

**Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)**

**ESIT**

**Máster Universitario en Industria 4.0**

# Gestión inteligente de sistemas de agua potable comunitarios mediante IIoT

**Trabajo Fin de Máster**

**presentado por:** Samaniego Armijos, Hernán Adolfo

**Director:** Bueno Manglano, Jorge Juan

## Resumen

El agua es el recurso limitado más importante para la vida humana, en las zonas rurales del Ecuador este recurso es administrado por organizaciones comunitarias sin fines de lucro denominadas Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP), donde los usuarios reciben y pagan por el consumo de agua potable mensualmente. Estas organizaciones cuentan con recursos limitados para realizar mantenimiento de la infraestructura, además de un deficiente control financiero y empírica capacidad para medir la calidad del agua, provoca que las plantas de tratamiento se destruyan y dejen de operar. Como solución se plantea utilizar la metodología de innovación abierta con la participación de una JAAP que actualmente se encuentra operando, quienes colaboran en el desarrollo de una solución de gestión basada en el internet de las cosas industrial (IIoT), que colabora con la administración en la toma de decisiones para garantizar la sostenibilidad de la organización y provisión del líquido vital.

**Palabras clave:** IIoT, LoRa, sensores, inteligencia artificial, Arduino

## Abstract

Water is the most important limited resource for human life, in rural areas of Ecuador this resource is managed by non-profit community organizations called Drinking Water Management Boards (JAAP), where users receive and pay for the consumption of drinking water monthly. These organizations have limited resources to perform infrastructure maintenance, in addition to poor financial control and empirical capacity to measure water quality, causes treatment plants to be destroyed and stop operating. As a solution, it is proposed to use the open innovation methodology with the participation of a JAAP that is currently operating, who collaborate in the development of a management solution based on the industrial internet of things (IIoT), which collaborates with the administration in decision making to guarantee the sustainability of the organization and provision of vital liquid.

**Keywords:** IIoT, LoRa, sensors, artificial intelligence, Arduino

# Índice de contenidos

1.	Introducción .....	13
1.1.	Motivación .....	14
1.2.	Planteamiento del trabajo .....	15
1.3.	Estructura de capítulos .....	18
2.	Contexto y estado del arte .....	19
2.1.	Descripción general del contexto del proyecto .....	19
2.1.1.	Infraestructura del sistema de agua potable .....	19
2.1.2.	Producción y calidad del sistema de agua potable .....	21
2.1.3.	Control financiero de la JAAP .....	21
2.2.	Proyectos relacionados con el tema del TFM .....	22
2.2.1.	Mantenimiento de la infraestructura de agua potable .....	23
2.2.2.	Producción y calidad de agua potable .....	23
2.2.3.	Control financiero .....	24
2.2.4.	Sistemas ciberfísicos e IIoT .....	24
2.2.5.	Ciberseguridad .....	25
2.2.6.	Tecnologías de comunicación .....	25
2.3.	Tecnologías relacionadas con el tema del TFM .....	25
2.3.1.	Internet de las cosas industrial (IIoT) .....	25
2.3.2.	Aprendizaje automático .....	28
2.3.3.	Tecnologías de Comunicación .....	31
2.3.4.	Inteligencia de negocios .....	33
2.4.	Conclusiones sobre el estado del arte .....	35
3.	Descripción general de la contribución del TFM .....	35
3.1.	Objetivos .....	35
3.2.	Metodología del trabajo .....	36
3.2.1.	Identificar necesidades y oportunidades .....	37
3.2.2.	Generación de ideas .....	37

3.2.3.    Evaluación de ideas.....	37
3.2.4.    Desarrollo de las ideas .....	37
3.2.5.    Implementación .....	37
3.3.    Descripción general de las partes o componentes de la propuesta .....	38
4.    Desarrollo específico de la contribución.....	43
4.1.    Arquitectura IIRA .....	43
4.1.1.    Punto de vista de negocio.....	43
4.1.2.    Punto de vista de uso .....	44
4.1.3.    Punto de vista funcional.....	49
4.1.4.    Punto de vista de implementación .....	51
4.2.    Nivel de borde .....	54
4.2.1.    Sensores .....	54
4.2.2.    Dispositivos .....	59
4.2.3.    Comunicaciones .....	61
4.3.    Nivel de plataforma IIoT.....	64
4.3.1.    Protocolo MQTT .....	64
4.3.2.    Plataforma IIoT .....	71
4.4.    Nivel de empresa.....	72
4.4.1.    Gestión organizacional .....	72
4.4.2.    Aplicación web.....	75
4.4.3.    Recaudación.....	76
4.5.    Prueba de concepto.....	78
4.5.1.    Objetivos .....	79
4.5.2.    Preparación y configuración .....	79
4.5.3.    Kick off y planificación .....	79
4.5.4.    Implementación .....	80
4.5.5.    Ejecución de pruebas .....	81
4.5.6.    Evaluación de resultados.....	81

4.5.7. Conclusiones .....	84
4.6. Resultados esperados .....	85
4.6.1. Registrar el consumo de agua. ....	85
4.6.2. Presentar al usuario el valor a pagar mediante una plataforma web.....	85
4.6.3. Llevar un registro de la cartera vencida. ....	86
4.6.4. Controlar si el agua potable producida es apta para el consumo humano. ....	87
4.6.5. Llevar un registro de la cantidad de agua que se produce. ....	87
4.6.6. Controlar el estado de los elementos prioritarios del sistema. ....	88
4.6.7. Alertar el tiempo de mantenimiento de los filtros lentes .....	89
4.6.8. Contar con un cuadro de mando integral. ....	89
4.7. Análisis financiero .....	90
4.7.1. Coste asociado al proceso anterior.....	90
4.7.2. Coste del proyecto de transformación digital .....	91
4.7.3. Coste asociado al nuevo proceso con transformación digital.....	92
4.7.4. Indicador de rentabilidad .....	92
5. Conclusiones y trabajos futuros .....	93
5.1.1. Líneas de trabajo futuras .....	95
Referencias bibliográficas .....	96
Anexo A. Especificaciones técnicas de los sensores .....	100
Anexo B. Especificaciones técnicas de los equipos de comunicación.....	102
Anexo C. Código Arduino para los nodos sensores y Gateway LoRa .....	111

## Índice de figuras

Figura 1. Cadena de producción de agua potable.....	15
Figura 2. Control financiero de la JAAP .....	16
Figura 3. Internet de las cosas industrial (IIoT) .....	16
Figura 4. Gestión Inteligente de agua potable.....	17
Figura 5. Planta de tratamiento de la JAAP .....	19
Figura 6. Proceso de producción de agua potable JAAP .....	20
Figura 7. Clorador manual .....	21
Figura 8. Recibo entregado por el pago del servicio de agua potable .....	22
Figura 9. Dominios funcionales IIRA .....	27
Figura 10. Patrón de Arquitectura de 3 niveles .....	28
Figura 11. Sistema de aprendizaje automático en entrenamiento .....	29
Figura 12. Sistema de aprendizaje automático en producción .....	29
Figura 13. Aprendizaje supervisado.....	30
Figura 14. Aprendizaje no supervisado.....	30
Figura 15. Aprendizaje reforzado.....	31
Figura 16. Perspectivas del CMI .....	34
Figura 17. Metodología de trabajo .....	36
Figura 18. Sistema de gestión inteligente JAAP.....	40
Figura 19. Cronograma del proyecto.....	42
Figura 20. Punto de vista de uso 1.....	44
Figura 21. Punto de vista de uso 2.....	46
Figura 22. Punto de vista de uso 3.....	48
Figura 23. Punto de vista funcional .....	50
Figura 24. Punto de vista de implementación .....	52
Figura 25. Sensor de caudal .....	54
Figura 26. Sensor de pH.....	55
Figura 27. Sensor de turbidez.....	56

Figura 28. Sensor de nivel de agua .....	56
Figura 29. Sensor de cloro residual .....	57
Figura 30. Sensor de deformación.....	58
Figura 31. Aplicación móvil para registro de lecturas .....	58
Figura 32. Dispositivo LoRa32 TTGO V1 .....	59
Figura 33. Nodo LoRa32 TTGO OLED V1 con sensor de turbidez .....	60
Figura 34. Ubicación de los predios de la JAAP.....	61
Figura 35. Comunicaciones .....	62
Figura 36. Gateway LoRa con TTGO LoRa32 OLED V1 .....	63
Figura 37. Perfil topográfico .....	64
Figura 38. Cálculos de propagación.....	64
Figura 39. Entidades MQTT .....	66
Figura 40. Configuración del broker MQTT .....	67
Figura 41. Tópicos MQTT .....	68
Figura 42. Bróker MQTT .....	68
Figura 43. Mapa estratégico .....	73
Figura 44. Credenciales Plataforma IIoT .....	74
Figura 45. Cuadro de mando integral.....	75
Figura 46. Estructura de la aplicación web de la JAAP .....	76
Figura 47. Abonos y pago total .....	77
Figura 48. Gastos .....	77
Figura 49. Caja .....	78
Figura 50. Registros.....	78
Figura 51. Implementación de la PoC .....	80
Figura 52. Medición con agua limpia.....	82
Figura 53. Resultados con agua limpia .....	82
Figura 54. Broker MQTT con agua limpia .....	83
Figura 55. Medición con agua turbia .....	83

Figura 56. Resultados con agua turbia .....	84
Figura 57. Broker MQTT con agua turbia.....	84
Figura 58. Consulta de deudas .....	86
Figura 59. Cartera vencida.....	86
Figura 60. Monitoreo de cumplimiento de la norma iNEN 1108 .....	87
Figura 61. Consumo de agua total.....	88
Figura 62. Estado de salud de los tanques .....	88
Figura 63. Alerta de mantenimiento de filtros .....	89
Figura 64. Cuadro de mando integral.....	90

## Índice de tablas

Tabla 1. Tecnologías LPWAN.....	32
Tabla 2. Actividades del punto de vista 1 .....	45
Tabla 3. Actividades del punto de vista 2 .....	47
Tabla 4. Actividades del punto de vista 3 .....	48
Tabla 5. Dispositivos con sensores.....	59
Tabla 6. Ubicaciones de los sitios del proyecto.....	61
Tabla 7. Protocolos IIoT .....	65
Tabla 8. Escenario 1 MQTT .....	69
Tabla 9. Niveles de calidad de agua .....	69
Tabla 10. Escenario 2 MQTT .....	70
Tabla 11. Escenario 3 MQTT .....	70
Tabla 12. Escenario 4 MQTT .....	70
Tabla 13. Escenario 5 MQTT .....	71
Tabla 14. Tablero de control .....	74
Tabla 15. Lista de chequeo de resultados.....	81
Tabla 16. Registro de consumo de agua por usuario con novedades .....	85
Tabla 17. Coste asociado al proceso anterior .....	91
Tabla 18. Recursos del proyecto .....	91
Tabla 19. Resumen del proyecto .....	91
Tabla 20. Coste asociado al nuevo proceso .....	92
Tabla 21. Cálculo del periodo de recuperación .....	92

## Abreviaturas

ARCA	Agencia de regulación y control del agua
AWS	Amazon Web Service
BPMN	Business Process Model and Notation
CMI	Cuadro de mando integral
DSS	Decision Support System
HMI	Human Machine Interface
IIC	Industrial Internet Consortium
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	IIC Reference Architecture
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	Internacional Organization for Standardization
JAAP	Junta Administradora de Agua Potable
KPI	Key Performance Indicator
LAN	Local Area Network
LoRa	Long Range
LPWAN	Low Power WAN
LSTM	Long Short-Term Memory
LTE	Long Term Evolution
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NB-IoT	Narrow Band IoT
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
PAN	Personal Area Network
pH	Potencial hidrógeno

PLM	Product Lifecycle Management
PoC	Proof of Concept
PVC	Cloruro de Polivinilo
ROI	Return on Investment
RUL	Remaining Useful Life
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
TCP	Transmission Control Protocol
TDS	Total Dissolved Solids
UDP	User Datagram Protocol
WAN	Wide Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

## 1. Introducción

El presente trabajo tiene como objeto transformar un sistema de agua potable comunitario tradicional, mediante el uso del Internet de las cosas Industrial (IIoT) y la utilización de tecnologías habilitantes de la industria 4.0, para desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones (DSS) y suplir la limitada capacidad de gestión de este tipo de organizaciones ante aspectos financieros, producción de agua con calidad y mantenimiento de la infraestructura.

