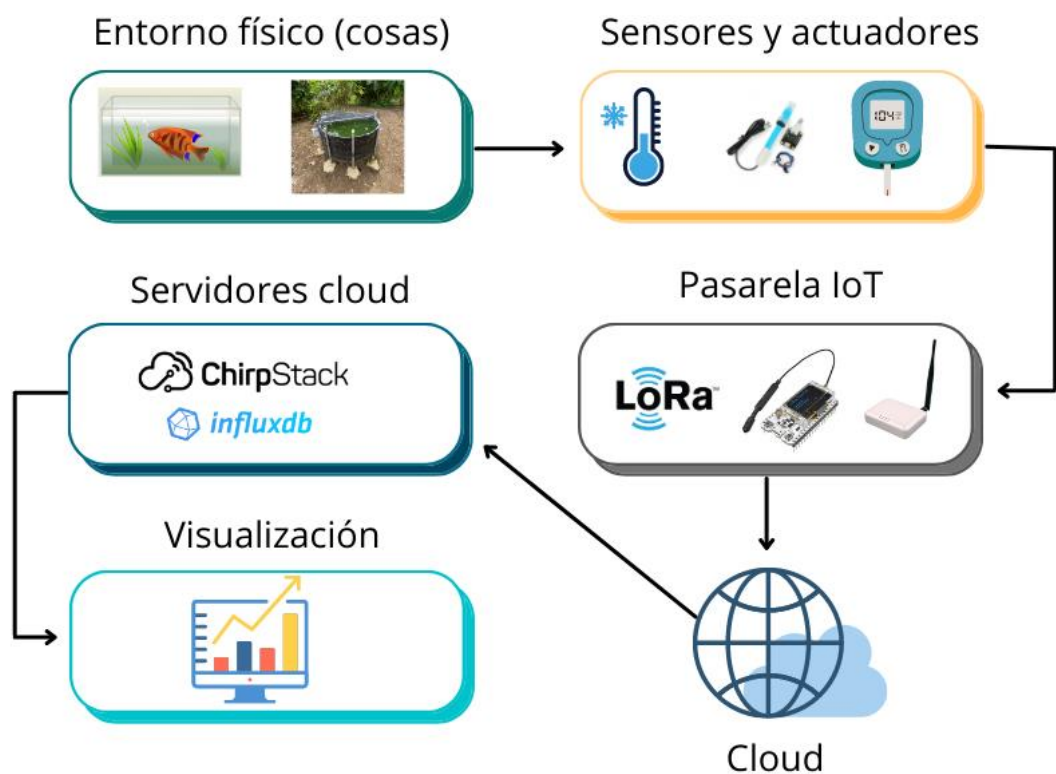
4. Descripción general de la contribución

En el presente apartado se describe de manera general la contribución del proyecto propuesto. Se muestran y analizan los resultados obtenidos con base en los objetivos propuestos.

4.1. Arquitectura del proyecto

La arquitectura del proyecto se muestra en la Figura 10 conformada básicamente, por cinco capas de acuerdo con la arquitectura de la Industria 4.0 las cuales son: capa de adquisición de datos, capa de manipulación de datos, capa de almacenamiento de datos, capa de análisis y capa de acceso de usuario (Jena et al., 2019).

Figura 10. Arquitectura y capas del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Descripción general de la arquitectura

De acuerdo con la figura 10, el sistema propuesto está conformado desde la capa física en un nivel inferior por el estanque de agua donde se da el desarrollo de los peces alevines, pasando por la capa de sensores que miden las variables en estudio (pH, oxígeno disuelto y temperatura). Las mediciones son procesadas por el módulo ESP32 de LoRaWAN, el cual preprocesa los datos y los envía a través del protocolo MQTT a los servicios de la plataforma de ingesta ChirpStack y desde allí a la nube donde son almacenados haciendo uso de la herramienta Influx DB que finalmente otorga acceso al Módulo de Gestión para ser visualizados en el *dashboard* de presentación gráfica del Módulo. Esto ocurre en el nivel superior de la arquitectura.

Desde este último nivel, los usuarios y administrativos pueden controlar y tomar decisiones a partir de las gráficas, datos y estadísticas arrojados por el Módulo de Gestión.

Dentro de los componentes del sistema de monitoreo se encuentran componentes de hardware y software que conforman los sensores de recolección de datos, los dispositivos y protocolos de comunicación y los programas de procesamiento y visualización de datos.

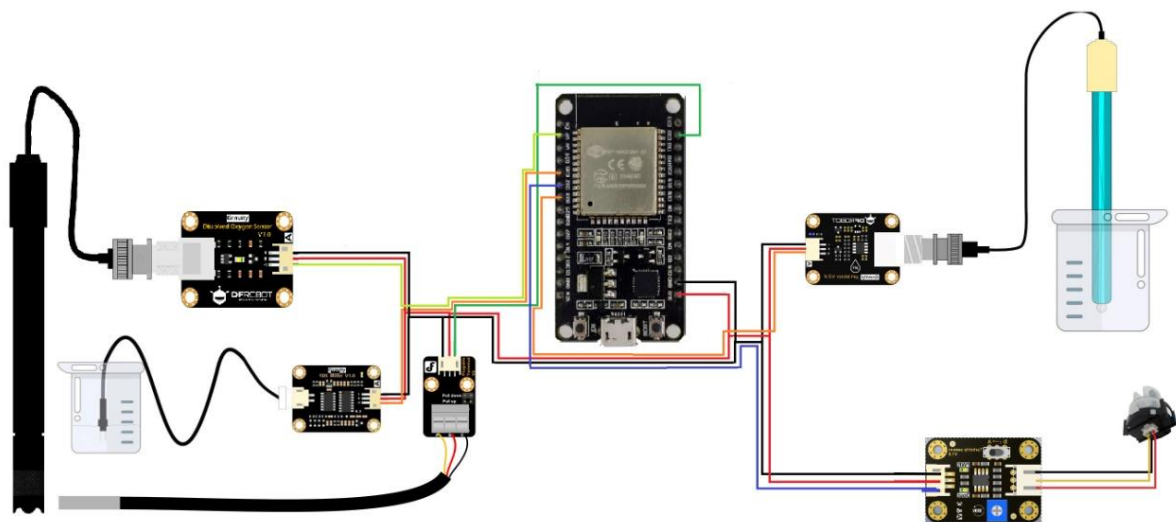
5. Descripción de componentes tecnológicos

En este capítulo se describen los componentes físicos y de hardware tales como dispositivos, sensores, componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos, así como también se describen los sistemas y programas como plataformas IoT y bases de datos que hacen parte de la solución del presente proyecto.

5.1. Componentes eléctricos, electrónicos y físicos

Los dispositivos electrónicos dentro de la solución de este proyecto son importantes para la medición de las variables ambientales en estudio, por lo cual para cada variable existe un sensor capaz de adquirir datos del medio físico. Siendo así, se hizo uso de los siguientes componentes electrónicos y eléctricos: módulo ESP32 LoRa para transmisión inalámbrica de datos, sensores de pH, oxígeno disuelto, temperatura ambiente y temperatura del agua, un sensor medidor de nivel de líquidos, además de un actuador eléctrico lineal y el sistema de alimentación autónomo. El esquema de conexiones de estos componentes se observa en la Figura 11.

Figura 11. Esquemático de conexiones.



Fuente: IDTOLU.

5.1.1. Estanque de agua

El estanque de agua es el ambiente de cría y desarrollo de los peces, convirtiéndose en el campo de medición de las variables de estudio. Como muestra la Figura 12, este estanque de

material de plástico se compone de un depósito de agua natural situado a la intemperie bajo condiciones que simulan un ambiente de cría natural.

Figura 12. Estanque de agua de cría.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Sensores y actuadores

5.1.2.1. Sensor de pH

El sensor de pH que se emplea en este proyecto es de tipo analógico y está diseñado para medir el pH entre un rango de 0 a 14 en una solución determinando si es acida ($\text{pH} < 7$), alcalina ($\text{pH} > 7$) o neutra ($\text{pH} = 7$), en condiciones estándares. Este índice, se utiliza típicamente en aplicaciones como acuaponía, acuicultura y pruebas ambientales de agua. La Figura 13 muestra el sensor que se emplea para el presente desarrollo tecnológico de referencia Gravity: Analog pH Sensor / Meter Pro-Kit V2 de la empresa tecnológica DF Robot.

De acuerdo con el fabricante, este sensor presenta los siguientes datos técnicos que se tendrán en cuenta para la calibración de este (DF Robot, 2022):

Características:

- Entrada de voltaje amplio de 3,3 ~ 5,5 V
- Señal de salida filtrada por hardware, bajo jitter

- Conector de gravedad y conector BNC, plug-and-play, no requiere soldadura
- La biblioteca de software admite la calibración de dos puntos e identifica automáticamente la solución tampón estándar.
- Conector y tamaño uniforme, conveniente para el diseño de estructuras mecánicas
- Sonda industrial - Soporte de medición 7 * 24

Figura 13. Sensor o medidor de pH analógico.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2. Sensor medidor de oxígeno disuelto en agua

El sensor de oxígeno disuelto también es de tipo analógico y se emplea para medir el oxígeno disuelto en el agua, y determinar la calidad del agua. Al igual que la acuicultura, este sensor se puede aplicar en ambientes piscícolas, medición de la calidad del agua y monitoreo ambiental. En la Figura 14 se puede observar el sensor de referencia Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino de la empresa tecnológica DF Robot.

Las siguientes son especificaciones técnicas del sensor dadas por el fabricante (DF Robot, 2022):

Sonda de oxígeno disuelto:

1. Sonda galvánica, sin necesidad de tiempo de polarización.

2. La solución de llenado y la tapa de la membrana son reemplazables, de bajo costo de mantenimiento

Placa convertidora de señal:

1. Fuente de alimentación de amplio rango de 3,3 ~ 5,5 V, compatible con la mayoría de los microcontroladores Arduino
2. Salida analógica de 0~3,0 V, compatible con todos los microcontroladores con función ADC.
3. Interfaz: plug and play

Figura 14. Sensor medidor de oxígeno disuelto en agua.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3. Sensor de temperatura del agua

El sensor de temperatura del agua utiliza la sonda DS18B20. En la Figura 15 se observa que contiene una sonda con un módulo de resistencia. Este sensor de referencia Gravity: Waterproof DS18B20 Sensor Kit, proporciona lecturas configurables de temperatura de 9 a 12 bits a través de una interfaz de 1 cable, de modo que solo se necesita conectar un cable (y tierra) desde un microprocesador central. Compatible con sistemas de 3.0-5.5V (DF Robot,

2022). La empresa fabricante es DF Robot, la cual da las siguientes características técnicas del sensor:

Tabla 6. Especificaciones técnicas del sensor Waterproof DS18B20.

Parámetro	Especificación
Tensión de funcionamiento	3,0 V ~ 5,5 V
Corriente de funcionamiento	3 μ A
Temperatura de funcionamiento	-55 °C ~ 125 °C
Rango de medición de temperatura	-55 °C ~ 125 °C
Precisión de la medición de temperatura	0,5 °C
Desviación de temperatura	\pm 0,5 °C
Interfaz	Gravity - digital
Tipo de datos	Digito(unibus)

Fuente: DF Robot, 2022.

Figura 15. Sensor medidor de temperatura del agua.

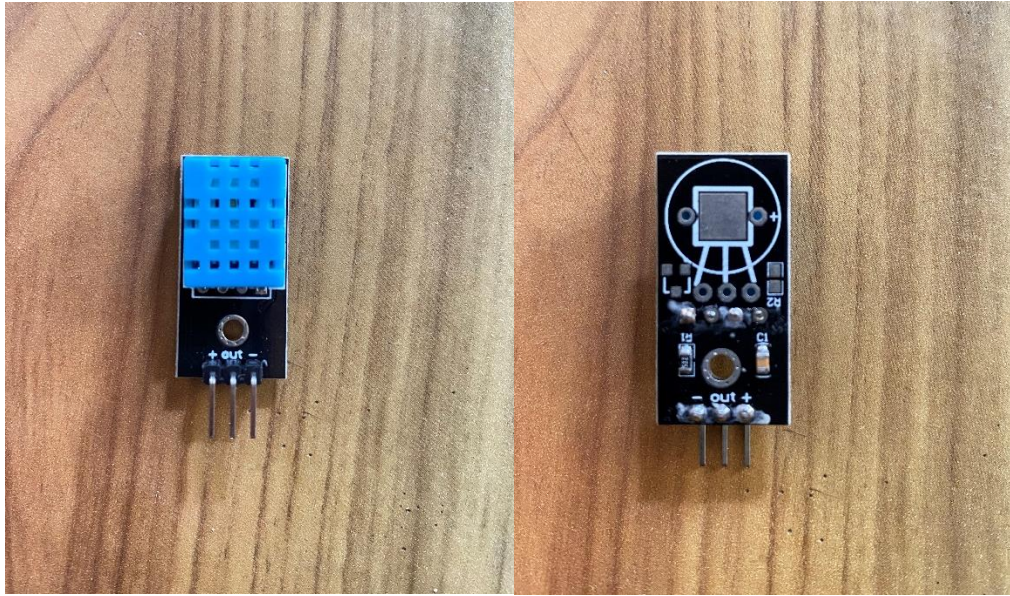


Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.4. Sensor de temperatura ambiente

Se trata del sensor DHT11, que es un módulo que permite medir la humedad relativa y temperatura ambiente. Este sensor tiene una resolución de 1°C y un rango de trabajo de 0°C a 50°C para la temperatura, y resolución de 1% y un rango de trabajo desde el 20% hasta el 95% de humedad relativa. El sensor trabaja con una tensión de 3.3 V a 5 V (Ver Figura 16).

Figura 16. Sensor de temperatura ambiente DHT-11.