En las zonas urbanas de muchas ciudades del mundo la prestación del servicio de agua potable se realiza a través de prestadores públicos o privados, sin embargo, en las zonas rurales debido a la falta de cobertura de los prestadores mencionados, se implementan sistemas de abastecimiento de agua potable administrados por organizaciones comunitarias sin fines de lucro, las mismas que se encuentran conformadas por habitantes de la localidad, quienes eligen un directorio cuya responsabilidad es administrar y dar mantenimiento al sistema de agua potable. En el Ecuador este tipo de organizaciones se encuentran regularizadas por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y toman el nombre de Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP), tal como se menciona en el artículo 43 de la (LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA Ley, 2014), las mismas que no reciben recursos económicos del estado, siendo sus únicos ingresos la recaudación por concepto de consumo del líquido vital efectuado mensualmente por los miembros de la comunidad.

Según Campoverde-Molina & Iñamagua-Robles (2018), en el Ecuador a inicios del año 2010, existía un total de 6.832 Juntas Administradoras de Agua Potable, es decir que más del 30% de la población ecuatoriana es abastecida de agua potable a través de estas organizaciones, cuya infraestructura ha sido construida en base a la inversión realizada por instituciones del estado, en conjunto con la mano de obra de los habitantes beneficiarios a partir de mingas, siendo responsabilidad de la JAAP la captación, potabilización, administración y distribución del líquido vital garantizando la calidad, continuidad y asequibilidad del servicio.

Para validar la solución propuesta se va a realizar una prueba de concepto en el sistema de agua potable de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, que presta el servicio a 470 familias del sector nor-oriental de la ciudad de Loja, al sur del Ecuador.

## 1.1. Motivación

Según la Organización Mundial de la Salud, en Latinoamérica el promedio de consumo de agua por habitante es 169 litros por día, sin embargo en Ecuador cada habitante consume 237 litros por día (Ortiz, 2018), este exceso es provocado por la insuficiente capacidad de los proveedores de servicio para gestionar de forma óptima la infraestructura, producción y distribución de agua potable, dando la libertad para que los usuarios desperdicien de forma desmedida y desinteresada el líquido vital en actividades distintas al consumo humano.

Muchos prestadores comunitarios no realizan ningún tipo de mantenimiento al sistema de agua potable y asumen simplemente que la infraestructura es eterna, sin considerar que esta se encuentra expuesta a flujos continuos de agua, humedad, presión hidrostática, precipitaciones, temperaturas variables, etc., que influyen directamente en su deterioro y disminución del tiempo de vida útil remanente (RUL), sin embargo cuando algún componente del sistema colapsa ya sea por falta de mantenimiento o por alguna patología que afecte a su infraestructura, se ejecutan mantenimientos correctivos emergentes con desembolsos de grandes sumas de dinero que muchas JAAP no se encuentran en la capacidad económica de sostener, afectando la disponibilidad del servicio público.

Actualmente la producción de agua potable en muchas JAAP es un proceso manual dependiente de la habilidad empírica de un operador para controlar el caudal requerido y configurar el nivel de desinfección del agua cruda sin control de calidad alguno. No se utilizan sistemas SCADA para realizar un control profesional, debido al alto costo que representa para las organizaciones comunitarias la implementación de este tipo de sistemas, provocando que muchas veces no exista la suficiente cantidad de líquido vital para cubrir la demanda requerida o que el agua distribuida no cumpla con los niveles de calidad aptos para el consumo humano, generando enfermedades, insatisfacción en la comunidad y multas por parte de la institución reguladora de agua potable en el Ecuador (Agencia de Regulación y Control Del Agua | ARCA – Ecuador, n.d.).

Otro inconveniente que ocurre en las JAAP es un deficiente control financiero, producto del proceso manual de recolección de lectura de consumo, falta de registros de facturación, recaudación y un inexistente control de gastos, lo cual dificulta la recuperación de la cartera vencida, desfinancian el sistema de agua potable y provoca una falta de liquidez suficiente para afrontar los gastos corrientes mensuales. Algunas organizaciones comunitarias cuentan con soluciones informáticas que se ocupan de atender exclusivamente este aspecto financiero, mediante programas de facturación especializados o mediante programas de ofimática como Microsoft Excel, dejando de lado otros aspectos relevantes de la JAAP que también se deben gestionar, como es la calidad y la salud de la infraestructura.

Estas causales y la limitada información proveniente del sistema de agua potable inciden en que la administración no tenga una visión global que le permita tomar decisiones que vayan en función de sostener el sistema, provocando la inminente destrucción de la infraestructura y la posible suspensión definitiva del servicio de agua potable para la comunidad.

## 1.2. Planteamiento del trabajo

Aprovechando las tecnologías habilitantes de la industria 4.0 es posible proveer nuevas capacidades ciberneticas a las cosas, es por ello que se propone crear un sistema de Internet de las cosas industrial que incluya cada componente de la Figura 1. que conforman la cadena de producción de agua potable, siendo capaz de indicar su estado de salud y si se encuentra cumpliendo su cometido de acuerdo con las normativas técnicas, en otras palabras, con la solución propuesta cada parte del sistema será capaz de indicar “*me encuentro en buen estado y soy capaz de realizar mi trabajo completamente*”.

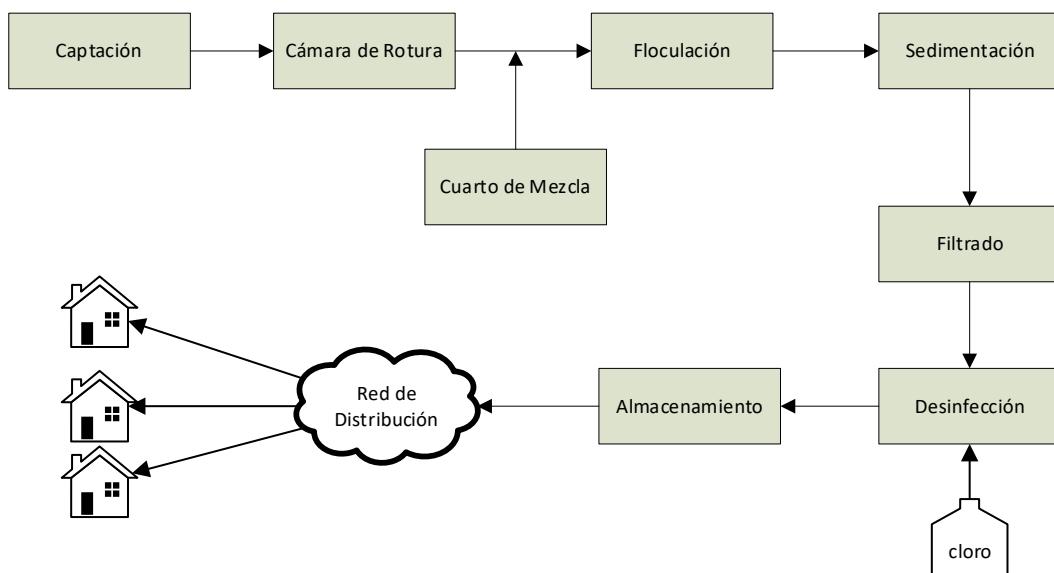


Figura 1. Cadena de producción de agua potable

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto considerado en este trabajo es el control financiero de la JAAP, para lo cual se va a realizar una investigación sobre los programas especializados de facturación que se ofrecen en el mercado y se va a elaborar una arquitectura de software que permita recolectar la lectura de consumo de cada usuario, controlar los ingresos provenientes de la facturación por consumo mensual, determinar la cartera vencida, controlar los gastos fijos y variables que ocurren para la operación del sistema, tal como se muestra en la Figura 2, esto permitirá a la administración registrar todos los movimientos financieros y mantener la liquidez de la organización.

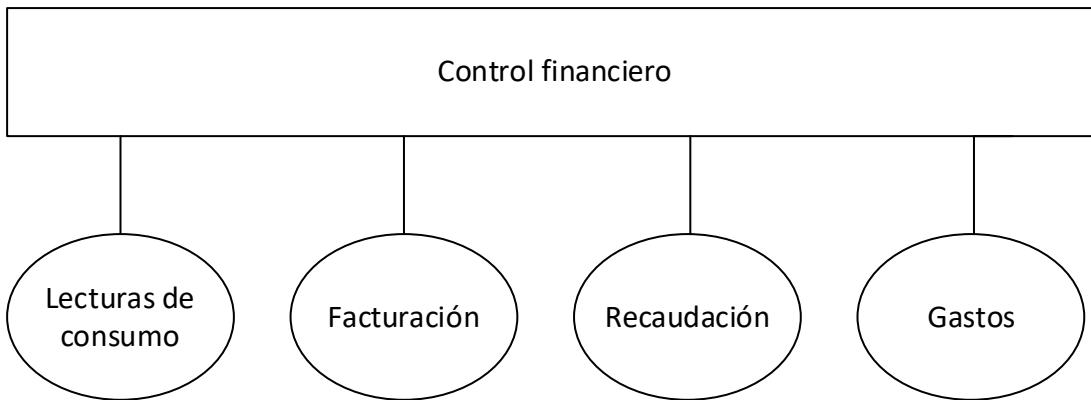


Figura 2. Control financiero de la JAAP

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinados los indicadores necesarios para mantener la sostenibilidad del sistema de agua potable de la JAAP, se determinan los sensores que permitan obtener conjuntos de datos relevantes del sistema, al igual que los actuadores necesarios para controlar el sistema, tecnologías de comunicación, e ingesta de datos a la nube para ser procesados mediante técnicas cognitivas de inteligencia artificial, actividades que deben estar enmarcadas en la arquitectura de referencia del Consorcio de Internet Industrial (IIRA), que constituye el estándar para sistemas de Internet de las cosas Industrial (IIoT).



Figura 3. Internet de las cosas industrial (IIoT)

Fuente: The Industrial Internet of Things (Lin et al., 2017)

Para la gestión de forma inteligente de una JAAP, es necesario contar con un sistema de apoyo a la decisión (DSS), que será producto de la integración del sistema informático y el sistema de Internet de las cosas industrial en conjunto con aplicaciones de inteligencia artificial y de negocios, esto permitirá establecer estrategias para el cumplimiento de los objetivos de la organización comunitaria y presentar los resultados en tiempo real de los indicadores de desempeño (KPI) en un cuadro de mando integral con acceso vía web para los responsables de toma de decisiones, estos actores se muestran en la Figura 4 con las funcionalidades que se detallan a continuación:

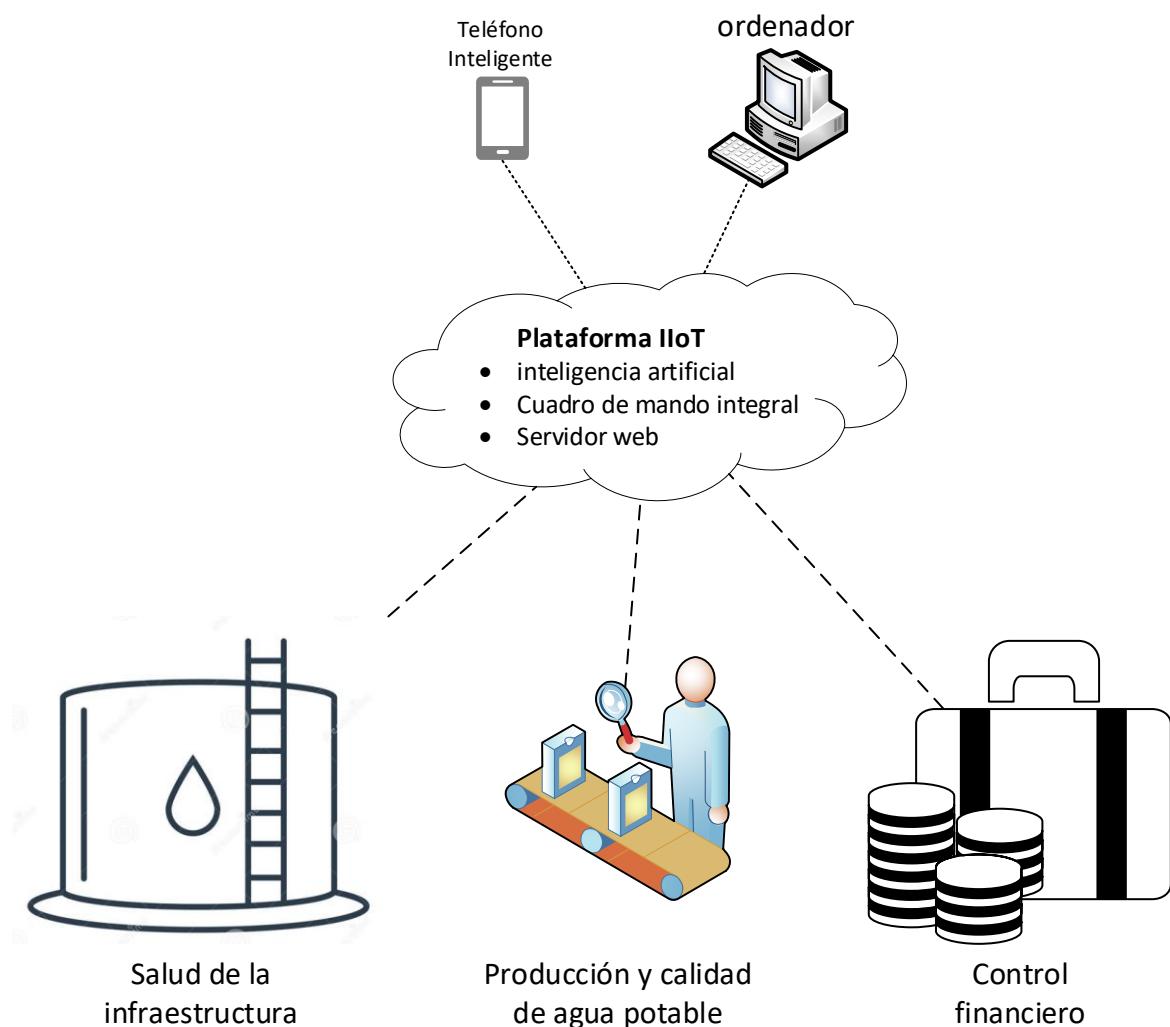


Figura 4. Gestión Inteligente de agua potable

Fuente: Elaboración propia

- **Salud de la infraestructura:** se propone colocar sensores para analizar las patologías que afectan a la infraestructura de un sistema de agua potable para cumplir con la norma CPE-INEN-005-9-2 (Inen, 1997) que corresponde al código ecuatoriano de la construcción para sistemas de abastecimiento de agua potable.

- **Producción y calidad de agua potable:** se propone colocar sensores para realizar control de calidad de agua potable de acuerdo a la norma ecuatoriana INEN 1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015) que regula los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.
- **Control financiero:** se van a integrar a esta solución la arquitectura de un software que permita recolectar el consumo, facturar, recaudar la venta de agua potable y monitorizar las novedades que afecten esta recaudación, como la cartera vencida.

### 1.3. Estructura de capítulos

El proyecto se encuentra estructurado en cinco capítulos que se detallan de la siguiente manera:

1. **Introducción**, donde se realiza una presentación general del trabajo incluyendo la motivación con los problemas más relevantes, planteamiento del trabajo propuesto y una breve descripción de los capítulos.
2. **Contexto y estado del arte**, donde se presentan proyectos relacionados, tecnologías de la industria 4.0 que se van a utilizar para gestionar los sistemas de agua potable de las JAAP, concluyendo sobre los aspectos relevantes que servirán de soporte para la elaboración de este trabajo.
3. **Descripción general de la contribución**, se presenta una descripción general del trabajo, detallando los objetivos del proyecto, la metodología para implementar la plataforma de gestión inteligente y una descripción de los componentes del proyecto.
4. **Desarrollo específico de la contribución**, presenta el desarrollo específico del trabajo, abordando de forma independiente los componentes del sistema IIoT, software de control financiero e integrando estos componentes en la arquitectura de tres niveles de IIRA, incluyendo una prueba de concepto.
5. **Conclusiones y trabajos futuros**, donde se establecen las conclusiones producto de este trabajo y retos futuros que pueden ser desarrollados tomando como base este trabajo.

## 2. Contexto y estado del arte

### 2.1. Descripción general del contexto del proyecto

La mayoría de las organizaciones comunitarias de agua potable tienen infraestructura similar, para el caso de este trabajo se va a utilizar la configuración implementada de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, ubicada en el sector noreoriental de la ciudad de Loja el sur del Ecuador, construida en el año 1996 según expediente administrativo Nro. 151-CNRH, que sirve a 470 familias del sector con un caudal de 3.15 l/s concesionado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, cuenta con un Reglamento Interno aprobado por la Asamblea General de Socios en el mes de septiembre del año 2017, donde se encuentran las normas de desenvolvimiento en concordancia con la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA Ley, 2014) del Ecuador. En la figura 5 se muestra una fotografía de la JAAP que forma parte de este proyecto.



Figura 5. Planta de tratamiento de la JAAP

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.1. Infraestructura del sistema de agua potable

El sistema de agua potable de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, se encuentra conformado por los componentes que se muestran en la Figura 6.

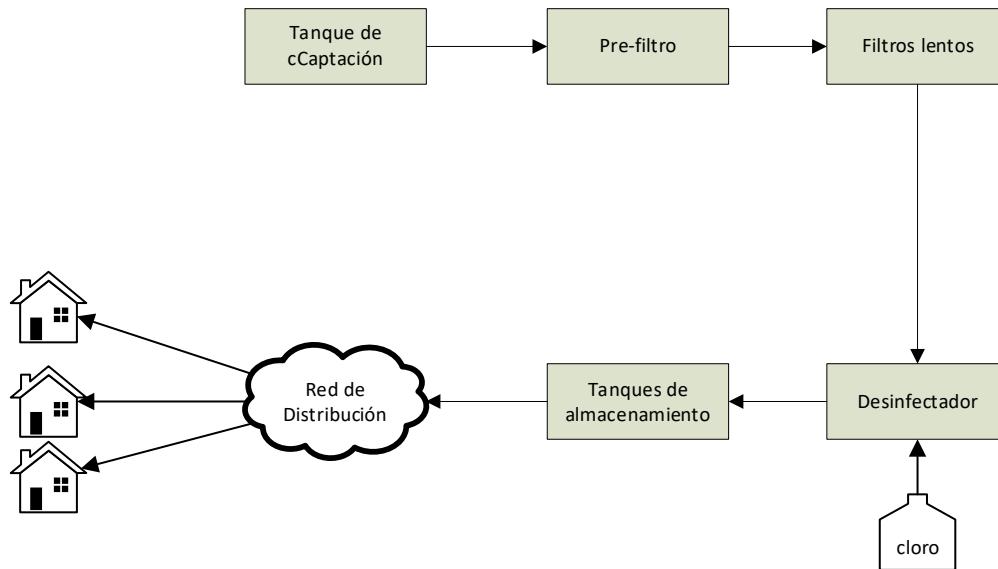


Figura 6. Proceso de producción de agua potable JAAP

Fuente: Elaboración propia

- **Tanque de captación:** ubicada cerca de la fuente de agua cruda que este caso es la quebrada Paccha, conformada por una tubería con orificios y una válvula de ingreso para evitar que palos, plantas y peces ingresen a la planta de tratamiento.
- **Pre-filtro:** es el componente de ingreso de agua de la planta de tratamiento, conformado por un tanque rectangular de 3x5x1m, lleno de grava cuya función es evitar el paso de objetos grandes que llegan hasta la planta de tratamiento.
- **Filtros lento:** existen dos filtros de arena que evitan el paso de partículas que han pasado los procesos de limpieza precedentes, cada filtro es de 150 m<sup>3</sup>, no tienen tapa y válvulas de entrada y salida permiten el ingreso y salida de agua respectivamente.
- **Desinfectado:** se lo realiza mediante la disolución de pastillas de cloro en agua dentro de un clorador manual como el de la Figura 7, que se vierte en el paso del agua filtrada, este proceso es manual y la dosificación de cloro depende del operador.
- **Tanques de almacenamiento:** compuesto por dos tanques de 200 m<sup>3</sup> cerrados completamente con válvulas de ingreso y salida, que almacenan el agua tratada y permiten mantener el flujo de agua potable con presión constante independientemente del caudal de entrada.
- **Red de distribución:** se encuentra conformada por tubería PVC menor a 3" y cortadoras intermedias que permiten llevar el agua potable hasta los domicilios y atraviesa los cinco barrios que conforman esta comunidad.

Cabe mencionar que la captación se encuentra ubicada en las coordenadas 3°55'21,53" S / 79°11'25,72" O y la planta de tratamiento en las coordenadas 3°56'2,7" S / 79°11'50,3"O, cuyos componentes no han formado parte de ningún plan de mantenimiento desde su construcción y solo han sido objeto de reparaciones cuando ha ocurrido alguna afectación.

### **2.1.2. Producción y calidad del sistema de agua potable**

A pesar de que se cuenta con un caudal concesionado por parte del estado ecuatoriano de 3.15 l/s, no es posible medir realmente el caudal de entrada, así como el caudal de salida entregado a la red de distribución, esto ha provocado que en muchas ocasiones la planta no tenga agua suficiente líquido para cubrir la demanda.

El sistema cuenta con un pre-filtrado con grava para evitar el ingreso de objetos de grandes dimensiones y dos filtros lentos con arena para evitar el ingreso de objetos de menor dimensión, estos filtros son lavados cada quince días para evitar la saturación de objetos y partículas que obstruyan el paso del caudal; posteriormente se realiza el proceso de desinfección; para esto se utiliza una clorador manual como se muestra en la Figura 7, cuya dosificación de cloro es determinada empíricamente por el operador de forma manual, sin una herramienta que le permita conocer la cantidad adecuada de cloro para lograr agua potable apta para el consumo humano, provocando que muchas veces se distribuya a los usuarios agua de calidad deficiente.



*Figura 7. Clorador manual*

*Fuente: Elaboración propia*

### **2.1.3. Control financiero de la JAAP**

La lectura del consumo de agua potable de cada uno de los socios se recolecta de forma manual, mediante visitas del operador a cada domicilio durante la última semana de cada

mes, anotando en una hoja de papel el valor indicado en el medidor de agua, para luego ser registrado en una hoja electrónica elaborada en Microsoft Excel. La recaudación correspondiente por el servicio de agua potable se realiza el primer sábado de cada mes, donde se entrega un recibo de pago a los usuarios con el formato de la Figura 8 y se mantiene un registro de la cartera vencida, que para el mes de septiembre 2021 fue del 55.32%, pasivo que es gestionado a través de la suspensión del servicio de agua potable para intentar recuperarlo.