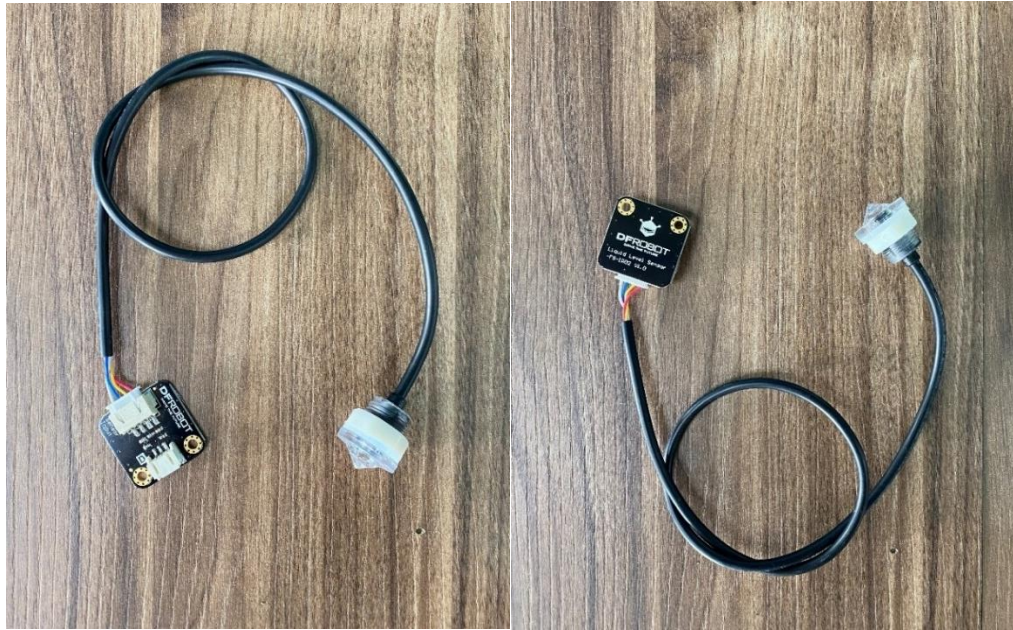


Fuente: Elaboración propia

5.1.2.5. Sensor fotoeléctrico de nivel de líquidos

Con el fin de medir la distancia entre el módulo de sensores y la superficie del estanque de agua, se hace uso del sensor fotoeléctrico de nivel de líquidos, el cual funciona con principios ópticos, es decir luz visible. Tiene la ventaja que contiene una sonda resistente a la corrosión y posee buena sensibilidad para medir las distancias. Este sensor de líquido está equipado con un adaptador de interfaz para compatibilidad con la interfaz DFRobot "Gravity" y permite plug & play, como muestra la Figura 17. Algunas características importantes de este dispositivo fabricado por DF Robot es que puede operar con 3,3 V permitiendo compatibilidad con otros sistemas y plataformas, y tiene una precisión de detección de nivel de líquido de $\pm 0,5$ mm (DF Robot, 2022).

Figura 17. Sensor fotoeléctrico de nivel de líquidos modelo FS-IR02.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.6. Actuador lineal

El actuador lineal, como lo muestra la Figura 18, tiene la función de mover en forma lineal (vertical) la cajilla donde se encuentran instalados los sensores para la toma de muestras por intervalos de tiempo. Cuenta con una capacidad de carga de hasta 100 Newtons, lo que es igual a 10 Kg y funciona a 12 VDC.

Figura 18. Actuador lineal.

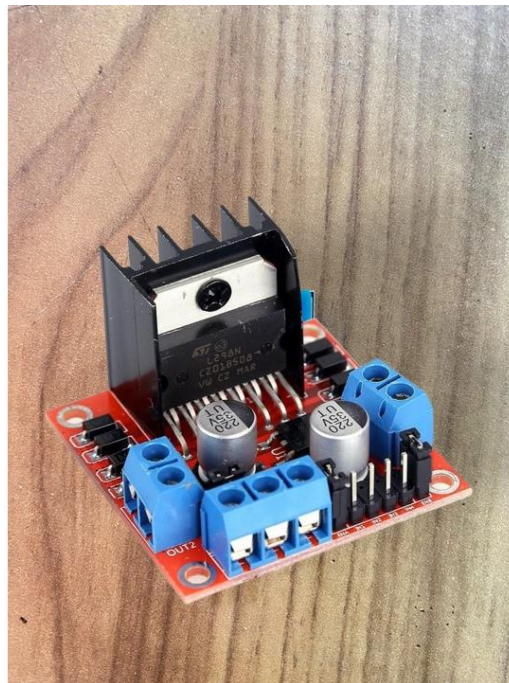


Fuente: Elaboración propia

5.1.2.7. Módulo puente H

Este módulo o controlador posee el chip L298N que controla 2 motores DC o un motor paso a paso bipolar/unipolar gracias a que cuenta con dos puentes H internos. Estos controlan los giros y sentidos de los motores que, para este caso, se encarga de controlar el actuador lineal que tiene la función de bajar y subir la caja donde se encuentran los sensores. Al bajar, el motor interno del actuador gira en un sentido, y al subir en otro, por lo cual este controlador de giros del motor protege al módulo de corto circuito interno o que la corriente se devuelva y averíe los componentes internos del módulo (Ver Figura 19).

Figura 19. Módulo puente H - L298N.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Protocolo de comunicación inalámbrica

5.1.3.1. ESP32 LoRaWAN

En este proyecto se hará uso de la placa de desarrollo IoT ESP32 LoRa. En la figura 20 se observa este dispositivo el cual cumplirá el rol de comunicación inalámbrica entre los sensores y el Gateway o router que enrutará los datos al servidor en la nube. Está diseñada por la empresa tecnológica Heltec Automation, y cuenta con otros protocolos de comunicación

inalámbricos como Wi-Fi, BLE, LoRa, también cuenta con un sistema de administración de batería Li-Po, e incluye una pantalla OLED de 0,96" para visualización de funciones y datos.

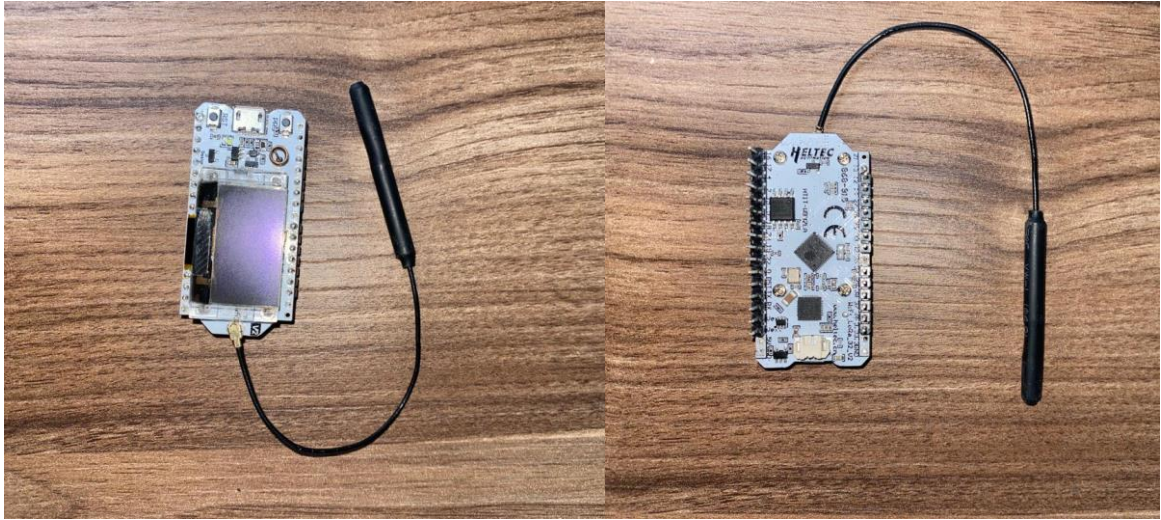
Esta placa cuenta con las siguientes especificaciones dadas por el fabricante (Heltec Automation, 2022):

Tabla 7. Especificaciones técnicas modulo Wi-Fi LoRa 32.

Parámetros	Descripción
Frecuency	470~510 MHz, 863~923 MHz
Max TX Power	19dB ± 1dB
Receiving sensitivity	-135 dBm
Wi-Fi	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
Bluetooth	Bluetooth V4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
Memory	8MB (64M-bits) SPI FLASH; 520KB internal SRAM
Battery	3.7V Lithium (SH1.25 x 2 socket)
Operating Fuente53tura	-20 ~ 70 °C
Low Power	Deep Sleep 800µA

Fuente: Heltec Automation, 2022.

Figura 20. Placa de desarrollo Wi-Fi ESP 32 LoRa para comunicación inalámbrica.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.2. Gateway LoRaWAN

Este dispositivo es la puerta de enlace o Gateway LoRaWAN que enruta los datos captados desde los sensores y a la vez transmitidos por el módulo WiFi LoRa para ser almacenados en la nube. A través del protocolo MQTT esta pasarela enruta los paquetes de datos hasta el servidor de ChirpStack donde son decodificados. En la Figura 21 se observa este dispositivo.

Figura 21. Dispositivo Gateway LoRaWAN.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Sistema de alimentación autónomo

Para energizar los componentes electrónicos y eléctricos se empleará un sistema de alimentación autónomo amigable con el medio ambiente, que se compone de módulos fotovoltaicos, regulador de voltaje y baterías.

5.1.4.1. Módulos fotovoltaicos

Se trata de módulos o paneles solares que actúan como un sensor o transductor convirtiendo la energía solar, proveniente de la luz solar, en energía eléctrica proceso que se conoce como el efecto fotovoltaico. Estos módulos están conformados por celdas hechas de un mineral conocido como silicio (Si). De acuerdo con las características técnicas mostradas en la Figura 22, estos paneles son de 5W en potencia, el voltaje máximo entregado es 18.21V y la tecnología de las celdas es de silicio policristalino.

Figura 22. Características físicas y técnicas del módulo solar.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.2. Regulador de carga DC-DC

El regulador de carga DC-DC es un módulo que regula cierto nivel de voltaje de corriente continua proveniente de los paneles a otro nivel de voltaje de corriente continua para la carga de los acumuladores o baterías, que generalmente son niveles de tensión específicos para baterías: 12V/24V ó 36V/48V. Actúa como protector de carga frente a las fluctuaciones de

voltaje, puesto que la energía que entregan los módulos es inestable. En la Figura 23 se observa el regulador de carga empleado para este sistema de alimentación.

Figura 23. Regulador de carga.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.4.3. Acumulador o batería

Es el acumulador de carga o energía eléctrica para alimentar todo el sistema. Está hecha de Litio y tiene una capacidad de 12V a 2.3AH (Ver Figura 24).

Figura 24. Batería de 12VDC.



Fuente: Elaboración propia

5.2. Plataformas IoT y Módulos de Gestión

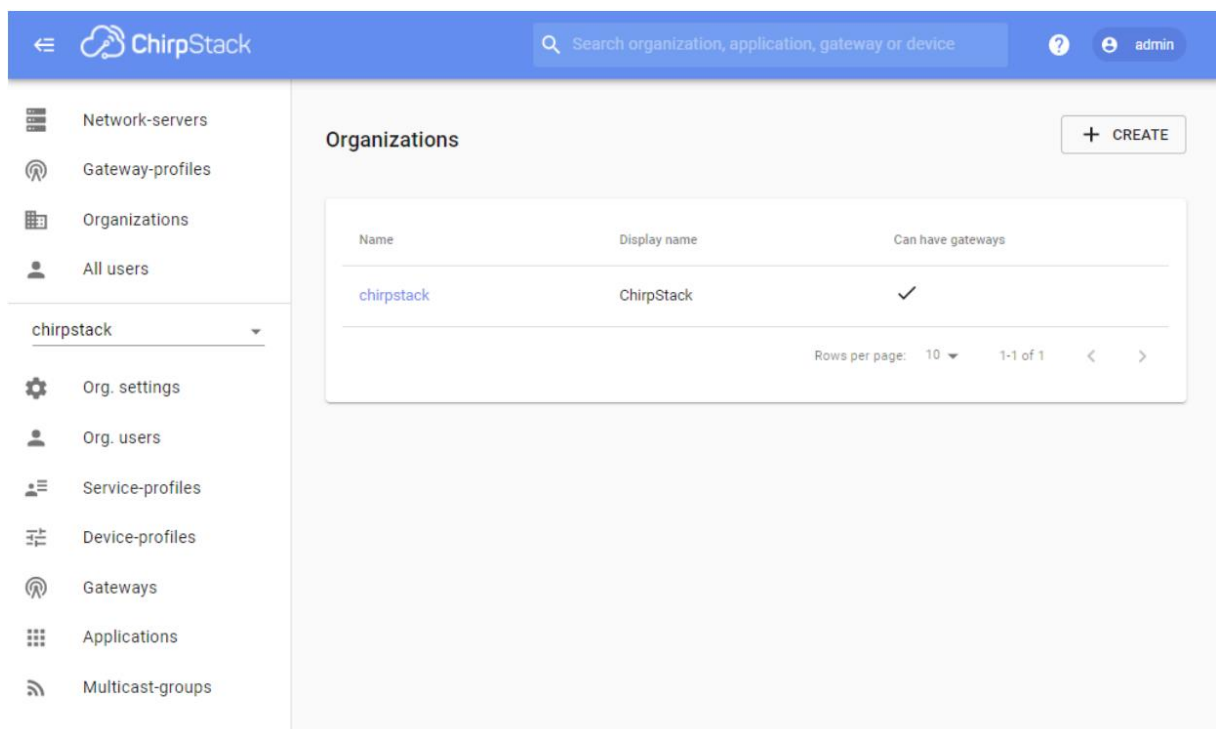
5.2.1. Plataforma ChirpStack

La plataforma ChirpStack es servidor de red o pila de LoRaWAN que se emplea para configurar redes LoRaWAN. A través de su interfaz web (Ver Figura 25) gestiona puertas de enlace, y otros dispositivos, para configurar integraciones e ingesta de datos con proveedores de nube, bases de datos y otros servicios en la web. (ChirpStack, 2022).