JUNTA DE AGUA POTABLE DE VIRGENPAMBA CAJAS AMABLE MARIA			
COMPROBANTE DE PAGO DE AGUA			
		NUMERO	0
Nombre de usuario:	<u>Aguilar Manuel de Jesus</u>		
Conexión N°:	4		
Consumo correspondiente al mes de:	SEPTIEMBRE	Año	2021
Lectura actual:	220	Lectura anterior:	217
m <sup>3</sup> Consumidos	<u>3</u>		
Consumo básico	12	\$	2,00
Por exceso	0	\$	<b>0,00</b>
Por multas		\$	0,00
Por meses atrasados		\$	46,00
Mortuorio		\$	2,00
RESIDENCIAL			
P	<b>TOTAL A PAGAR \$ 50,00</b>		
Fecha de pago	4/10/2021 21:03:43		
<b>#N/D</b>			
RECAUDADOR			

Figura 8. Recibo entregado por el pago del servicio de agua potable

Fuente: Elaboración propia

Los gastos mensuales en los que incurren la JAAP corresponden al pago del servicio de energía eléctrica, materiales para ejecutar reparaciones, servicios profesionales, mano de obra no calificada e inversión en proyectos de nuevos despliegues en la red de distribución de agua para incrementar la cobertura del sistema.

## 2.2. Proyectos relacionados con el tema del TFM

Al ser un proyecto que integra varias tecnologías, soluciones e investigaciones, se presenta un conjunto de trabajos que han sido desarrollados durante los últimos cinco años sobre la temática de estudio y que han sido clasificados por áreas de interés para un mejor entendimiento.

### **2.2.1. Mantenimiento de la infraestructura de agua potable**

El hormigón es el material empleado de forma preferente en la construcción, sin embargo, existen factores climáticos que provocan corrosión en la armadura, afectando la durabilidad de su estructura y disminuyendo su tiempo de vida útil. La armadura al encontrarse en el interior del hormigón dificulta su revisión por lo que en esta investigación se presenta una relación de la corrosión en función de la temperatura, humedad relativa y precipitaciones a las que se encuentra expuesta una construcción (Castillo Talavera, 2005), permitiendo predecir el nivel de corrosión de una armadura sin tener que afectar la estructura del hormigón.

Un elemento constructivo de hormigón es normalmente inanimado, sin embargo, al dotarlo de sensores es capaz de informar sobre su estado de salud, convirtiéndolo en una estructura inteligente, esto se realiza mediante el uso de rejillas de fibra Bragg (Fiber Bragg Gratings) que miden la deformación de la estructura, por otra parte se puede detectar de forma temprana grietas, movimientos y oxidación mediante un sensor de emisión acústica AES150, monitorizando y gestionando la salud estructural de una construcción (Ruiz Gorrindo et al., 2018).

El marco de trabajo (framework) REFlex Water es una solución para la gestión inteligente de agua potable, utiliza procesos declarativos y procesamiento de eventos complejos para modelar sistemas de agua capaces de identificar y medir fugas mediante tecnología de internet de las cosas (IoT). En este trabajo se presenta una aplicación práctica en el sistema de distribución de agua de Brasilia, evidenciando la capacidad de respuesta ante eventos dinámicos y caóticos, sobre procesos imperativos como BPMN que son estáticos (Gonçalves et al., 2020).

### **2.2.2. Producción y calidad de agua potable**

El prototipo para la monitorización y control aplicando una red inalámbrica de sensores en el proceso de potabilización de la Junta Administradora de Agua Potable San José de El Quinche (Conde Chicaiza, 2019), utiliza una red de sensores (WSN) para monitorizar los parámetros físicos del agua como caudal, pH y turbidez, conectados a hardware libre de bajo costo como es el Raspberry Pi mediante el protocolo MQTT, en este prototipo se aplican estrategias de control no convencional como es la lógica borrosa (Fuzzy) para dosificar coagulantes de forma automática en función de las condiciones físicas del agua y los resultados se muestran en un HMI implementado en NodeRED.

Tomando en cuenta que los sistemas de agua potable son dinámicos y su estado varía en función del tiempo, es posible medir de forma síncrona con la llegada del agua a la planta de tratamiento, los niveles de pH y sólidos disueltos (TDS) de forma automática sin

intervención del ser humano, beneficiando la salud de los usuarios distribuyendo agua de calidad (Fadel & Shujaa, 2020).

Para realizar el monitoreo inteligente de los sistemas de agua potable mediante el Internet de las Cosas (IoT) y predecir la calidad del agua, se propone el uso del aprendizaje profundo mediante redes neuronales con memoria de largo plazo a corto plazo (LSTM), esta solución ha sido implementada en el río Yangtze en Yangzhou, que es la captación de la estación de agua de Guazhou con datos recolectados desde enero 2016 hasta junio 2018 concluyendo la viabilidad y eficiencia de usar LSTM para predecir la calidad de agua potable (Liu et al., 2019).

En la actualidad para el control de procesos industriales se utiliza la inteligencia artificial con modelos como son las redes neuronales artificiales de regresión generalizada, estas permiten que de acuerdo a la composición del agua que ingresa a una planta de tratamiento, predecir el nivel de coagulantes que se debe dosificar para mejorar la calidad del agua potable; en esta investigación se utiliza el software Neural Tool 6.0 para obtener las predicciones con mayor exactitud ante fluctuaciones imprevisibles de turbidez o pH, optimizando la eficiencia de la planta de tratamiento (Peña Rojas & Flores del Pino, 2014).

### **2.2.3. Control financiero**

El software para la gestión integral de la junta de agua potable del barrio Pichaló (Baca Valladares & Jácome Pruna, 2019), especificado en UML y desarrollado en Java, se enfoca en la gestión de los registros de socios, lecturas de consumo de agua potable, recaudación y gastos efectuados por la organización con la finalidad de evitar las pérdidas económicas y de información debido a la operación manual de las actividades comerciales.

Carrión Jiménez & Ladino Pinto (Carrión Jiménez & Ladino Pinto, 2017), proponen un software para la gestión administrativa de diversas juntas comunitarias de agua de consumo humano, considerando que muchas de estas organizaciones tienen problemas comunes, esta implementación se encuentra basada en software libre utilizando el modelo vista-controlador y desarrolla una aplicación web para la gestión de usuarios, recaudación, multas y una aplicación móvil para Android que permite la toma de lecturas del consumo.

### **2.2.4. Sistemas ciberfísicos e IIoT**

Los sistemas ciberfísicos integran tecnologías de computación, control y comunicaciones para monitorizar y actuar sobre un entorno físico, dentro del contexto de los sistemas de agua potable se propone la arquitectura de un sistema ciberfísico que incluye estudios sobre la calidad del agua, detección y monitoreo de fugas y presión, estimación y monitoreo de parámetros y estados, predicción de la demanda, salud de la tubería, consumo de energía y gestión del agua, esta arquitectura se encuentra diseñada para optimizar la ingeniería de

operaciones y mejorar la toma de decisiones en los sistemas de agua potable (Adedeji & Hamam, 2020)

Es posible transformar la manera de recolectar el consumo de agua potable mediante el uso de tecnologías de IoT, reemplazando los medidores tradicionales por medidores inteligentes conformados por sensores de caudal, solenoides y tecnologías de comunicación, agilitando el proceso de lectura en tiempo real, disminuyendo los errores humanos ocurridos durante la medición y sobre todo brindan la opción de mantener informado al usuario del consumo instantáneo, de forma que le permita utilizar eficientemente el agua potable y detectar fugas para tomar las acciones correctivas de forma inmediata (Cunalata Paredes, 2020).

#### **2.2.5. Ciberseguridad**

La ciberseguridad es un aspecto muy importante en las infraestructuras críticas como son los sistemas de agua potable, debido a que son objeto de ataques para sabotear su funcionamiento. En esta investigación se recolectan los principales ataques efectuados a los sistemas de agua potable, además de aprovechar la experiencia de los sistemas de energía eléctrica que cuentan con una gran experiencia en este campo, para finalmente desarrollar un marco de trabajo que cubre diversos aspectos de seguridad, desde la prevención hasta la detección, respuesta y mitigación, buscando crear una sinergia entre la academia, industria y gobierno para minimizar los riesgos. (Tuptuk et al., 2021).

#### **2.2.6. Tecnologías de comunicación**

Las tecnologías de comunicación son muy importantes para conectar dispositivos a Internet, por lo que se propone el uso de que medidores residenciales que incluyan una arquitectura de comunicación IoT mixta LPWAN conformada por las tecnologías LoRa y Sigfox, permitiendo la monitorización del servicio pero también la suspensión mediante válvulas solenoides en caso de ocurrir algún evento que lo requiera contribuyendo al desarrollo de las ciudades inteligentes (Rubio-Aparicio et al., 2019).

### **2.3. Tecnologías relacionadas con el tema del TFM**

En este apartado se presentan las tecnologías habilitantes de la industria 4.0 que forman parte de este proyecto.

#### **2.3.1. Internet de las cosas industrial (IIoT)**

La base del Internet de las cosas industrial consiste en colocar diversos tipos de sensores inteligentes con altos niveles de conectividad y características industriales conectados a Internet a través de redes heterogéneas, creando un ecosistema con componentes esenciales como: ciclo de producto (PLM), Big Data, fábrica inteligente, sistemas ciberfísicos e internet

de las cosas (IoT), transformando la manera en que las personas se relacionan con el mundo industrial (CSA GROUP, 2017)

El Consorcio de Internet industrial (ICC) es una de las iniciativas con mayor relevancia en el IIoT cuyo objetivo principal es acelerar el desarrollo, la adopción y el uso generalizado de máquinas y dispositivos altamente conectados con un análisis inteligente, tanto que en la actualidad el IIoT constituye una evolución de los tradicionales sistemas SCADA.

El ICC propone para el desarrollo de los sistemas ciberfísicos utilizar la arquitectura de referencia del IIC denominada IIRA, la misma que se encuentra basada en ISO/IEC/IEEE 40210:2011 que es la ontología para la descripción de una arquitectura, esta arquitectura considera los puntos de vista de negocio, de uso, funcional y de implementación, garantizando que la arquitectura propuesta se adapte a los intereses de una organización industrial (Lin et al., 2017).

#### 2.3.1.1. Punto de vista de negocio

Considera los intereses de los actores responsables de la toma de decisiones e incluye aspectos como la visión, valores, objetivos y capacidades fundamentales identificadas del negocio que permitan maximizar los beneficios.

#### 2.3.1.2. Punto de vista de uso

Especifica como se usa el sistema IIoT mediante las capacidades fundamentales del negocio, para lo cual se proponen representaciones concretas mediante diagramas ontológicos que incluyen tareas, roles y actividades que sirven para definir los requisitos del sistema, orientar el diseño, implementación, despliegue, operación y evolución del sistema.

#### 2.3.1.3. Punto de vista funcional

Este aspecto tiene relevancia para los desarrolladores y arquitectos del sistema IIoT, ya que permite definir la funcionalidad del sistema relacionando los dominios de control, operación, información, aplicación y negocio como se indica en la Figura 9.

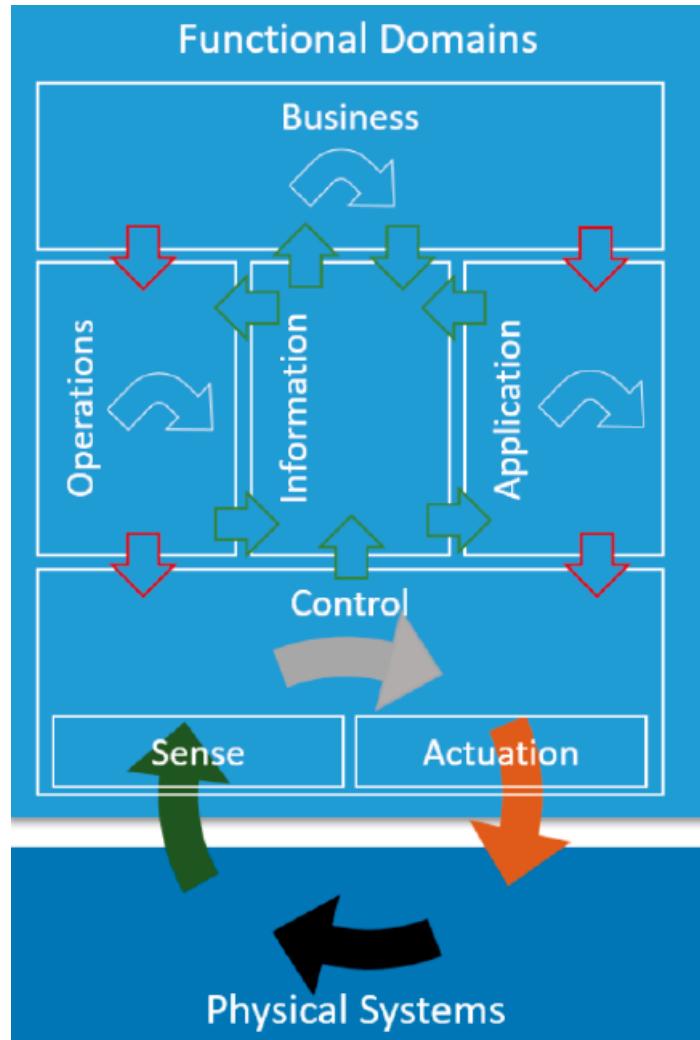


Figura 9. Dominios funcionales IIRA

Fuente: *The Industrial Internet of Things* (Lin et al., 2017)

#### 2.3.1.4. Punto de vista de implementación

Consiste en la arquitectura del sistema IIoT, incluyendo componentes, tecnologías y protocolos para implementar las actividades y funciones prescritas por los puntos de vista funcional y de uso. En la Figura 10 se muestra un modelo de arquitectura que es utilizado en este tipo de sistemas.

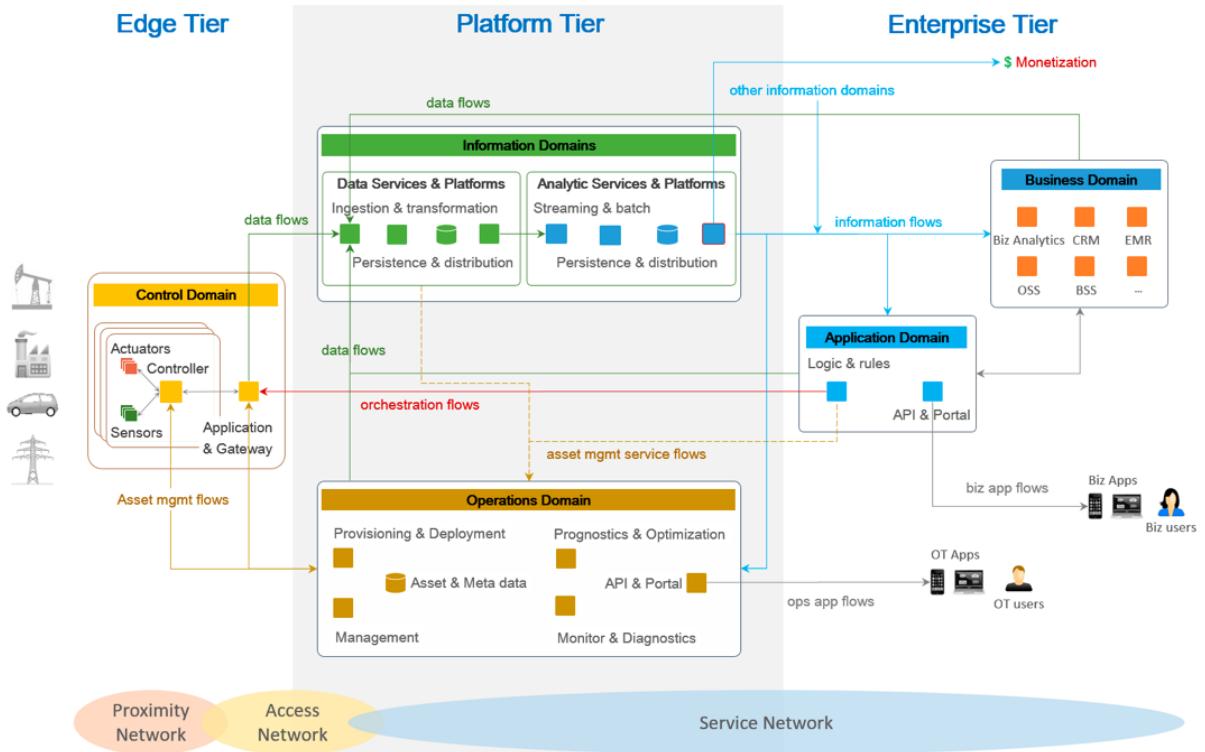


Figura 10. Patrón de Arquitectura de 3 niveles

Fuente: *The Industrial Internet of Things* (Lin et al., 2017)

### 2.3.2. Aprendizaje automático

La inteligencia artificial es una rama de la informática que estudia la creación de agentes computacionales, capaces de almacenar un conocimiento y que, al estar en contacto con un conjunto de estímulos externos, son capaces de producir resultados o acciones que maximizan una medida de rendimiento, este conocimiento puede ser aprendido por el mismo agente mediante técnicas de aprendizaje automático o puede ser incorporado por un humano experto en el dominio específico (García, 2021b).

Mediante aprendizaje automático es posible aprender:

- Hechos: simples afirmaciones de una verdad, como las relaciones entre una fecha y un hecho.
- Conceptos: son los objetos, símbolos y eventos, y es lo más factible de aprender por medios computacionales.
- Procedimientos: acciones realizadas en pasos consecutivos.
- Principios: son las leyes básicas que se utilizan para afirmar otras verdades.

En un sistema de aprendizaje automático intervienen los actores de la Figura 11 y el concepto principal es que todo dato de entrenamiento (ejemplo y no ejemplo) cuenta con

características comunes que lo hace pertenecer a una clase y esta clasificación se realiza mediante una técnica de aprendizaje automático.

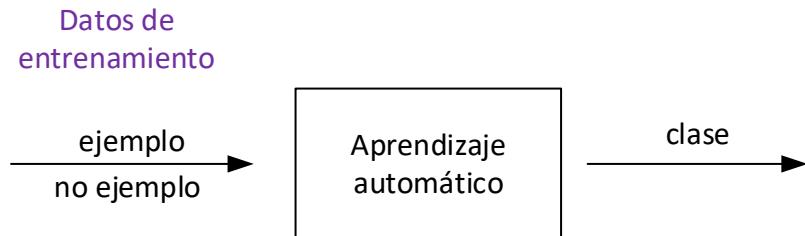


Figura 11. Sistema de aprendizaje automático en entrenamiento

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el sistema de aprendizaje tiene conocimiento sobre el dominio específico, es posible ponerlo en producción con cualquier tipo de instancia de entrada y el sistema clasificará de forma automática en una clase en función de su conocimiento, tal como se muestra en la Figura 12.

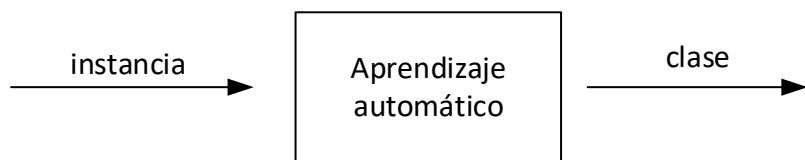


Figura 12. Sistema de aprendizaje automático en producción

Fuente: Elaboración propia

Las técnicas de aprendizaje automático se clasifican según el conocimiento de las características de las instancias, de esta manera tenemos:

#### 2.3.2.1. Aprendizaje supervisado

Compuesto por dos conjuntos de datos (dataset), uno es para el entrenamiento y otro es para realizar pruebas, estos datasets se encargan de incorporar el conocimiento a la máquina para que sea capaz de clasificar cada instancia en la clase correspondiente e identificar instancias no etiquetadas con la mayor precisión posible. En la Figura 13 se muestra un ejemplo de aprendizaje supervisado.

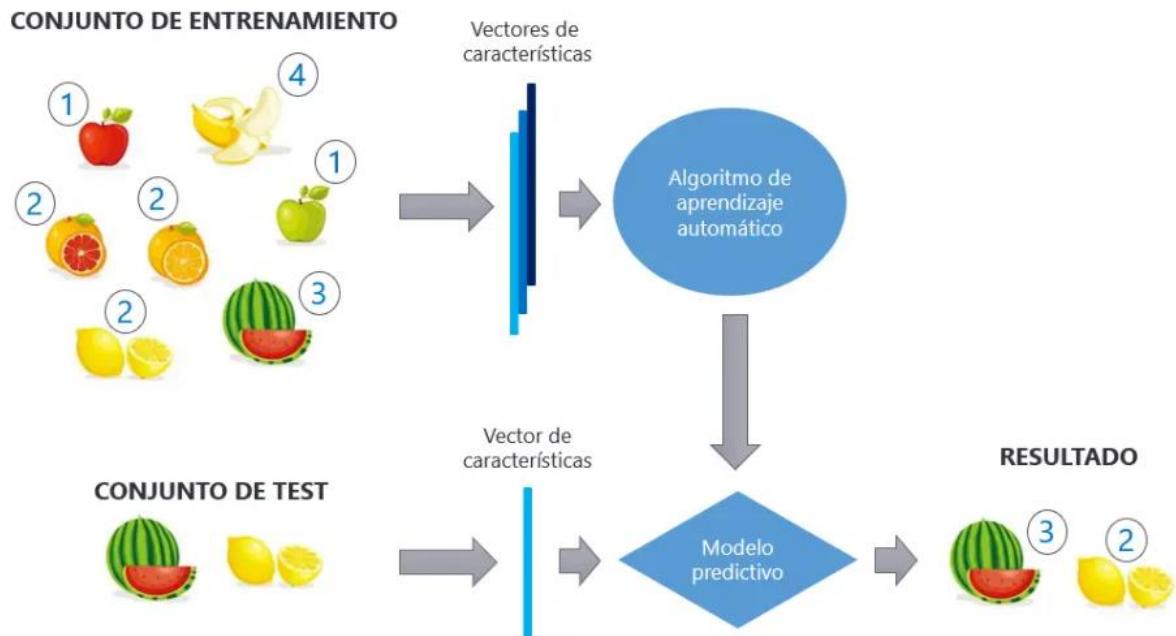


Figura 13. Aprendizaje supervisado

Fuente: Aprendizaje supervisado (Calvo, 2019)

#### 2.3.2.2. Aprendizaje no supervisado

En este tipo de aprendizaje las instancias no se etiquetan con ninguna clase en particular, sino más bien se trata de asociarlas por sus características similares o patrones generando nuevos grupos tal como se muestra en la Figura 14, lo cual permitirá a los científicos de datos considerarlos como una nueva clase para un tratamiento mediante técnicas de aprendizaje supervisado.