Los componentes que ofrece son los siguientes (ChirpStack, 2022):

- ChirpStack Gateway Bridge
- ChirpStack Network Server
- ChirpStack Application Server
- ChirpStack Gateway OS

Figura 25. Interfaz web del servidor ChirpStack.



Fuente: IDTOLU.

5.2.2. Influx DB

InfluxDB es un software de código abierto que gestiona bases de datos desarrollado por la empresa InfluxData, Inc. Es una base de datos de series de tiempo (TSDB) escrita en Go, que, entre otras cosas, es utilizada para para almacenar, gestionar y evaluar datos de sensores IoT

en aplicaciones de telemetría, monitoreo o análisis en tiempo real durante un período de tiempo determinado (Marín, 2020). InfluxDB escucha en el puerto 8086 (Ver Figura 26).

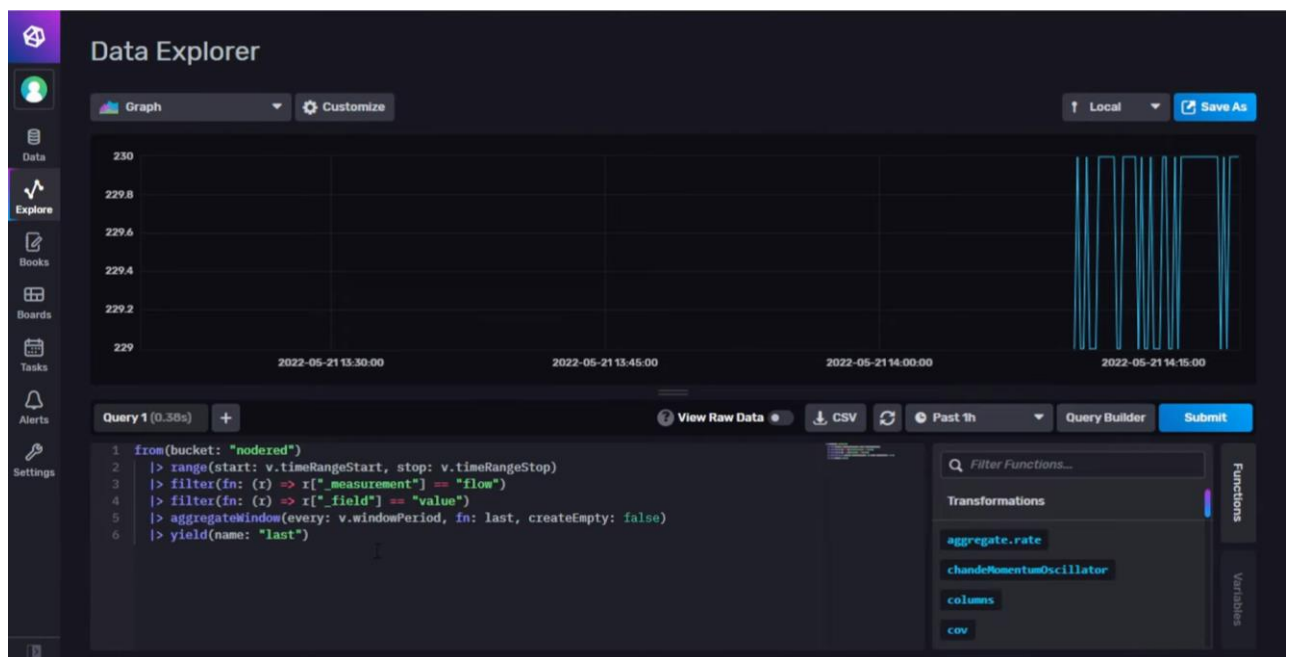
En relación con su estructura, las bases de datos en InfluxDB resultan ser muy compactas por lo que se necesitan dos o tres columnas con información sobre la fuente de los datos, el valor que aporta y la marca temporal correspondiente (IONOS, 2020), como muestra el ejemplo de la Tabla 8.

Tabla 8. Ejemplo de una base de datos de InfluxDB.

Sensor	Valor(°C)	Hora
Sensor 1	23,33	09/12/2022 @ 15:00
Sensor 2	30,09	09/12/2022 @ 15:30
Sensor 3	23,08	09/12/2022 @ 16:00
Sensor 4	27,17	09/12/2022 @ 16:30

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Interfaz web InfluxDB.

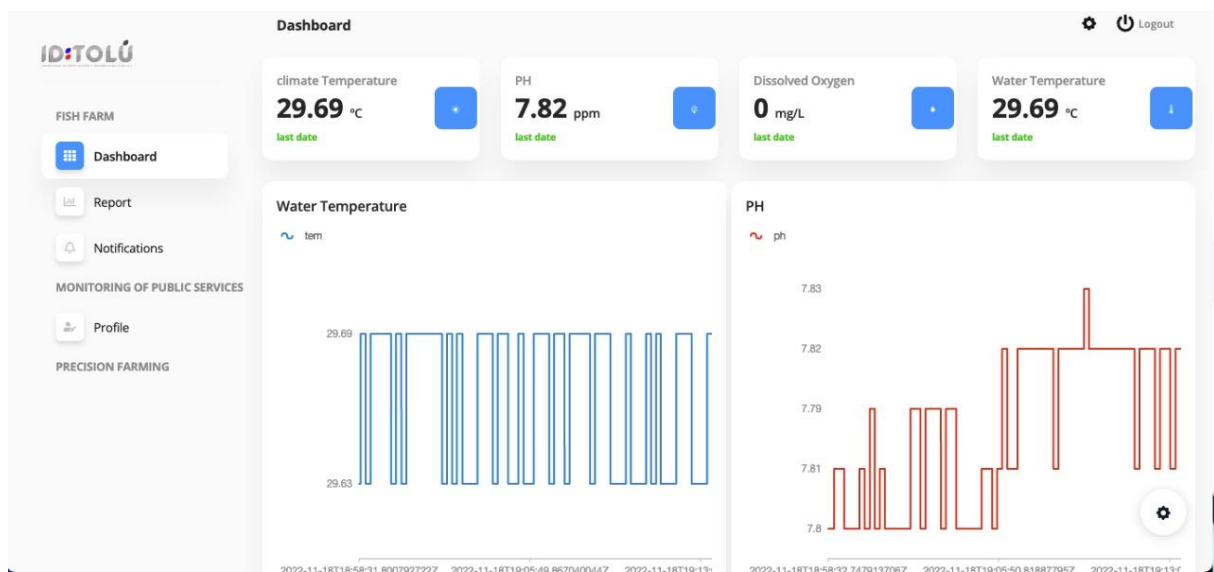


Fuente: IDTOLU.

5.2.3. Módulo de Gestión

El Módulo de Gestión es la plataforma de visualización y control de reportes propia del laboratorio IDTOLU desarrollada dentro de los microservicios que gestiona la arquitectura tecnológica interna del recinto. En este caso, se emplea para la gestión de reportes, visualización de datos, gráficos y generación de notificaciones, la cual se sincroniza por medio de la API de InfluxDB desde donde se extraen los datos temporales y que es capaz de generar tramas históricas de manera gráfica (ver Figura 27).

Figura 27. Interfaz web del Módulo de Gestión de IDTOLU.



Fuente: IDTOLU.

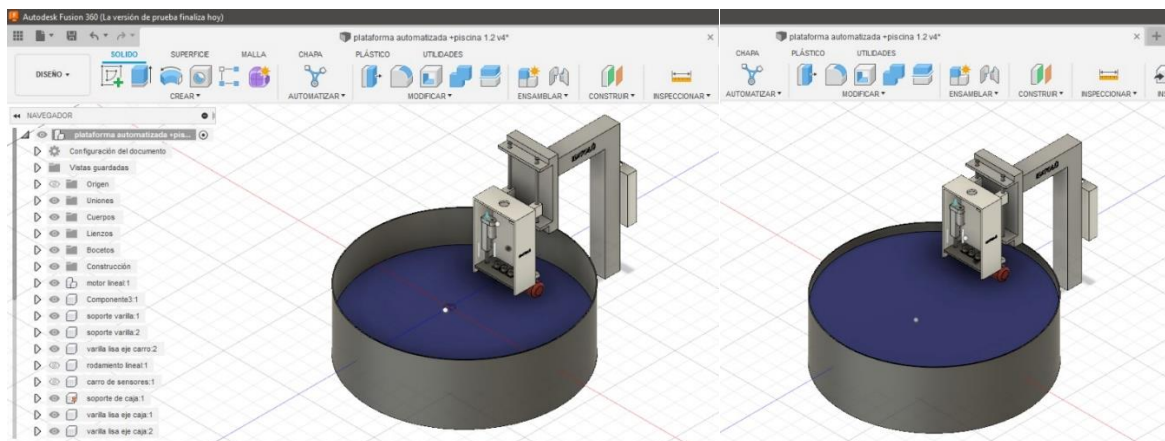
6. Desarrollo Tecnológico

En este apartado se describe el montaje del desarrollo del prototipo tecnológico que monitoree las variables ambientales en estudio (pH del agua, el oxígeno disuelto en agua, la temperatura ambiente y del agua). Como referencia se toma el estanque de agua como entorno de prueba de cría de peces llevando el control de estas variables a través de una plataforma IoT que ingesta los datos tomados de los sensores.

6.1. Articulación de partes físicas y hardware

La solución que busca monitorear las variables para la calidad del agua para granjas piscícolas cuenta con sensores, dispositivos y partes mecánicas y robóticas para optimizar las mediciones en el tanque de pruebas. Por lo tanto, en este proyecto se implementó un prototipo de actuador lineal que cuenta con un motor eléctrico de 12 VDC para maniobrar en forma vertical la toma de muestras cada cierto tiempo. La Figura 28 muestra el modelado virtual de este prototipo que básicamente es un sistema mecánico y a la vez robótico, controlado desde el ESP32 de LoRa, que se encuentra instalado en la parte lateral del tanque de agua.

Figura 28. Modelo de tanque de prueba.



Fuente: IDTOLU.

En la Figura 29 se observa el prototipo de este sistema mecánico-robótico capaz de mover cargas de hasta 10 Kg. (100 N). El sistema estará bajo el control de comandos programados desde el módulo ESP32. Este cuenta con una estructura que soporta la cajilla del circuito, el actuador lineal y la caja de sensores.

Figura 29. Prototipo de sistema mecánico-robótico.

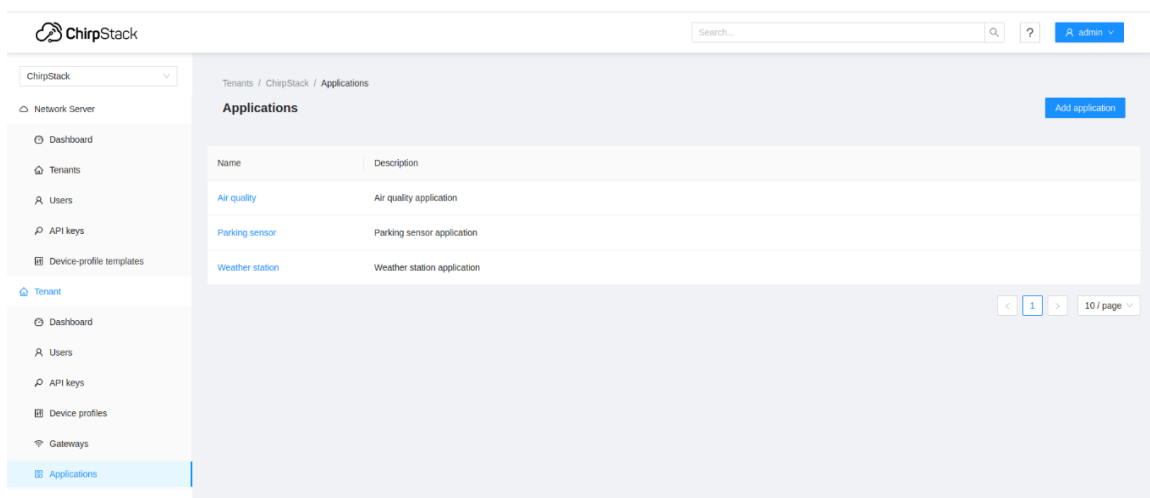


Fuente: IDTOLU.

6.2. Configuración de plataformas IoT y software de gestión

La articulación de plataformas IoT permite la ingesta, procesamiento, decodificación y almacenamiento de tramas de datos provenientes de los sensores. La plataforma IoT que se encarga de la ingesta y decodificación de las tramas de datos es ChirpStack que decodifica los mensajes del dispositivo LoRaWAN para almacenarlos en InfluxDB y los servicios en la nube.

Figura 30. Dashboard de ChirpStack.



Fuente: ChirpStack, 2022.

Dentro de este servidor de red se configuran los servicios del gateway LoRaWAN, por lo cual se establece en primer lugar la comunicación con el Network Server para recibir los datos por el gateway en la web. Para ello, se obtienen los datos de IP y el puerto por defecto establecido en la configuración del gateway. Ahora, se crea el perfil del dispositivo Gateway: se introduce un nombre, el intervalo de estadísticas, se habilitan los canales que se encuentren escuchando. Para canales extra, se selecciona la modulación, en este caso LoRa, se introduce la frecuencia, el ancho de banda (125, 250, 500 kHz) y los factores de dispersión, como se muestra en la Figura 31. Los siguientes parámetros se dejan por defecto o a criterio del usuario.