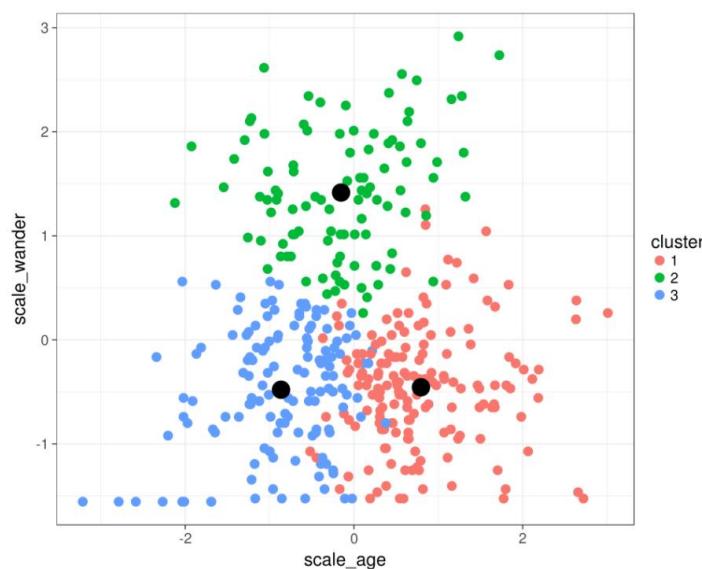


Figura 14. Aprendizaje no supervisado

Fuente: Tutorial de K-Means (Yobero, 2018)

### 2.3.2.3. Aprendizaje reforzado

Se usa para aprender constantemente en un entorno a través de prueba y error, brindando recompensas a acciones correctas tal como se muestra en la Figura 15, permitiendo al sistema aprender continuamente y tomar mejores decisiones.

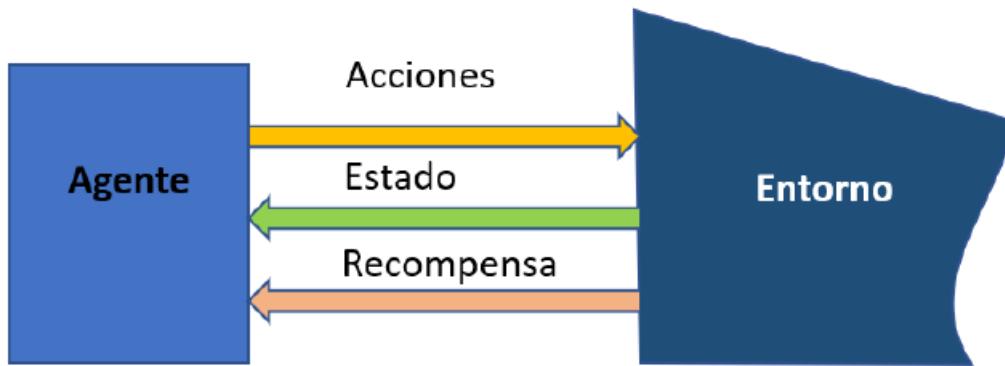


Figura 15. Aprendizaje reforzado

Fuente: Apuntes de la materia BigData y Analytics(García, 2021b)

### 2.3.3. Tecnologías de Comunicación

Tradicionalmente las comunicaciones cuentan con varias tecnologías clasificadas por su cobertura, tal es el caso de las redes de área personal (PAN) como Bluetooth y Zigbee, de igual manera las redes de área local (LAN) como Ethernet y WiFi, las redes de área amplia (WAN) como LTE y redes satelitales VSAT, sin embargo en los proyectos de IIoT los nodos se encuentran desplegados en distintos lugares y transmiten gran cantidad de datos de forma continua, por lo que es imperativo contar con una tecnología de comunicación capaz de consumir muy poca energía, de gran cobertura y con altas velocidades de transmisión, entre estas tenemos las tecnologías denominadas LPWAN, el término proviene de Low Power Wide Area Network y son muy utilizadas en ambientes abiertos o rurales donde no existe otro tipo de tecnología de comunicación, permiten desplegar redes de gran cobertura gracias a sus excelentes técnicas de propagación, con un mínimo consumo energético configurando algunos ciclos para el envío de datos y durante otros ciclos se mantiene apagado el transmisor, extendiendo la vida de las baterías hasta 10 años (del Valle, 2018).

Entre las tecnologías más importantes LPWAN se encuentran LoRa, LTE-M, NB-IoT y SigFox, entre otras, las cuales tienen prestaciones diferentes tal como se muestra en la Tabla 1, operan en diferentes frecuencias y son operadas por distintas empresas en todo el mundo (Amelia et al., 2021).

**Tabla 1. Tecnologías LPWAN**

Tecnología	Arquitectura	Movilidad	Cobertura	Consumo de corriente	Velocidad	Coste
<b>Bluetooth V5.2 (BLE)</b>	LAN	Baja	< 100 m	10 mA	2 Mbps	\$\$
<b>WiFi 802.11 g/n</b>	LAN	Media	< 70 m	140 mA (g) 120 mA (n)	54 Mbps 150 Mbps	\$
<b>Fast Ethernet</b>	LAN	Baja	< 100 m	150 mA	100 Mbps	\$
<b>LoRa</b>	LPWAN	Media	< 20 Km	34 mA	50 Kbps	\$\$
<b>SigFox</b>	LPWAN	Media	< 10 Km	54 mA	27 Kbps	\$\$
<b>NB-IoT</b>	LPWAN	Baja	< 10 Km	190 mA	DL: 50 Kbps UL: 70 Kbps	\$\$
<b>LTE-M</b>	LPWAN	Media	< 10 Km	235 mA	DL: 300 Kbps UL: 375 Kbps	\$\$

*Fuente: Aplicaciones IoT Industriales (Amelia et al., 2021)*

Para el caso del Ecuador el grupo WDN opera una red SigFox, sin embargo en la ciudad de Loja donde se encuentra ubicada la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla no tienen cobertura para prestar el servicio; algo similar ocurre con las tecnologías LTE-M y NB-IoT ya que en el área de influencia del proyecto no se cuenta con redes móviles con tecnología 4G, lo cual impide que los operadores puedan prestar servicios con estas tecnologías; considerando lo mencionado, la única opción viable es implementar una red LoRa que es la tecnología que se va a profundizar.

#### 2.3.3.1. LoRa

Tecnología que usa el protocolo abierto LoRa patentado por LoRa Alliance y desarrollado en un inicio por la empresa Semtech, se utiliza para la comunicación inalámbrica de dispositivos IIoT su característica es que son de baja potencia y tienen una gran cobertura, se encuentra en las tres primeras capas del modelo OSI y sirve para una topología punto a multipunto.

Las bandas de frecuencia que utiliza se encuentran en 433 MHz, 868 MHz y 915 MHz con técnicas de espectro ensanchado, ortogonalidad y corrección de errores permite decodificar múltiples señales en una misma frecuencia (Semtech, 2021).

#### 2.3.4. Inteligencia de negocios

También conocida como business intelligence, consiste en un conjunto de buenas prácticas impulsadas por tecnologías de la industria 4.0, herramientas y aplicaciones prácticas dentro de organizaciones, con la finalidad de convertirse en una herramienta de apoyo a la decisión (DSS), para mejorar y acelerar la toma de decisiones

Entre sus funciones se encuentra la capacidad para recopilar, integrar, analizar y presentar la información corporativa sin procesar y generar información útil que permita analizar los datos en tiempo real, aumentar la eficiencia operativa reduciendo tiempos y costos, la mejora competitiva, detectar problemas y procesos ineficientes, identificar tendencias del mercado y crear vías para generar nuevos negocios (García, 2021a).

Existe gran variedad de software en el mercado que permite implementar inteligencia de negocios, los cuales dentro de sus características comunes permiten realizar las siguientes actividades:

- Información histórica, actual y predictiva de las operaciones.
- Generación de informes.
- Análisis interactivos de tablas dinámicas.
- Visualización intuitiva y atractiva.
- Minería de datos estadísticos.
- Múltiples perspectivas empresariales: ventas, producción, financiación, etc.
- Gestión del rendimiento empresarial.
- Benchmarking

La implantación de inteligencia de negocios dentro de una organización se encuentra conformada por la dirección estratégica para la elaboración e implantación de estratégicas y el cuadro de mando integral que permite medir los resultados, aspectos que serán cubiertos a continuación (García, 2021a).

##### 2.3.4.1. Dirección estratégica

Proviene del griego *strategos* y se utiliza en organizaciones que funcionan en entornos globales, dinámicas y competitivas que requieren una guía para el cumplimiento de la misión y consecución de objetivos.

El proceso de dirección estratégica se basa en un sistema de planificación - acción compuesto de los siguientes aspectos:

- **Análisis estratégico:** se realiza un análisis interno y externo de la organización, cuyo resultado se presenta en una matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA). Adicionalmente es importante elaborar un perfil estratégico

mediante el modelo de fuerzas de Porter, para establecer una fórmula de como la organización va a competir.

- **Planificación estratégica:** establece la misión, visión y objetivos estratégicos de la organización.
- **Formulación de estrategias:** se evalúan las diferentes estrategias y se escogen aquellas que son convenientes, aceptables y factibles.
- **Implantación:** consiste en asignar responsables a las tareas que se deben ejecutar para alcanzar los objetivos.
- **Control estratégico:** monitoriza el logro de los resultados, garantizando el cumplimiento de los objetivos estratégicos y se lo realiza mediante un cuadro de mando integral.

#### 2.3.4.2. Cuadro de mando integral

Mide los resultados de la organización a largo plazo, traduciendo la estrategia en objetivos relacionados que se pueden medir a través de indicadores de desempeño, ligados a unos planes de acción que permiten alinear el comportamiento de toda la organización.

Cuenta con cuatro perspectivas que permiten equilibrar los objetivos a corto y largo plazo que son las siguientes:

- **Perspectiva financiera:** trata sobre cómo mejorar el rendimiento para los accionistas.
- **Perspectiva del cliente:** para lograr la satisfacción de los clientes.
- **Perspectiva del proceso interno:** intervenir los procesos donde hay que poner atención en la calidad.
- **Perspectiva de aprendizaje y crecimiento:** mejorar las competencias del personal de la organización, tanto en capacitación como en herramientas.



Figura 16. Perspectivas del CMI

Fuente: Apuntes de la materia BigData y Analytics(García, 2021b)

## 2.4. Conclusiones sobre el estado del arte

Se observa que, entre las soluciones propuestas para atender los requerimientos de una JAAP, existe gran cantidad de software desarrollado para el control financiero; por otra parte, existen desarrollos para automatizar el control y monitorizar la calidad del agua potable. Estas soluciones independientes una de la otra impide a los administradores contar con una visión global del verdadero estado del sistema de agua potable.

De igual manera se ha podido resaltar que el uso de los sensores para obtener información de objetos inanimados como la infraestructura civil de un sistema de agua potable, el uso del Internet Industrial de las Cosas para el control, monitoreo de los parámetros la planta de tratamiento, la automatización mediante técnicas de inteligencia artificial y la gestión de la organización mediante inteligencia de negocios, brindan la oportunidad a la administración de generar estrategias que permitan incrementar el tiempo de vida útil del sistema, sin dejar de lado los aspectos administrativos que garantizan la sostenibilidad de una organización de agua potable comunitaria.

# 3. Descripción general de la contribución del TFM

## 3.1. Objetivos

Las JAAP al ser organizaciones comunitarias con limitados recursos financieros y administrativos, requieren cumplir con los siguientes objetivos para lograr una gestión eficiente e inteligente:

### **Objetivo general**

Desplegar un sistema de gestión inteligente dentro de una organización de agua potable comunitaria, integrando capacidades de control financiero, producción de agua con calidad y monitoreo del estado de salud de la infraestructura, para incrementar el tiempo de vida útil del sistema.

### **Objetivos específicos**

1. Reducir la cartera vencida del sistema de agua potable comunitario a un valor menor al 20%, mediante la adaptación de un sistema informático de control financiero que permita gestionar el consumo y la recaudación.
2. Monitorizar la calidad de la producción de agua potable de acuerdo con las regulaciones ecuatorianas, mediante un ecosistema basado en internet de las cosas industrial (IIoT)

3. Predecir la ocurrencia del mantenimiento y el estado de salud de los principales componentes de la planta de tratamiento de agua potable, determinando su tiempo de vida útil (RUL).
4. Agrupar los desarrollos planteados en los objetivos anteriores, en un cuadro de mando integral de inteligencia de negocios, con indicadores de desempeño (KPI), envío de alertas a los responsables, reduciendo el tiempo de atención a eventos y toma de decisiones en menos de 1 hora.

### 3.2. Metodología del trabajo

Este proyecto va a ser gestionado mediante la metodología de gestión de innovación denominado “Design Thinking” con innovación abierta (Open Innovation) por la facilidad de incluir dentro de este proceso, a los responsables de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, e información de otras JAAP quienes serán una parte importante para comprender las necesidades y oportunidades de su organización.

La metodología planteada se muestra en la Figura 17 y se detalla en los siguientes apartados

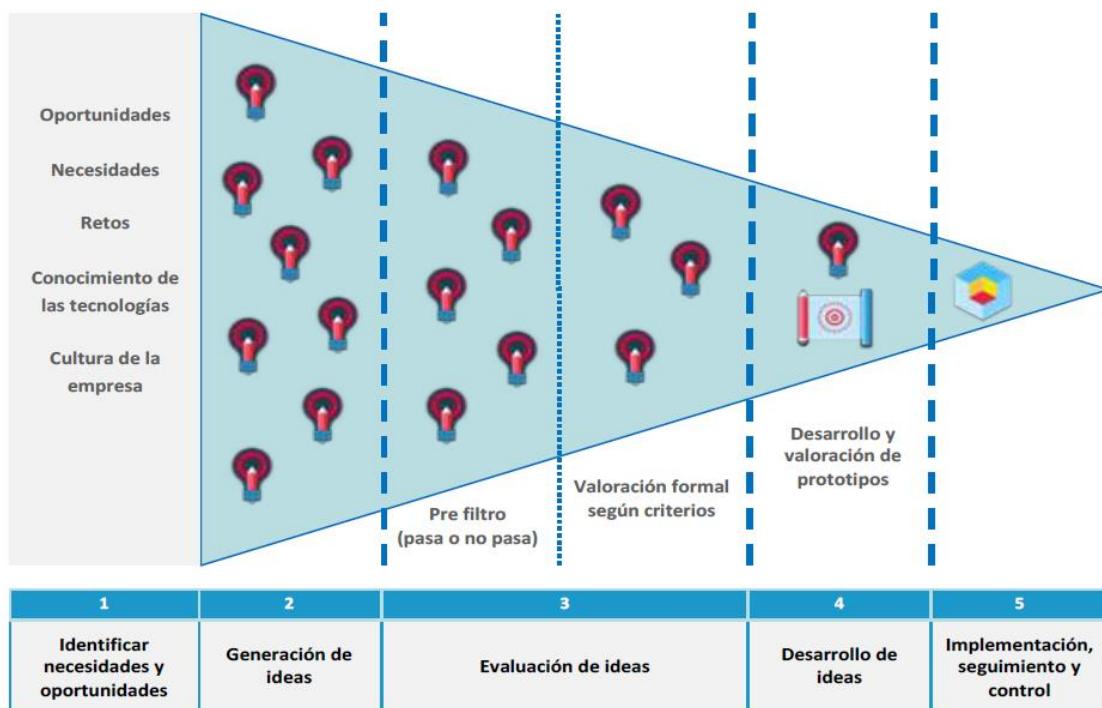


Figura 17. Metodología de trabajo

Fuente: Apuntes de la materia Innovación Tecnológica (García, 2021b)

### **3.2.1. Identificar necesidades y oportunidades**

Se realizarán reuniones internas con el personal de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, para conocer información acerca de los procesos actuales y tecnología que disponen; adicionalmente se va a recolectar los principales problemas que tienen otras JAAP proveniente de estudios académicos como fuente secundaria.

Con la información recolectada se realizará un análisis FODA y se priorizan las necesidades y oportunidades correspondientes a los aspectos financieros, calidad de agua y de mantenimiento de la infraestructura.

### **3.2.2. Generación de ideas**

Considerando que este proyecto debe mantener criterios de innovación abierta (Open Innovation) se va a solicitar al personal de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, plantear propuestas de solución a las necesidades y oportunidades del punto anterior, las mismas que serán registradas, clasificadas y se realizarán los aportes necesarios para mejorarlas mediante ingeniería de requisitos de la plataforma de gestión inteligente propuesta.

### **3.2.3. Evaluación de ideas**

Las ideas van a pasar por una etapa de prefiltrado considerando únicamente aquellas que sean parte de los objetivos de este trabajo.

Las ideas que pasen el prefiltro serán valoradas formalmente mediante una matriz de decisión con base en los criterios de coste, tiempo de implementación (time to market), mantenimiento y retorno de la inversión (ROI)..

### **3.2.4. Desarrollo de las ideas**

Se prueban las ideas resultantes mediante una experiencia piloto con la metodología prueba de concepto (PoC) en la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla y se toman todas las consideraciones necesarias para convertir la idea que permita alcanzar los resultados esperados en un proyecto.

### **3.2.5. Implementación**

Una vez definido el proyecto, se propone utilizar la metodología SCRUM con sprints de una semana, donde el dueño del producto será el presidente de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, el Scrum Máster será el proponente de este trabajo y el equipo desarrollador estará subcontratado en modalidad por proyecto, adicionalmente se planifican las siguientes actividades a elaborar:

- Estrategia de comunicación a los usuarios del sistema de agua potable
- Acompañamiento del proponente para coordinar con los subcontratistas la instalación y atender dudas de la administración y usuarios respecto de la innovación.

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

Una vez ejecutadas las reuniones planificadas para obtener información y cumplir con la metodología expuesta en el apartado 3.2, se decide previa aprobación de la presidencia de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, la implementación de un sistema de gestión inteligente de un sistema de agua potable comunitario, mediante tecnología de IIoT con hardware de bajo coste, cuyas características se detallan a continuación.

#### **Alcance y limitaciones**

El sistema de gestión inteligente va a recolectar datos de forma automática de los siguientes aspectos:

- Recolección de datos de los procesos financieros
- Recolección de datos de calidad del agua potable distribuida
- Recolección de datos del estado de infraestructura del sistema de agua potable

Se realizará un cuadro de mando integral producto de un análisis de inteligencia de negocios que permita a la administración monitorizar y controlar el estado del sistema de agua potable, con alarmas en caso de condiciones anormales que serán enviadas a los responsables para que puedan ser atendidas.

La prueba de concepto en el sistema de agua potable de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, utilizará sensores de bajo coste con baterías que duren al menos 1 año, las comunicaciones se realizarán en la banda ISM con tecnología LPWAN y los dispositivos serán plataforma de hardware abierto como Arduino o similares.

La planta de agua por table de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, no cuenta con todas las etapas planteadas en la Figura 1, por lo que únicamente se va a utilizar la arquitectura actualmente instalada que se muestra en la Figura 6.

El proyecto no va a incluir aspectos de ciberseguridad, que son muy importantes en este tipo de sistemas, sin embargo, por temas de tiempo no se los aborda, pero se los propone como un trabajo futuro.

### **Listado de participantes**

Se incluye la participación del personal administrativo, financiero y operativo de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla.

### **Tecnologías implicadas**

Las tecnologías habilitantes de la industria 4.0 utilizadas en el presente proyecto son las siguientes:

- Internet de las cosas industrial (IIoT), mediante sensores y la arquitectura de internet industrial IIIRA permite la recolección y procesamiento de datos.
- Inteligencia artificial (IA), para la determinación del mantenimiento predictivo de la infraestructura mediante aprendizaje automático.
- Inteligencia de negocios (BI), que permita elaborar el cuadro de mando integral de acuerdo a los procesos internos.
- Computación en la nube (Cloud computing), la plataforma de control debe ser accedida por el personal autorizado desde cualquier lugar, garantizando la ubicuidad.
- Comunicaciones, para comunicar los sensores entre ellos y con el Gateway para enviar los datos a Internet, para esto se va a utilizar una tecnología LPWAN

### **Arquitectura, componentes e integración de tecnologías.**

La solución planteada con las tecnologías habilitantes de la industria 4.0 se muestra en la Figura 18.

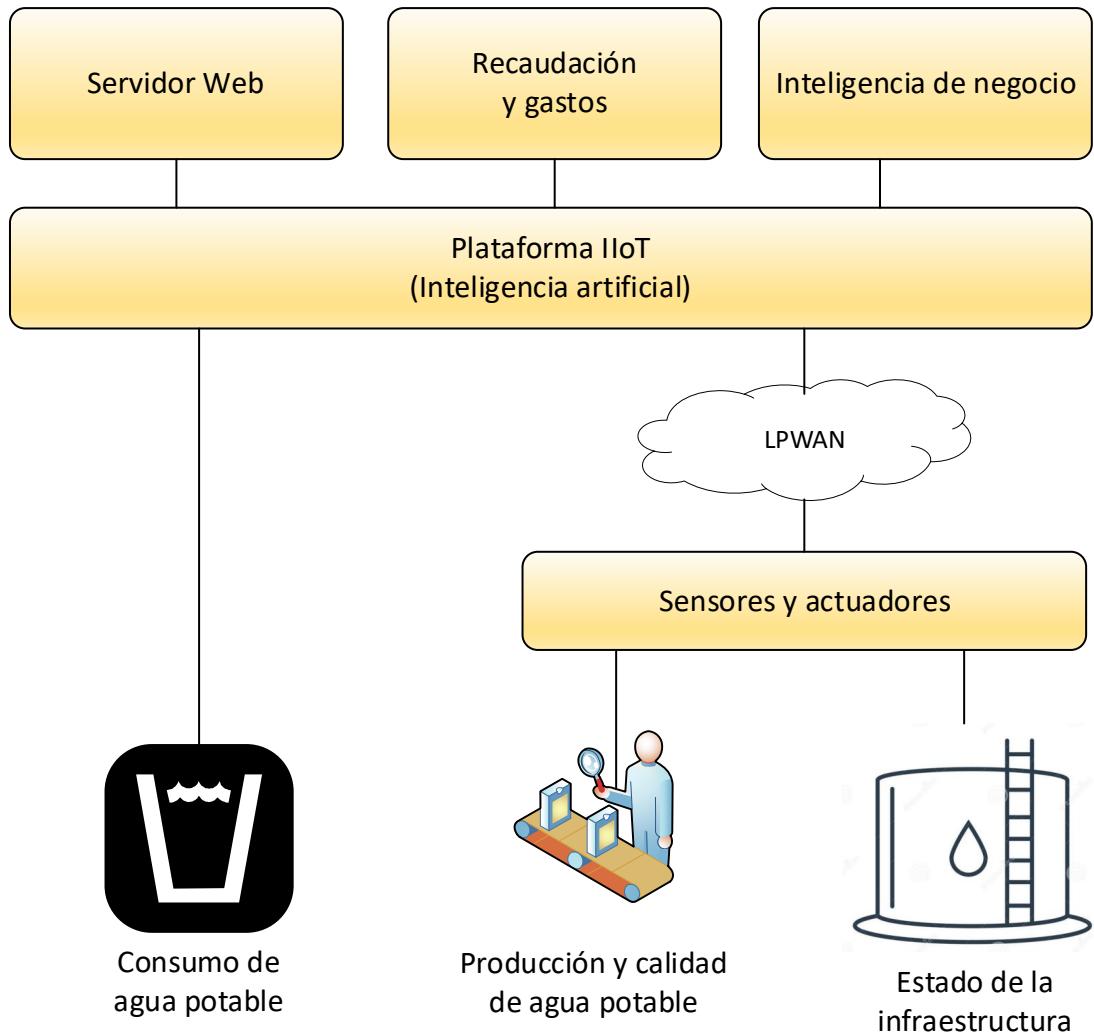


Figura 18. Sistema de gestión inteligente JAAP

Fuente: Elaboración propia

### Resultados esperados

Los resultados esperados con esta propuesta son:

- Registrar el consumo de agua con un registro de novedades presentadas en los medidores.
- Presentar al usuario el valor a pagar mediante una plataforma web
- Llevar un registro de la cartera vencida.
- Controlar si el agua potable producida en la planta de tratamiento es apta para el consumo humano.
- Llevar un registro de la cantidad de agua que se produce en la planta de tratamiento por mes.
- Controlar el estado de los elementos prioritarios del sistema de agua potable.