Figura 31. Configuración del perfil Gateway.

The screenshot shows the ChirpStack web interface for configuring a gateway profile. The interface includes a navigation sidebar on the left with options like Dashboard, Network-servers, Gateway-profiles, Organizations, All users, and API keys. The main content area displays the configuration for a profile named 'wis_gate_lite_2'. The configuration fields are as follows:

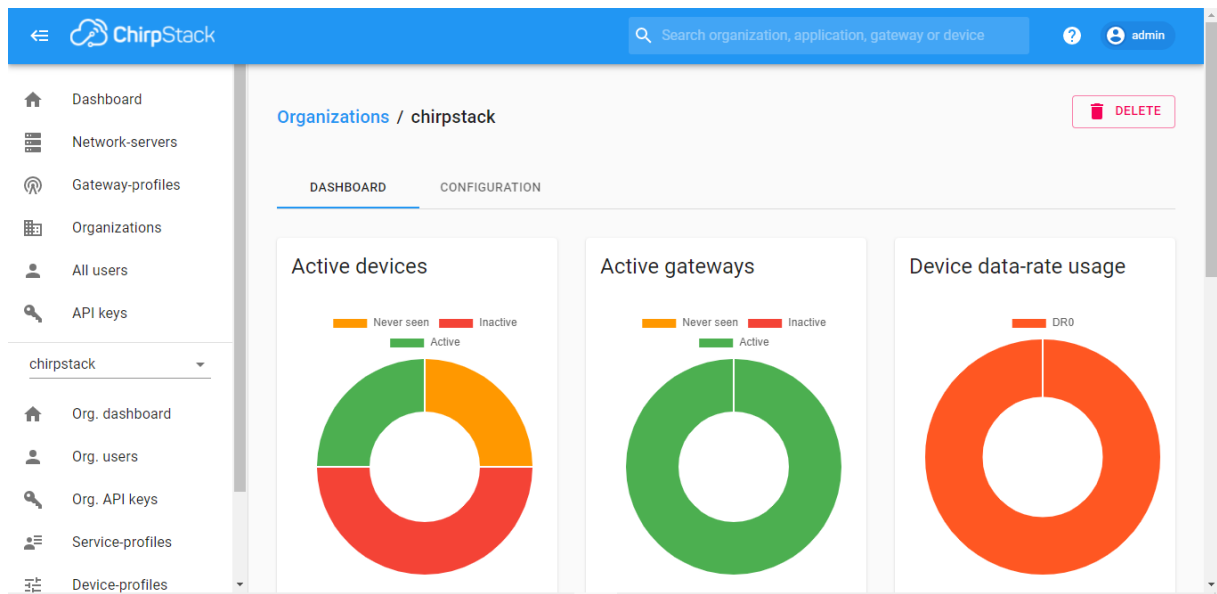
Field	Value
Name *	wis_gate_lite_2
Stats interval (seconds) *	300
Enabled channels *	0, 1, 2
Modulation *	LoRa
bandwidth (kHz) *	125 kHz
Frequency (Hz) *	915000000
Spreading-factors *	7, 8, 9, 10, 11, 12

Additional details from the interface include a search bar at the top right, a user profile 'admin', and a note about extra channels: 'Extra channel 1 (delete)'. A footer note states: 'When defining multiple spreading-factors, the channel will be configured as a multi-SF channel on the gateway.'

Fuente: IDTOLU.

En la Figura 32, se observa la ventana o *dashboard* principal de la plataforma ChirpStack, luego de configurar los parámetros subsiguientes para que el gateway establezca una conexión con el servidor ChirpStack. Como se observa en la pestaña *Active gateways* se encuentra en estado "Active" lo que indica la conexión exitosa entre gateway-servidor.

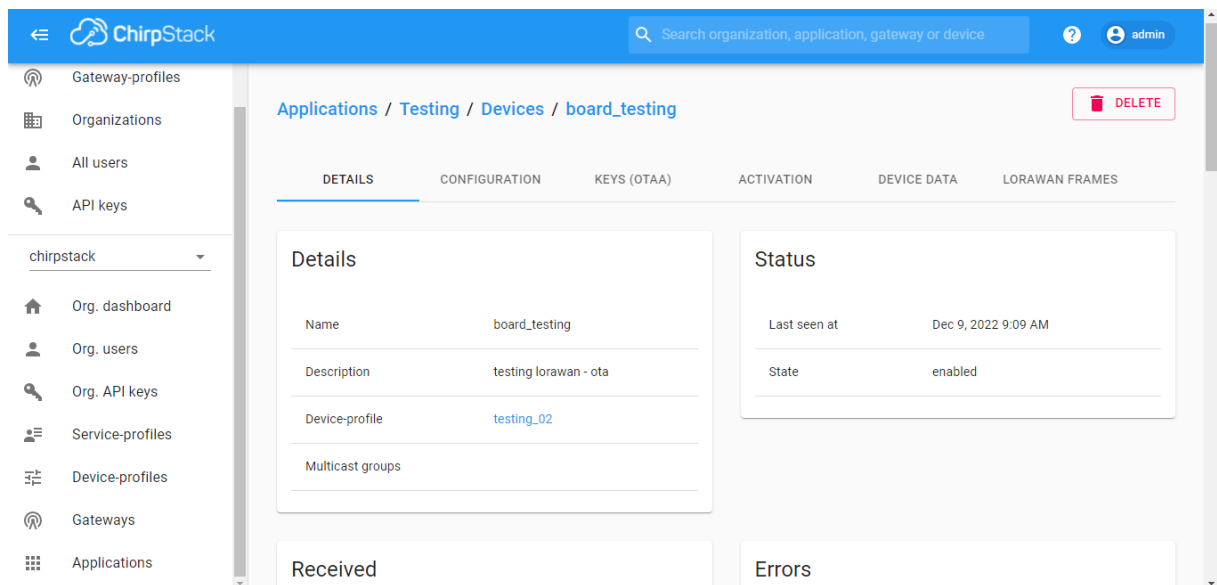
Figura 32. Dashboard principal de ChirpStack.



Fuente: IDTOLU.

En la pestaña de *Details*, como se observa en la Figura 33, un resumen de los datos de los dispositivos como el nombre, descripción, el *device profile* en donde se registró, la fecha y hora del último registro y el estado.

Figura 33. Resumen de datos de los dispositivos.

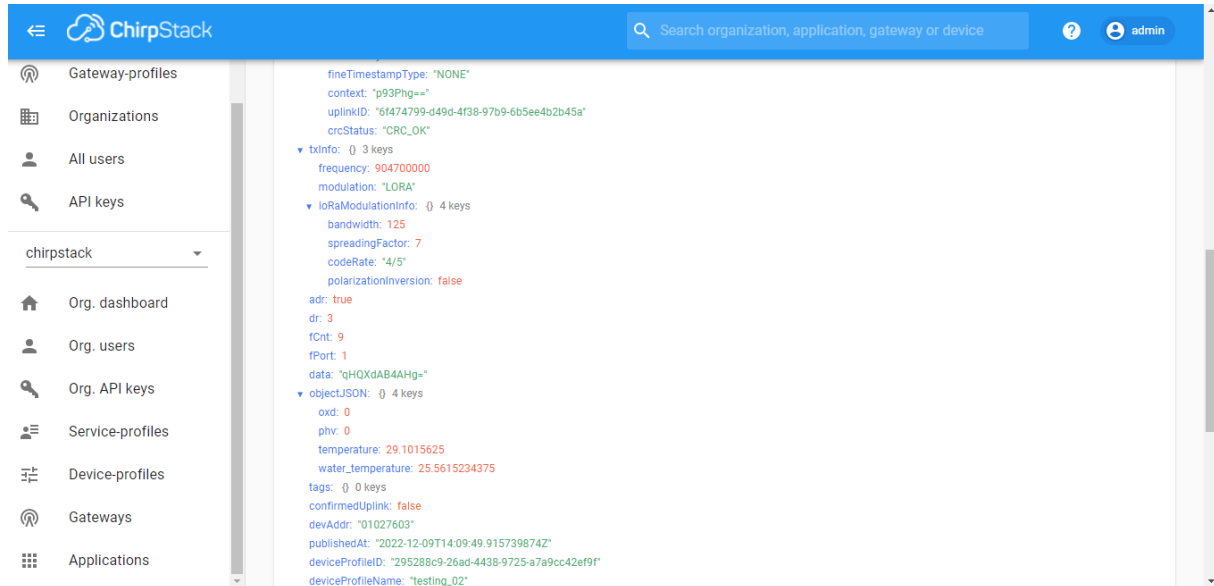


Fuente: IDTOLU.

Por su parte, en la pestaña *Device Data* los datos se muestran en tiempo real y en la Figura 34 estos datos se reciben de los dispositivos conectados cada vez que en un evento de toma de

mediciones se verán reflejados, como en este caso, los valores de temperatura ambiente y temperatura del agua.

Figura 34. Datos recibidos en LORAWAN FRAMES.

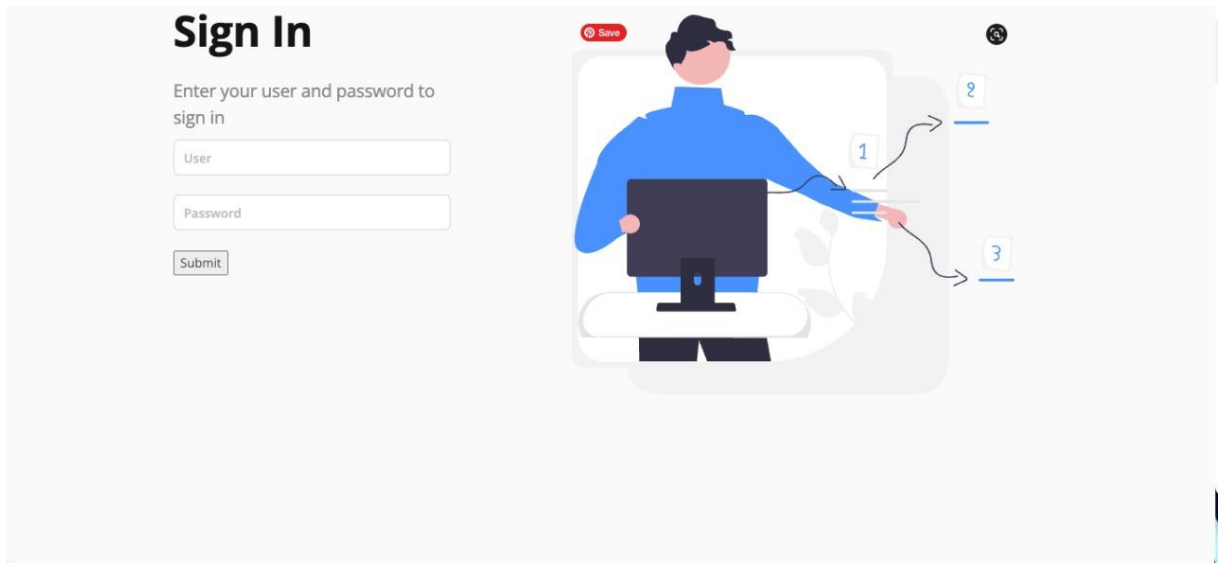


Fuente: IDTOLU.

Ahora bien, para visualizar gráficamente los datos y entenderlos fácilmente se creó el Módulo de Gestión que no es más que un software de visualización a través de *dashboards*, que además permite la descarga de reportes (archivos Excel, PDF, CSV) y gestiona notificaciones de alerta, ya sea vía WhatsApp o e-mail.

El Módulo de Gestión cuenta con control de acceso por credenciales de usuario y contraseña del administrador como muestra la Figura 35. Esto proporciona seguridad de la información de los datos que envían los sensores y control de los activos físicos. Este es un control de autenticación creado con uno de los microservicios del laboratorio.

Figura 35. Control de acceso al Módulo de Gestión.

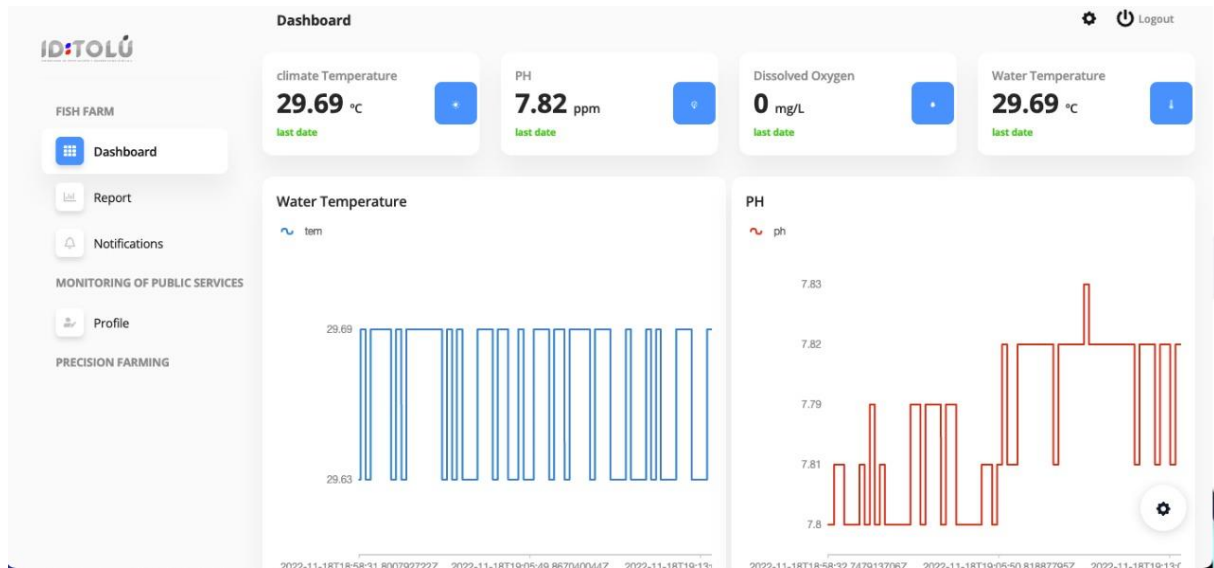


Fuente: IDTOLU.

Al acceder, la interfaz gráfica del módulo está conformada por submódulos de *Dashboard*, *Report*, *Notifications* y *Profile*:

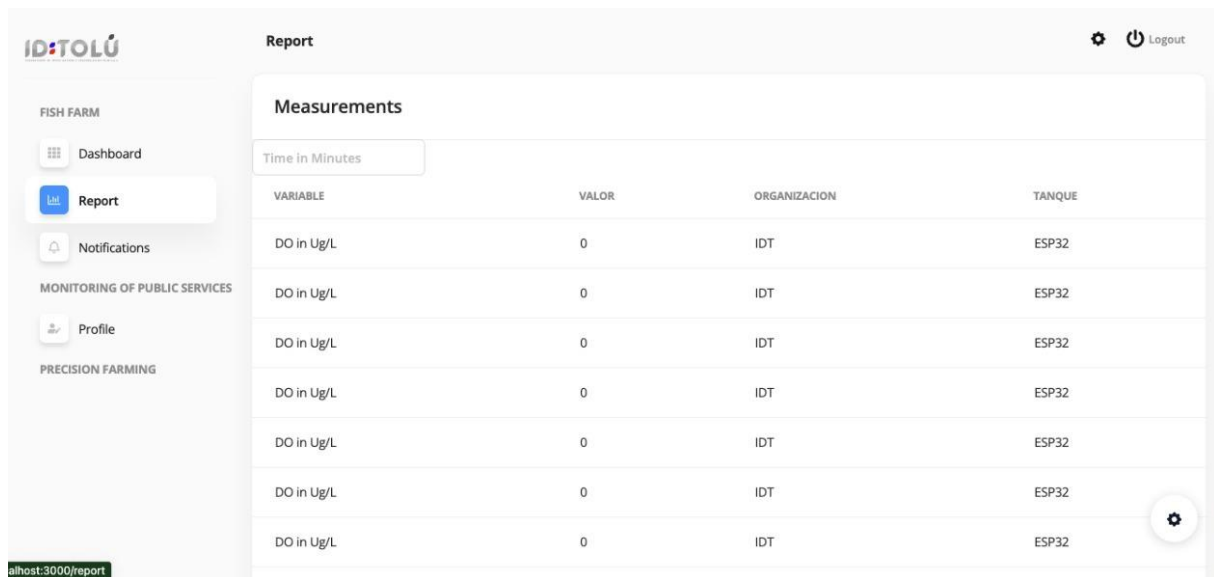
- El submódulo *Dashboard* es donde se gestiona la visualización histórica de los datos de pH, oxígeno disuelto, temperatura ambiente y temperatura del agua en gráficos y datos numéricos, como lo muestra la Figura 36.
- El submódulo *Report* gestiona los reportes de los datos históricos de tal manera que se puedan descargar en formatos de texto (Excel, PDF), como muestra la Figura 37.
- El submódulo de *Notifications* gestiona notificaciones de alerta cuando se ha detectado un evento por fuera de los límites en los valores que miden los sensores en el tanque, a través de mensajes por correo electrónico o mensajes de WhatsApp.
- El submódulo de *Profile* es para gestión administrativa del Módulo de Gestión.

Figura 36. Dashboard del Módulo de Gestión.



Fuente: IDTOLU.

Figura 37. Submódulo Report.



Fuente: IDTOLU.

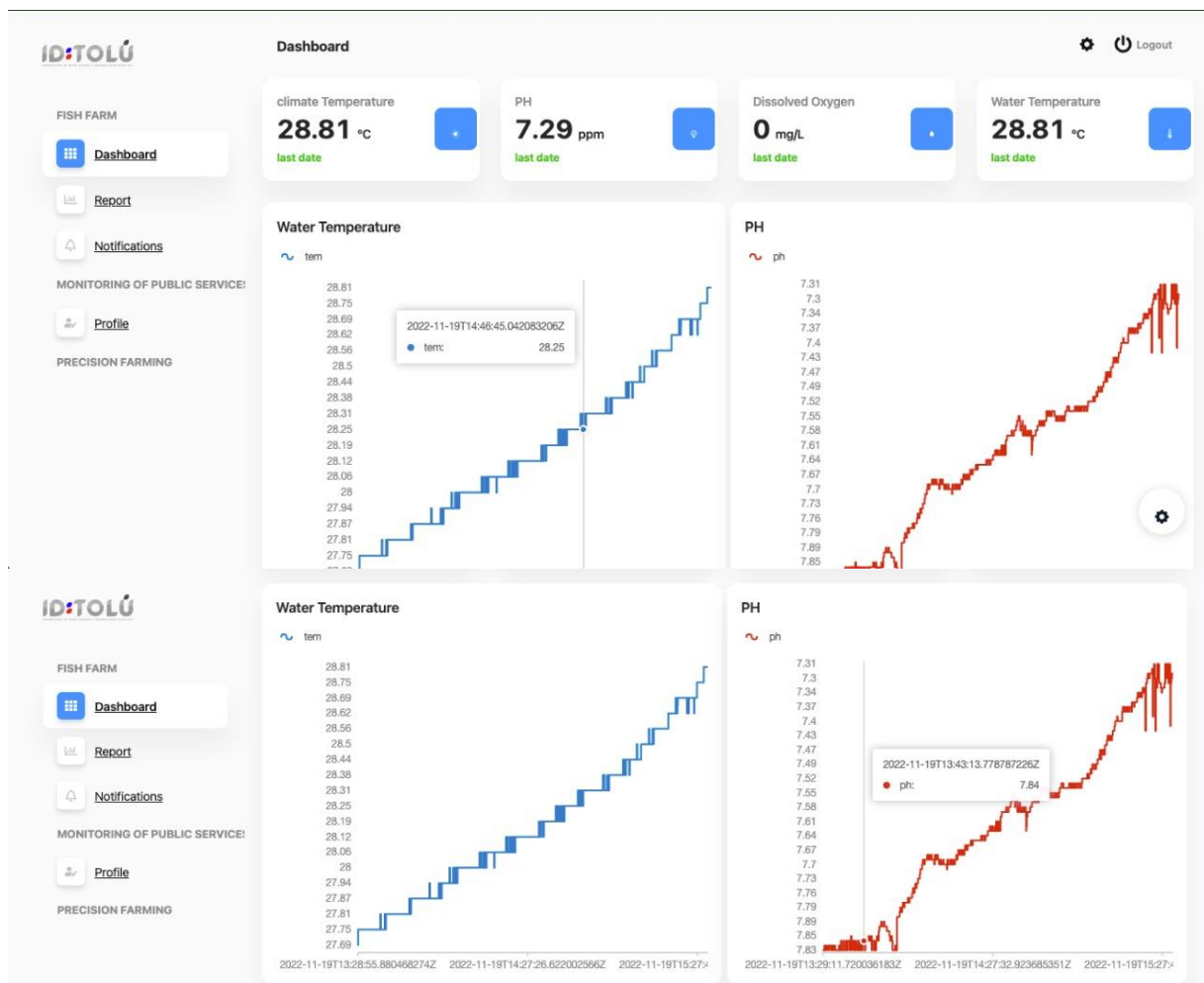
Para la generación de notificaciones y con el fin de tener un control de las variables que se están monitorizando se estipularon rangos de mediciones de prueba. En el caso del potencial de hidrógeno (pH) este se mide dentro de una escala de 0 a 14 y para este proyecto se tomó como prueba que el sensor de pH cuando envíe mediciones dentro del rango de 7 a 9 ppm se podría considerar una medición normal y esperada; cualquier otro valor por debajo o por encima se considera una alerta.

Para el caso del oxígeno disuelto en agua, se tomó como medida de prueba que esté dentro de 0 a 20 mg/L, teniendo en cuenta la misma alerta para el caso del pH, si se encuentra por fuera de esta medida se consideraría una alerta.

Ahora bien, las medidas escogidas como prueba para el factor de temperatura en este proyecto son las siguientes: en el caso de la temperatura del agua esta debe estar dentro del rango de 25 a 32 °C, mientras que el rango de mediciones de la temperatura ambiente debe estar dentro de los 25 a 34°C.

Como se logra observar en la Figura 38, se presenta una histórico de mediciones de prueba, indicando que los sensores se encuentran operando correctamente en un ambiente de prueba. Esto indica que se puede ajustar la escala de mediciones a un caso específico donde se demande mediciones de acuerdo con estudios y recomendaciones de profesionales del área.

Figura 38. *Histórico de mediciones de los sensores.*



Fuente: IDTOLU.

7. Implementación del prototipo

En el presente apartado, se describe la implementación del desarrollo tecnológico propuesto para la realización de pruebas de funcionamiento y su validación en una fase posterior. Se describe el montaje de las partes físicas, instalación de los sensores y monitorización de las variables en el tanque de agua.

7.1. Sistema de monitoreo

En la figura 39 se observa la instalación de la caja de circuitos, sensores, actuador lineal y demás componentes como el chasis y una especie de boya que mantiene el sistema mecánico del actuador flotando en el agua.

Figura 39. Sistema de monitoreo instalado.

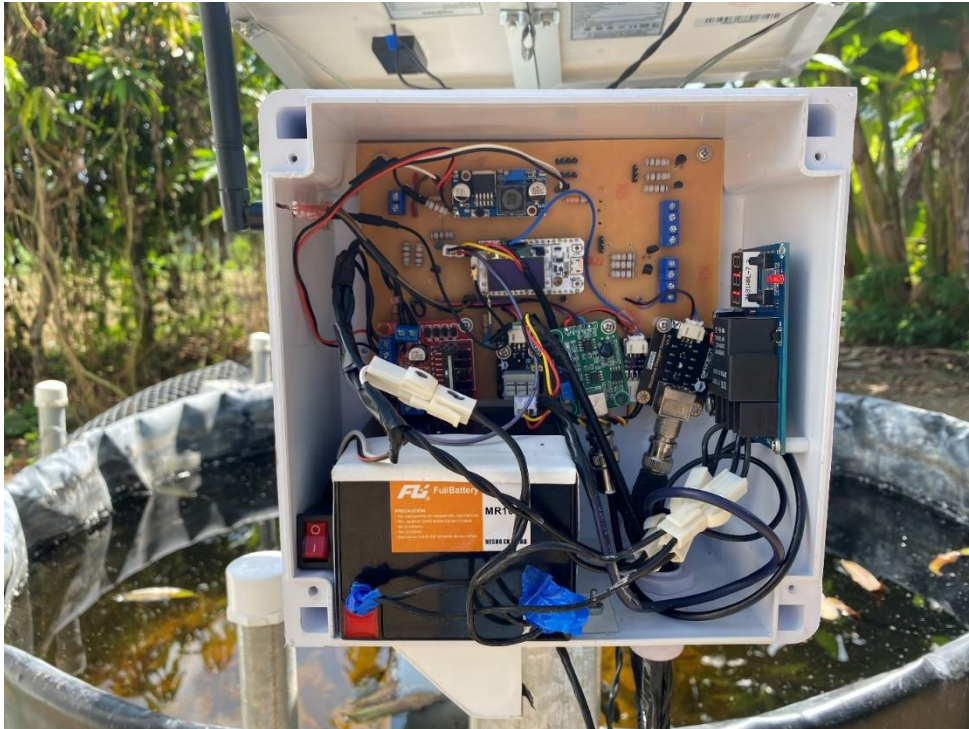


Fuente: Elaboración propia.

7.2. Caja de circuitos

La caja de circuitos, como se observa en la Figura 40, está integrada por las tarjetas electrónicas de control de los sensores, el módulo de transmisión ESP32 LoRa, sistema cableado, módulos reguladores de voltaje y corriente y una batería que alimenta el sistema. Esta batería es recargada por los módulos fotovoltaicos expuestos a intemperie.

Figura 40. Caja de circuitos.



Fuente: Elaboración propia.

7.3. Sistema de alimentación autónomo

Para la solución del montaje de sistema IoT se optó por un tipo de alimentación autónoma con módulos fotovoltaicos los cuales convierten la energía de la luz solar en energía eléctrica que es almacenada en la batería de 12V. Como se muestra en la Figura 41, los módulos solares o paneles fotovoltaicos, aprovechan la radiación solar presente en el sitio para convertir luz solar en energía eléctrica, y dado que el sistema de monitoreo no es un sistema de alta potencia, la solución autónoma funciona apropiadamente.

Figura 41. Sistema de alimentación con módulos fotovoltaicos.



Fuente: Elaboración propia.

7.4. Sistema de transmisión y recepción

Para enviar los datos de telemetría de los sensores a los servicios en la nube nativa de IDTOLU, el transmisor ESP 32 LoRa envía señales de radio en la banda de los 902 MHz a 928 MHz, la banda estándar para EE. UU. y América. El transmisor se encuentra ubicado en la caja de circuitos, mientras que el Gateway LoRa se encuentra ubicado en la torre auto-soportada como se observa en la Figura 42.

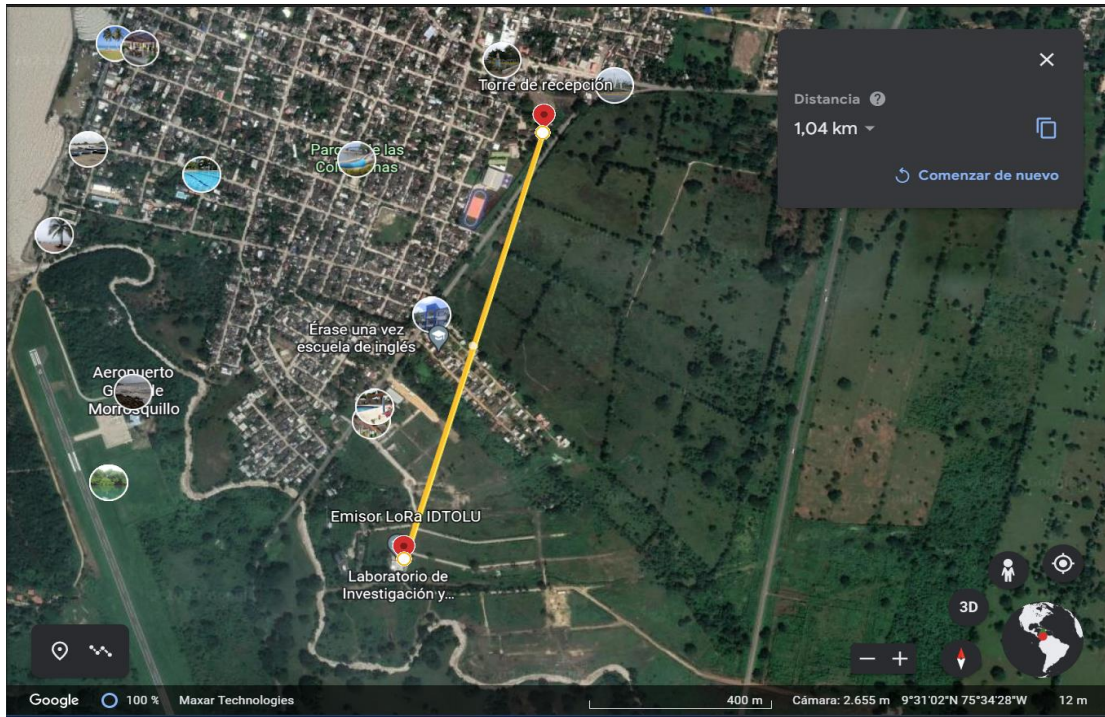
Figura 42. Ubicaciones del emisor y receptor.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 43 se observa un mapa trazado en la interfaz web de Google Earth donde se observa la ubicación de los puntos de transmisión y recepción, y la distancia entre los puntos: 1,04 km aproximadamente. Se aprovecha el alcance de largas distancias de la red LoRaWAN.

Figura 43. Distancia entre los puntos de transmisión y recepción.



Fuente: Elaboración propia.

El módulo de recepción, que se trata de una Gateway LoRaWAN o puerta de enlace, se instaló a 20 metros de altura aproximadamente en la torre de recepción, como se observa en la Figura 44. Es allí donde ocurre la migración de datos de telemetría de los sensores al servicio de nube nativa del laboratorio IDTOLU. La conexión como se describió en secciones anteriores ocurre de manera inalámbrica y estando en la nube son almacenados en las bases de datos de InfluxDB y visualizados en equipos de cómputo por medio de interfaz web del Módulo de Gestión del laboratorio.

La transferencia entre los dispositivos LoRa alcanza velocidades de 50 Kb/s, útil entre dispositivos M2M (*machine to machine*) o entre los dispositivos y la puerta de enlace.

Figura 44. Torre de recepción.

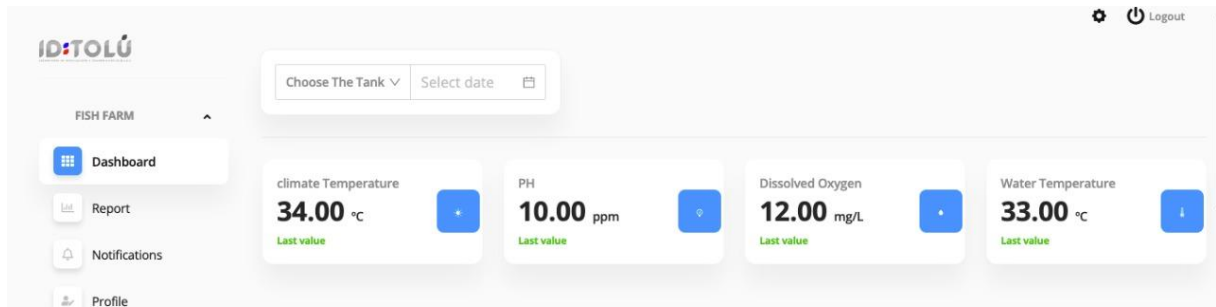


Fuente: Elaboración propia.

7.5. Análisis de resultados

En el presente apartado se analizan los resultados con base en los procesos realizados en los capítulos anteriores y teniendo en cuenta los objetivos de este trabajo. Como se observa en la Figura 45 el Módulo de Gestión visualiza las medidas de telemetría de los sensores de acuerdo con tiempos especificados. En esta se logra observar las medidas en cifras numéricas de la temperatura ambiente, en °C, el pH, en ppm (partículas por millón), el oxígeno disuelto, en mg/L y la temperatura del agua en °C. Estos dispositivos toman medidas cada 30 minutos para evitar que los sensores se expongan mucho tiempo con el contacto el agua y se averíen.

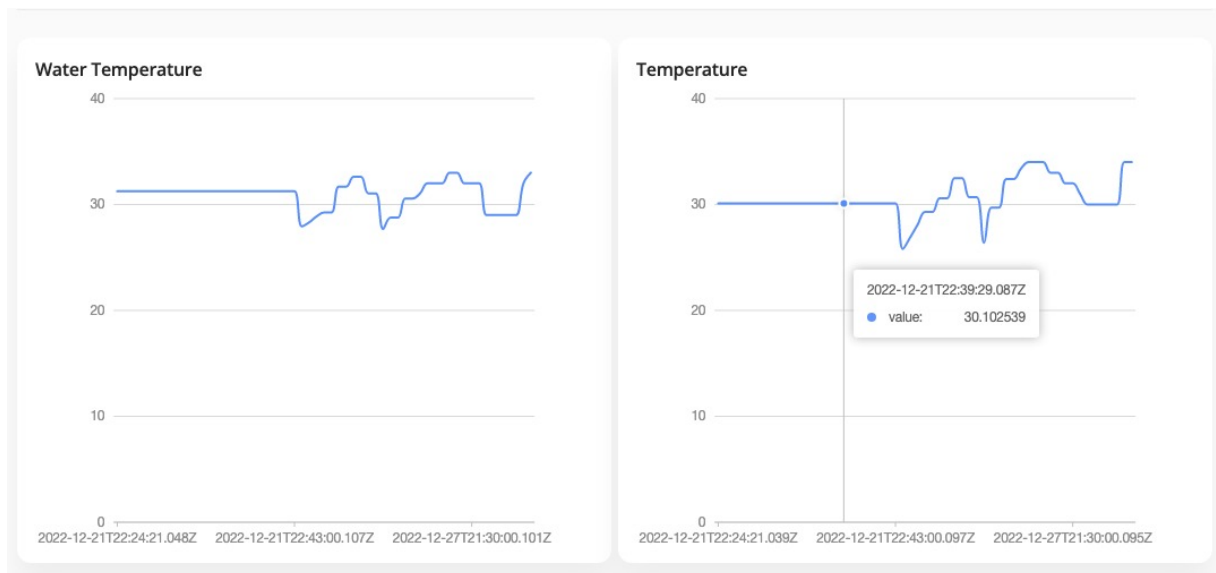
Figura 45. Mediciones de telemetría de los sensores.



Fuente: IDTOLU.

El Módulo de Gestión también puede visualizar gráficos históricos de las mediciones, como se observa en la Figura 46 donde se muestran las mediciones históricas de las variables de temperatura del agua y temperatura ambiente, respectivamente.

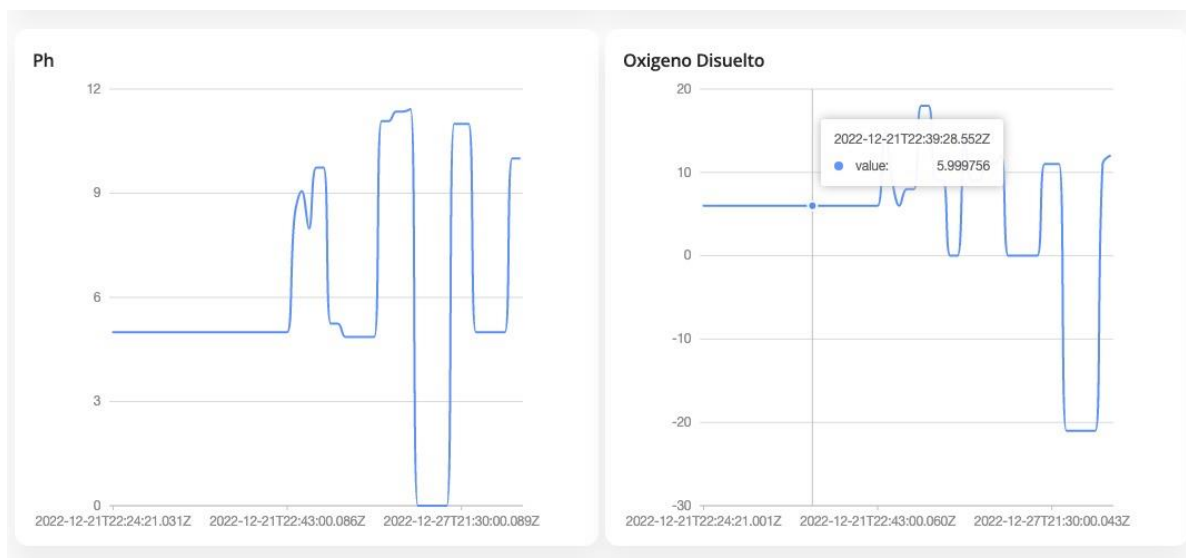
Figura 46. Mediciones históricas de temperatura del agua y ambiente.



Fuente: IDTOLU.

En la Figura 47 se observa el histórico de mediciones de las variables de pH y oxígeno disuelto. Por medio de estas graficas los operarios pueden determinar picos de elevación por cada variable, picos de depresión, rangos estables y determinar fechas o tiempos de mejor comportamiento.

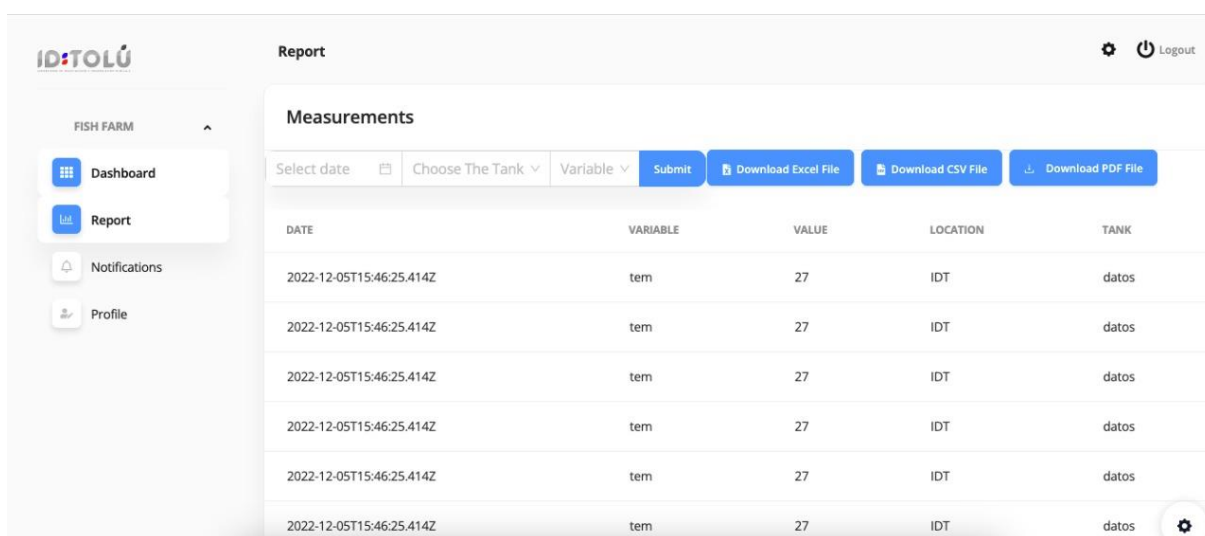
Figura 47. Mediciones históricas del pH y oxígeno disuelto.



Fuente: IDTOLU.

Este Módulo de Gestión también cuenta con la opción de generar reportes de las medidas almacenadas. Como se observa en la Figura 48 se pueden visualizar por interfaz web de la aplicación y permite exportar reportes en diferentes formatos, de un tanque en específico, de una variable o en conjunto, así como las fechas y tiempos en que se guardaron los datos. Uno de los formatos que permite exportar es un archivo Excel, como se observa en la Figura 49, o en archivos CSV (*comma separated value*) o valores separados por comas, como el de la Figura 50, que es un archivo de texto donde los datos se almacenan en un formato estructurado o tabular.

Figura 48. Reporte de medidas.



Fuente: IDTOLU.

Figura 49. Reporte de datos en archivo Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	_id	tanque	name	value	TimeStart	TimeStop	Date	Location	v	
2	6390df2bffb4	datos	ph	0	2022-12-03T18:45:00.000Z	2022-12-07T18:45:00.000Z	2022-12-05T18:45:00.000Z		0	
3	6390e057c4a	datos	ph	0	2022-12-03T18:50:00.000Z	2022-12-07T18:50:00.000Z	2022-12-05T18:50:00.000Z		0	
4	6390e184c4a	datos	ph	0	2022-12-03T18:55:00.000Z	2022-12-07T18:55:00.000Z	2022-12-05T18:55:00.000Z		0	
5	6390e2b0247	datos	ph	0	2022-12-03T19:00:00.000Z	2022-12-07T19:00:00.000Z	2022-12-05T19:00:00.000Z		0	
6	6390e3db282	datos	ph	0	2022-12-03T19:05:00.000Z	2022-12-07T19:05:00.000Z	2022-12-05T19:05:00.000Z		0	
7	6390e507f6c	datos	ph	0	2022-12-03T19:10:00.000Z	2022-12-07T19:10:00.000Z	2022-12-05T19:10:00.000Z		0	
8	6390e633f6c	datos	ph	0	2022-12-03T19:15:00.000Z	2022-12-07T19:15:00.000Z	2022-12-05T19:15:00.000Z		0	
9	6390e760eb5	datos	ph	0	2022-12-03T19:20:00.000Z	2022-12-07T19:20:00.000Z	2022-12-05T19:20:00.000Z		0	
10	6390e88beb5	datos	ph	0	2022-12-03T19:25:00.000Z	2022-12-07T19:25:00.000Z	2022-12-05T19:25:00.000Z		0	
11	6390e9b794c	datos	ph	0	2022-12-03T19:30:00.000Z	2022-12-07T19:30:00.000Z	2022-12-05T19:30:00.000Z		0	
12	6390eae4f96	datos	ph	0	2022-12-03T19:35:00.000Z	2022-12-07T19:35:00.000Z	2022-12-05T19:35:00.000Z		0	
13	6390f69c5db	datos	ph	0	2022-12-03T19:40:00.000Z	2022-12-07T19:40:00.000Z	2022-12-05T19:40:00.000Z		0	
14	6390f7c85db	datos	ph	0	2022-12-03T19:45:00.000Z	2022-12-07T19:45:00.000Z	2022-12-05T19:45:00.000Z		0	
15	6393385819c	datos	ph	0	2022-12-05T12:00:00.000Z	2022-12-09T12:00:00.000Z	2022-12-05T12:00:00.000Z		0	
16	6393398419c	datos	ph	0	2022-12-05T12:05:00.000Z	2022-12-09T12:05:00.000Z	2022-12-05T12:05:00.000Z		0	
17	63933ab019c	datos	ph	0	2022-12-05T12:10:00.000Z	2022-12-09T12:10:00.000Z	2022-12-05T12:10:00.000Z		0	
18	63933bdc19c	datos	ph	0	2022-12-05T12:15:00.000Z	2022-12-09T12:15:00.000Z	2022-12-05T12:15:00.000Z		0	
19	63933d0819c	datos	ph	0	2022-12-05T12:20:00.000Z	2022-12-09T12:20:00.000Z	2022-12-05T12:20:00.000Z		0	
20	63933e3319c	datos	ph	0	2022-12-05T12:25:00.000Z	2022-12-09T12:25:00.000Z	2022-12-05T12:25:00.000Z		0	
21	63933f6019c	datos	ph	0	2022-12-05T12:30:00.000Z	2022-12-09T12:30:00.000Z	2022-12-05T12:30:00.000Z		0	
22	6393408c19c	datos	ph	0	2022-12-05T12:35:00.000Z	2022-12-09T12:35:00.000Z	2022-12-05T12:35:00.000Z		0	
23	639341b719c	datos	ph	0	2022-12-05T12:40:00.000Z	2022-12-09T12:40:00.000Z	2022-12-05T12:40:00.000Z		0	
24	639342e319c	datos	ph	0	2022-12-05T12:45:00.000Z	2022-12-09T12:45:00.000Z	2022-12-05T12:45:00.000Z		0	
25	6393440f19c	datos	ph	0	2022-12-05T12:50:00.000Z	2022-12-09T12:50:00.000Z	2022-12-05T12:50:00.000Z		0	
26	63934538301	datos	ph	0	2022-12-05T12:55:00.000Z	2022-12-09T12:55:00.000Z	2022-12-05T12:55:00.000Z		0	

Fuente: IDTOLU.

Figura 50. Reporte de datos en archivo CSV.

```

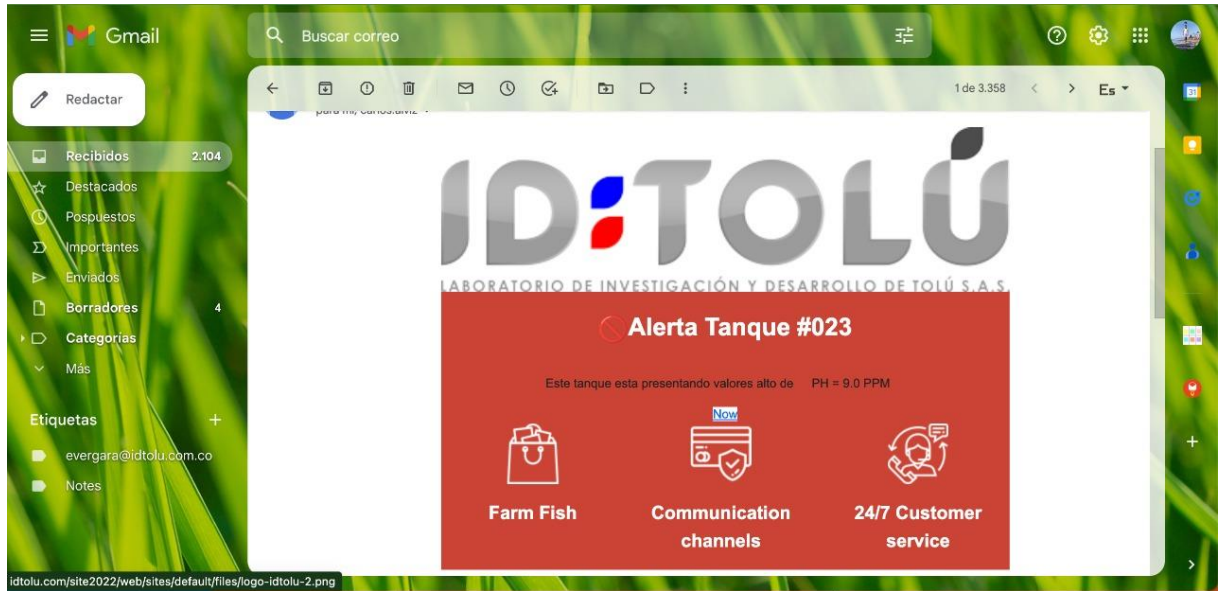
Report: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver

"ID","TANK","VARIABLE","VALUE","TIMESTART","TIMESTOP","DATE","LOCATION","TABLE"
"6390df2bffb4","datos","ph","0","2022-12-03T18:45:00.000Z","2022-12-07T18:45:00.000Z","2022-12-05T18:45:00.000Z","","IDT","0"
"6390e057c4a","datos","ph","0","2022-12-03T18:50:00.000Z","2022-12-07T18:50:00.000Z","2022-12-05T18:50:00.000Z","","IDT","0"
"6390e184c4a","datos","ph","0","2022-12-03T18:55:00.000Z","2022-12-07T18:55:00.000Z","2022-12-05T18:55:00.000Z","","IDT","0"
"6390e2b0247","datos","ph","0","2022-12-03T19:00:00.000Z","2022-12-07T19:00:00.000Z","2022-12-05T19:00:00.000Z","","IDT","0"
"6390e3db282","datos","ph","0","2022-12-03T19:05:00.000Z","2022-12-07T19:05:00.000Z","2022-12-05T19:05:00.000Z","","IDT","0"
"6390e507f6c","datos","ph","0","2022-12-03T19:10:00.000Z","2022-12-07T19:10:00.000Z","2022-12-05T19:10:00.000Z","","IDT","0"
"6390e633f6c","datos","ph","0","2022-12-03T19:15:00.000Z","2022-12-07T19:15:00.000Z","2022-12-05T19:15:00.000Z","","IDT","0"
"6390e760eb5","datos","ph","0","2022-12-03T19:20:00.000Z","2022-12-07T19:20:00.000Z","2022-12-05T19:20:00.000Z","","IDT","0"
"6390e88beb5","datos","ph","0","2022-12-03T19:25:00.000Z","2022-12-07T19:25:00.000Z","2022-12-05T19:25:00.000Z","","IDT","0"
"6390e9b794c","datos","ph","0","2022-12-03T19:30:00.000Z","2022-12-07T19:30:00.000Z","2022-12-05T19:30:00.000Z","","IDT","0"
"6390eae4f96","datos","ph","0","2022-12-03T19:35:00.000Z","2022-12-07T19:35:00.000Z","2022-12-05T19:35:00.000Z","","IDT","0"
"6390f69c5db","datos","ph","0","2022-12-03T19:40:00.000Z","2022-12-07T19:40:00.000Z","2022-12-05T19:40:00.000Z","","IDT","0"
"6390f7c85db","datos","ph","0","2022-12-03T19:45:00.000Z","2022-12-07T19:45:00.000Z","2022-12-05T19:45:00.000Z","","IDT","0"
"6393385819c","datos","ph","0","2022-12-05T12:00:00.000Z","2022-12-09T12:00:00.000Z","2022-12-05T12:00:00.000Z","","IDT","0"
"6393398419c","datos","ph","0","2022-12-05T12:05:00.000Z","2022-12-09T12:05:00.000Z","2022-12-05T12:05:00.000Z","","IDT","0"
"63933ab019c","datos","ph","0","2022-12-05T12:10:00.000Z","2022-12-09T12:10:00.000Z","2022-12-05T12:10:00.000Z","","IDT","0"
"63933bdc19c","datos","ph","0","2022-12-05T12:15:00.000Z","2022-12-09T12:15:00.000Z","2022-12-05T12:15:00.000Z","","IDT","0"
"63933d0819c","datos","ph","0","2022-12-05T12:20:00.000Z","2022-12-09T12:20:00.000Z","2022-12-05T12:20:00.000Z","","IDT","0"
"63933e3319c","datos","ph","0","2022-12-05T12:25:00.000Z","2022-12-09T12:25:00.000Z","2022-12-05T12:25:00.000Z","","IDT","0"
"63933f6019c","datos","ph","0","2022-12-05T12:30:00.000Z","2022-12-09T12:30:00.000Z","2022-12-05T12:30:00.000Z","","IDT","0"
"6393408c19c","datos","ph","0","2022-12-05T12:35:00.000Z","2022-12-09T12:35:00.000Z","2022-12-05T12:35:00.000Z","","IDT","0"
"639341b719c","datos","ph","0","2022-12-05T12:40:00.000Z","2022-12-09T12:40:00.000Z","2022-12-05T12:40:00.000Z","","IDT","0"
"639342e319c","datos","ph","0","2022-12-05T12:45:00.000Z","2022-12-09T12:45:00.000Z","2022-12-05T12:45:00.000Z","","IDT","0"
"6393440f19c","datos","ph","0","2022-12-05T12:50:00.000Z","2022-12-09T12:50:00.000Z","2022-12-05T12:50:00.000Z","","IDT","0"
"63934538301","datos","ph","0","2022-12-05T12:55:00.000Z","2022-12-09T12:55:00.000Z","2022-12-05T12:55:00.000Z","","IDT","0"
"639347b066816b6bb4e99","datos","ph","0","2022-12-05T15:00:00.000Z","2022-12-09T15:00:00.000Z","2022-12-05T15:00:00.000Z","","IDT","0"
"639349b066816b6bb4e9f","datos","ph","0","2022-12-05T15:05:00.000Z","2022-12-09T15:05:00.000Z","2022-12-05T15:05:00.000Z","","IDT","0"
"63934cf7b066816b6bb4e9a","datos","ph","0","2022-12-05T15:10:00.000Z","2022-12-09T15:10:00.000Z","2022-12-05T15:10:00.000Z","","IDT","0"
"639349f3b066816b6bb4eaf","datos","ph","0","2022-12-05T15:15:00.000Z","2022-12-09T15:15:00.000Z","2022-12-05T15:15:00.000Z","","IDT","0"
"639342b066816b6bb4ebc","datos","ph","0","2022-12-05T15:20:00.000Z","2022-12-09T15:20:00.000Z","2022-12-05T15:20:00.000Z","","IDT","0"
"639343b066816b6bb4ec0","datos","ph","0","2022-12-05T15:25:00.000Z","2022-12-09T15:25:00.000Z","2022-12-05T15:25:00.000Z","","IDT","0"
"639347b066816b6bb4ec7","datos","ph","0","2022-12-05T15:30:00.000Z","2022-12-09T15:30:00.000Z","2022-12-05T15:30:00.000Z","","IDT","0"
"639345c4b066816b6bb4ec9","datos","ph","0","2022-12-05T15:35:00.000Z","2022-12-09T15:35:00.000Z","2022-12-05T15:35:00.000Z","","IDT","0"
    
```

Fuente: IDTOLU.

Ahora bien, esta herramienta de visualización también permite la generación de alertas o notificaciones por medio de correo electrónico a través de la salida de mensajes automáticos, como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Notificación por e-mail.



Fuente: IDTOLU.

Las notificaciones también se han configurado para que sean un poco más personal a través de mensajes de WhatsApp, como se observa en la Figura 52. Estas notificaciones sólo las reciben personal de operarios, gestores o administrativos de la empresa que son la primera alarma de prevención en caso de que los parámetros de las variables sobresalten los límites.

Figura 52. Notificación por WhatsApp.



Fuente: IDTOLU.

8. Conclusiones y trabajos futuros de la contribución

8.1. Conclusiones

Luego de realizar la descripción del problema abordado sobre la deficiencia de sistemas tecnológicos que apoyen el desarrollo de los procesos en el campo, la agricultura o la piscicultura se logró avanzar en este tema de TFM. Como se indicó en la introducción del presente trabajo, en cuanto a la piscicultura en la región no se tiene conocimiento de innovación tecnológica y el control de natalidad de los peces, así como su control de calidad en los entornos de cría no se había mejorado.

Por lo cual, en el presente TFM se logró aportar un prototipo de innovación tecnológica que minimiza la brecha en cuanto a implementación de las nuevas tecnologías y de los habilitadores digitales de la Industria 4.0 en la región costera del departamento de Sucre, Colombia.

En ese sentido, se listan las principales contribuciones alcanzadas mediante la realización de este proyecto tecnológico:

1. Contribución de un prototipo de sistema de monitoreo de variables ambientales haciendo uso de tecnologías de la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas (IoT), utilización de sensores y la implementación y despliegue de una red LoRaWAN para el control de cría de peces.
2. Desarrollo de módulos de gestión para visualización de datos, softwares propios y uso de servicios privados de la nube nativa para el almacenamiento y procesamiento de datos de telemetría.
3. Implementación de energías limpias y no contaminantes como la energía solar con el uso de módulos fotovoltaicos para alimentación de dispositivos electrónicos y eléctricos del sistema de monitorio, sensores y transmisor LoRaWAN.
4. Contribución de un modelo de negocio dentro de los ejes de la innovación o transformación digital de las empresas del sector agrícola y pesquero.

Por lo anterior, estos resultados son muestra de que los objetivos establecidos en este TFM han sido alcanzados. A continuación, se detallan los objetivos alcanzados:

El objetivo específico 1 consistió en “Diseñar el montaje de sensores IoT para la medición de variables ambientales del agua como pH, oxígeno disuelto y temperatura”. Este objetivo se logró conseguir como se evidencia en el apartado 6 y 7 referentes al Desarrollo Tecnológico e Implementación del presente TFM. En este apartado se describió el diseño y montaje de los componentes de hardware y software para adquisición de datos de telemetría de las variables pH, oxígeno disuelto, temperatura ambiente y temperatura del agua que luego pasaron a ser almacenados y procesados para su respectivo control y visualización.

En cuanto al objetivo específico 2, que consistió en “Crear y configurar alertas tempranas que aporten a la prevención de eventos de mortalidad en entornos piscícolas mediante el sistema de monitoreo IoT”, también se alcanzó como se evidencia en la sección 6.2 referente a la configuración de plataformas IoT y software de gestión, y en la sección 7.5 referente al análisis de resultados. Allí se describió la configuración de alertas en el software de Módulo de Gestión donde los datos son visualizados y analizados.

Finalmente, el objetivo específico 3 consistió en “Determinar y analizar los eventos que afectan los rangos de medición establecidos de los parámetros de pH, oxígeno disuelto y temperatura mediante la visualización de informes y gráficos”, se logró resolver como se evidencia en la sección 7.5 del análisis de resultados, allí se describió que las alertas tempranas logran informar sobre eventos de mediciones fuera de límites de las variables, con el fin de prevenir eventos anómalos que puedan causar enfermedades o muerte en los peces. Estas alertas se realizan por medio de un correo electrónico o un mensaje de WhatsApp, además de los gráficos, reportes y tablas que se pueden obtener en el Módulo de Gestión.

De esta manera, se puede concluir que el objetivo general, el cual es “diseñar e implementar un desarrollo tecnológico para un sistema de monitoreo de factores ambientales para granjas piscícolas utilizando tecnologías de Internet de las Cosas (IoT)” se ha logrado alcanzar tras la realización, ejecución e implementación del presente TFM.

8.2. Trabajos futuros

Como parte del proceso de validación y pruebas del presente TFM es necesario realizar pruebas de funcionamiento en el campo, ya sea en entornos de cría como lagos, albercas

artificiales, ríos o arroyos tanto en agua dulce como salada. Mediante estas pruebas se descubrirán mejoras por realizar, cambios y ajustes.

Por otro lado, el uso de la tecnología LoRaWAN permitió el correcto despliegue de la red inalámbrica para transmitir los datos a una distancia de mucho más que 1 km, sin embargo, se podría expandir el área de transmisión para aprovechar diferentes usos en agricultura inteligente, *Smart city*, seguridad y vigilancia, entre otros.

Finalmente se espera la continuidad de replicas en la región del sistema de monitoreo desarrollado para promover nuevos modelos de negocio y transformación digital empresarial.

9. Referencias bibliográficas

- Andrade, H. (2022). Sistema de monitoreo inalámbrico de una piscícola con tecnología LoRa para la producción de truchas en Valle Hermoso-Pelileo (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones).
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- Campos, Y., & Chacón, J. (2018). *Implementación de un Gateway Low-cost para el Protocolo LoRa*.
- Carriazo, Y. P. (2021). *Sistema de monitoreo de la calidad del agua basado en IOT, utilizando técnicas de analítica de datos para la detección de anomalías, en los acueductos ejecutados por el plan departamental de aguas (PDA) de Córdoba*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/15481>.
- Cervantes, L. and Morales, G. (2022). *Implementación de un extranet para la Mejora de PROCESOS EN SEPROL Perú s.r.l., DSpace Home*. Instituto Peruano de Administración de Empresas IPAE. Available at: <https://repositorio.zegelipae.edu.pe/handle/20.500.13065/205> (Accessed: December 2, 2022).
- Chen, J.-H., Sung, W.-T., & Lin, G.-Y. (2015). *Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment*. 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. doi:10.1109/smc.2015.208
- ChirpStack. (2022). ChirpStack, open-source LoRaWAN Network Server. Recuperado el 9 de Diciembre de 2022, de ChirpStack: <https://www.chirpstack.io/>
- Contreras, C., Molina, J. A., Osma, P., & Zambrano, D. (2018). *Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el Internet de las cosas (IoT) para la acuicultura*. In Innovation in Education and Inclusion: Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology.
- DF Robot. (2022). *Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino*. Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de DF Robot: <https://www.dfrobot.com/product-1628.html>

- DF Robot. (2022). *Gravity: Analog pH Sensor / Meter Pro Kit V2*. Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de DF Robot: <https://www.dfrobot.com/product-2069.html>
- DF Robot. (2022). *Gravity: Photoelectric High Accuracy Liquid Level Sensor for Arduino*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2022, de DF Robot: <https://www.dfrobot.com/product-1470.html>
- DF Robot. (2022). *Gravity: Waterproof DS18B20 Sensor Kit*. Recuperado el 04 de Octubre de 2022, de DF Robot: <https://www.dfrobot.com/product-1354.html>
- Evans, D. (2011). Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group-IBSG, 11(1), 4-11.
- Flores Mollo, S., & Aracena Pizarro, D. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 55-64. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>
- Gallardo Vázquez, D. and López Salas, S. (2020) Catálogo de Investigación Joven en Extremadura. Volumen III, Dehesa. Repositorio Institucional de la Universidad de Extremadura: Inicio. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones. Available at: <https://dehesa.unex.es/handle/10662/11733> (Accessed: December 1, 2022).
- Garbarino, J., & Echeverría, A. (2011). *Protocolos para redes inalámbricas de sensores*. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf> [Octubre de 2013].
- Gonzalez, G. (2019) Herramientas Básicas para el Manejo y dimensionamiento de un módulo acuaponico a Pequeña Escala, RDI Principal. Universidad Nacional del Comahue. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Available at: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/16919> (Accessed: December 4, 2022).
- Gutiérrez, A. (2016). Internet de las Cosas. *Tecnología & Diseño*, (5).
- Heltec Automation. (2022). *WiFi LoRa 32 (V2.1) Phaseout*. Recuperado el 05 de Octubre de 2022, de Heltec Automation: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- Hernández, J. (2021) Diseño de un sistema de Monitoreo de Parámetros del Agua en que habitan peces ornamentales para brindar las condiciones óptimas de supervivencia a las especies, basado en el uso de tecnologías de sensores de precisión y sistemas embebidos.,

- Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Available at: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/43157> (Accessed: December 4, 2022).
- IDTOLU. (2022). *Laboratorio de tecnologías de próxima generación*. Recuperado el 31 de Octubre de 2022, de IDTOLU: <http://idtolu.com/nosotros>
- IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. (2007). doi:10.1109/ieeestd.2007.4338161
- International Electrotechnical Commission, (2014). Internet of Thing: Wireless Sensor Networks. Wireless Sensor Networks Project Team, Geneva, Switzerland.
- International Telecommunication Union, (2012). Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks (Y.2060). Telecommunication Standardization Sector of ITU.
- IONOS. (2020). *InfluxDB: explicación, ventajas y primeros pasos*. Obtenido de IONOS: <https://www.ionos.es/digitalguide/hosting/cuestiones-tecnicas/que-es-influxdb/>
- Jena, M. C., Mishra, S. K., & Moharana, H. S. (2019). Application of Industry 4.0 to enhance sustainable manufacturing. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. doi:10.1002/ep.13360
- Ma, H.D. (2011). Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges. *Journal of Computer Science and Technology*, 26(6), 919–924. doi:10.1007/s11390-011-1189-5
- Mahmoud, M.S. & Mohamad, A.A. (2016). A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/Modules for Internet of Things (IoT) Applications. *Advances in Internet of Things*, 6, 19-29. <http://dx.doi.org/10.4236/ait.2016.62002>
- Marín Cava, M. (2020). Sistema de monitorización para elementos móviles IoT mediante redes LPWAN. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8861>
- Microchip Technology (2014). 2.4 GHz IEEE Std. 802.11 b/g Wireless LAN RN171 Module Specification Sheet.
- Microsoft. (2023). *Luz, alimentación e Internet conectados a IoT*. Recuperado el 31 de Enero de 2023, de Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/architecture/solution-ideas/articles/iot-power-management>

- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2017). HADA — Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital. Manual de usuario. https://hada.industriaconectada40.gob.es/hada/data/manual/Manual_usuario_HADA.pdf
- Molina, L. & Martín, I. (2018). Implementación de protocolo de comunicaciones para IOT. / Implementation of communications protocol for IOT. Integration Project in Telecommunications Engineering, Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro.
- Ortega, C., Vega, L. & Salgado, C. (2022) Manual de Prácticas. Piscicultura, Universidad Autónoma del Estado de México facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Available at: https://veterinaria.uaemex.mx/images/Documentos_veterinaria/Oferta_educativa/Licenciatura_veterinaria/Unidades_Aprendizaje/Optativas/PISCICULTURA/PISCICULTURA_GP.pdf (Accessed: December 4, 2022).
- Parreño, Í., & Solís, A. (2019). Evaluación de eficiencia energética en las comunicaciones encriptadas de una red de sensores inalámbricos (WSN) que monitoriza ondas sísmicas (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Piamba-Mamian, T., Zambrano, L. E., Montaña-Ruales, L. A., & Rojas-González, F. A. (2020). Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. [Implementation of an IoT monitoring system applied to trout fish farming] *Informador Técnico*, 85(1), 3-19. <https://doi.org/10.23850/22565035.2937>
- Prieto, J. (2015). Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos. Universitat Oberta de Catalunya.
- Quiñonez, O. (2019). Internet de las Cosas (IoT). Ibukku LLC.
- Rey, S.E. (2020) Agricultura inteligente: IOT Aplicado a la Agricultura, Dialnet. Asociación Española de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8439462> (Accessed: December 3, 2022).
- Rocher, Javier; Parra, Lorena; Taha, Miran; Lloret, Jaime (2017). Diseño de una red de sensores para monitorizar una instalación acuícola. XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017 (pp. 48-54). Valencia, Spain. <http://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6623>

- Rueda-Rueda, J. S., & Portocarrero, J. M. (2016). De las redes de sensores inalámbricas al Internet de las cosas: ¿Tecnologías complementarias o antagonistas? In Congreso Internacional en Innovación y Apropiación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones-CIINATIC (p. 8).
- Saha, S., Rajib, R. H., & Kabir, S. (2018, October). IoT based automated fish farm aquaculture monitoring system. In 2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET) (pp. 201-206). IEEE.
- Salazar, J., & Silvestre, S. (2016). Internet de las cosas. Techpedia. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická.
- Santander, M. (2021) Tácticas, técnicas y procedimientos para escenarios de ciberataque y ciberdefensa en infraestructura crítica basada en procesos de control industrial basados en el protocolo modbus, Colombia documents. Available at: <https://fdocuments.co/document/tcticas-tnicas-y-procedimientos-para-escenarios-de-.html?page=13> (Accessed: December 1, 2022).
- Silva, D., & Coello, J. (2020). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS Y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWAN (Bachelor's thesis).
- Singh, S., Chintalacheruvu, S. C. K., Garg, S., Giri, Y. & Kumar, M. (2021). Efficient Face Identification and Authentication Tool for Biometric Attendance System. *2021 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, pp. 379-383, doi: 10.1109/SPIN52536.2021.9565990.
- Sotelo, A. (2020) Diseño de un Prototipo de control de Acceso Basado en Tecnología Biométrica de Huella Dactilar, lector de barras y RFID, repositorio institucional utp. Universidad Tecnológica del Perú. Available at: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3796> (Accessed: December 2, 2022).
- UNIR Revista. (15 de Octubre de 2021). *La industria 4.0, la transformación digital de las organizaciones industriales*. UNIR Revista. Obtenido de <https://www.unir.net/ingenieria/revista/que-es-industria-4-0/>

- Vásquez, R. (2022) Sistemas de control de acceso facial a través de dispositivos IoT, Documentación Digital de la Universidad Mayor de San Simón. Available at: <http://hdl.handle.net/123456789/34968> (Accessed: December 1, 2022).
- Weber, R. H. (2010). Internet of Things – New security and privacy challenges. *Computer Law & Security Review*, 26(1), 23–30. doi:10.1016/j.clsr.2009.11.008
- Wytrebowicz, J., Cabaj, K. & Krawiec, J. (2021) Messaging protocols for IOT Systems-A pragmatic comparison, *Sensors*. MDPI AG. Available at: https://www.academia.edu/60225181/Messaging_Protocols_for_IoT_Systems_A_Pragmatic_Comparison (Accessed: December 4, 2022).