- Alertar el tiempo de mantenimiento de los filtros lentes.
- Contar con un cuadro de mando integral que permita monitorizar el estado del sistema de agua potable con las diferentes perspectivas de inteligencia de negocios y estado de salud de la infraestructura.

#### **Presupuesto y retorno esperado de la inversión**

Se espera conseguir un incremento en los ingresos mensuales de la JAAP, reduciendo la cartera vencida que durante el mes de octubre de este año, se encuentra en 62%, intentando llegar a recaudar \$1.500,00 mensuales por concepto de consumo de agua potable.

Se pretende evitar la destrucción de la infraestructura civil de la planta de agua potable por falta de mantenimiento, cuya inversión fue de \$80.000 dólares aproximadamente.

Los costes de inversión de la plataforma tecnológica que incluye sensores, comunicación, plataforma en la nube, equipo informático, equipo de implementación y mano de obra calificada, estarán a cargo de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla.

Estos aspectos dan muestras claras que este proyecto será rentable, ya que solo con evitar la destrucción de la planta de agua potable, se va a pagar toda la inversión efectuada en este proyecto y quedara liquidez suficiente para realizar inversiones futuras.

#### **Planificación general**

Como se mencionó en el apartado 3.2 se va a seguir la metodología Design Thinking con innovación abierta, por lo que cada actividad de esta metodología representa una fase de desarrollo de este trabajo y se muestra en la Figura 19, con un tiempo de duración de 240 días de puesta en operación.

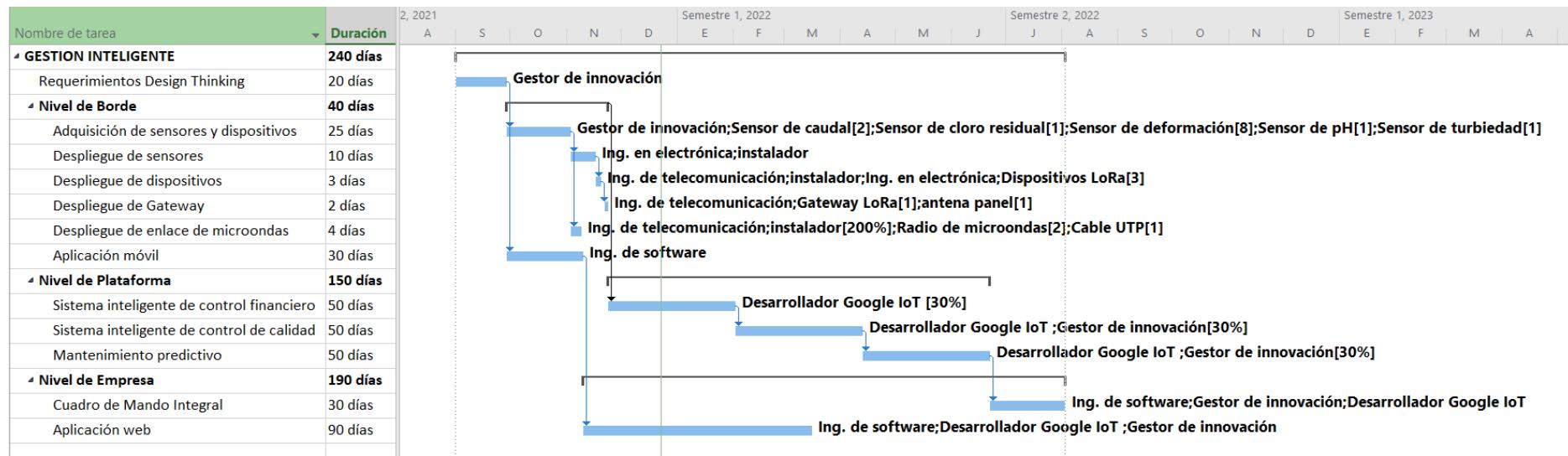


Figura 19. Cronograma del proyecto

Fuente: Elaboración propia

## 4. Desarrollo específico de la contribución

Este apartado desarrolla la solución aceptada para la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, profundizando en lo descrito en los apartados 3.2 y 3.3 de este documento.

### 4.1. Arquitectura IIRA

Esta arquitectura presenta un marco de trabajo basado en ISO/IEC/IEEE 42010:2011 que permite elaborar una arquitectura IIoT que relaciona los intereses y preocupaciones de los actores relevantes y sus diversos puntos de vista.

#### 4.1.1. Punto de vista de negocio

Orientado a maximizar el tiempo de vida útil de la infraestructura, controlar que el agua producida sea de calidad y reducir la cartera vencida.

##### 4.1.1.1. Actores relevantes

- Presidente de la JAAP
- Asamblea general de socios de la JAAP
- Representante local del Ministerio del Ambiente, agua y Transición Ecológica

##### 4.1.1.2. Visión

- Hacer de la JAAP una organización autosostenible que sirva como referente de la gestión comunitaria en el sur del Ecuador con producción de agua potable según la demanda de los usuarios.
- Plazo: 4 años.

##### 4.1.1.3. Valor

- Producción de agua potable eficiente y cumpliendo con normativas técnicas de calidad.
- Control financiero que permita el control de ingresos, gastos y la recuperación de cartera.
- Mantenimiento de los componentes de la planta de tratamiento.
- Cumplir con las regulaciones gubernamentales de la concesión del agua.

##### 4.1.1.4. Objetivos claves

- Reducir la cartera vencida a menos del 20% mensual.
- Mejorar la calidad de agua potable distribuida según la normativa INEN 1108.

- Predecir el tiempo de ocurrencia del mantenimiento de los filtros lento y tanques de almacenamiento

#### 4.1.1.5. Capacidades fundamentales

- Monitoriza el estado de salud de la planta de tratamiento.
- Liquidez suficiente para afrontar los gastos corrientes e inversiones.

#### 4.1.2. Punto de vista de uso

Referente al uso del sistema se van a plantear dos casos de uso que forman parte de las capacidades fundamentales del sistema propuesto.

##### 4.1.2.1. Punto de vista de uso 1

El primer punto de vista trata sobre el tratamiento que se debe dar cuando la cartera vencida tienda a incrementar su valor, lo cual llevaría a una potencial iliquidez de la organización.

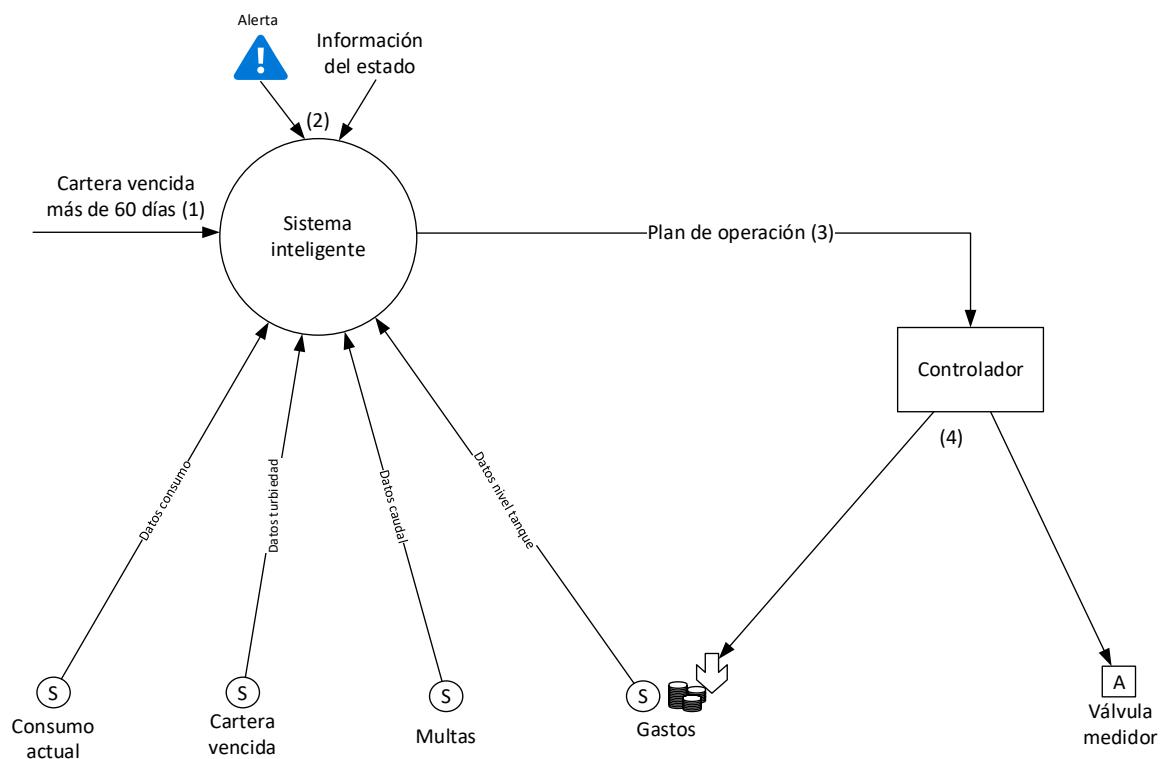


Figura 20. Punto de vista de uso 1

Fuente: Elaboración propia

De forma normal el sistema inteligente que es gestionado directamente por el presidente de la JAAP con capacidad de tomar decisiones monitoriza el consumo, cartera vencida, multas de cada socio y gastos; cuando la cartera vencida de un socio supera los 60 días (1) que es el tiempo máximo de espera según el Reglamento Interno de la JAAP, se

envía una alerta al presidente y se muestra en el cuadro de mando integral (2) el nombre del socio involucrado, lo cual genera de forma automática una orden de trabajo al operador para la suspensión del servicio de agua potable (3) al socio, el operador procede a ejecutar la orden cerrando de forma manual la válvula que permite el suministro de agua potable del socio. En caso de que existan varios socios incrementando la cartera vencida por más de 60 días, el presidente emite el plan de operación (3) al Tesorero para reducir los gastos operativos (4), finalmente el operador notifica al socio para que se acerque a tesorería a cumplir con los pagos pendientes.

En la Tabla 2 se especifican las tareas, decisiones y responsables de la ejecución de la actividad 1.

**Tabla 2. Actividades del punto de vista 1**

Actividad	Alerta de incremento de cartera vencida <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desencadenante: cartera vencida lleva más de 60 días</li> <li>• Flujo de trabajo: secuencia de tareas (Figura 20).</li> <li>• Efecto: suspender el servicio a los usuarios morosos y disminuir los gastos operativos.</li> <li>• Restricciones: el servicio no se debe suspender a todos los usuarios y la información debe estar disponible en Internet.</li> </ul>		
Parte	Presidente	Tesorero	Operador
Roles	Sistema inteligente	Controlador	Controlador
Tarea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recoger información de ingresos y gastos.</li> <li>• Crear un plan de operación.</li> <li>• Enviar una alerta al presidente y tesorero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar el plan de operación.</li> <li>• Reducir gastos operativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suspender el servicio de agua potable</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2.2. Punto de vista de uso 2

El segundo punto de vista trata sobre el tratamiento que se debe dar cuando alguna de las variables de calidad del agua producida que se encuentran monitorizadas por el sistema, se altera o cambia saliendo de un rango considerado como normal.

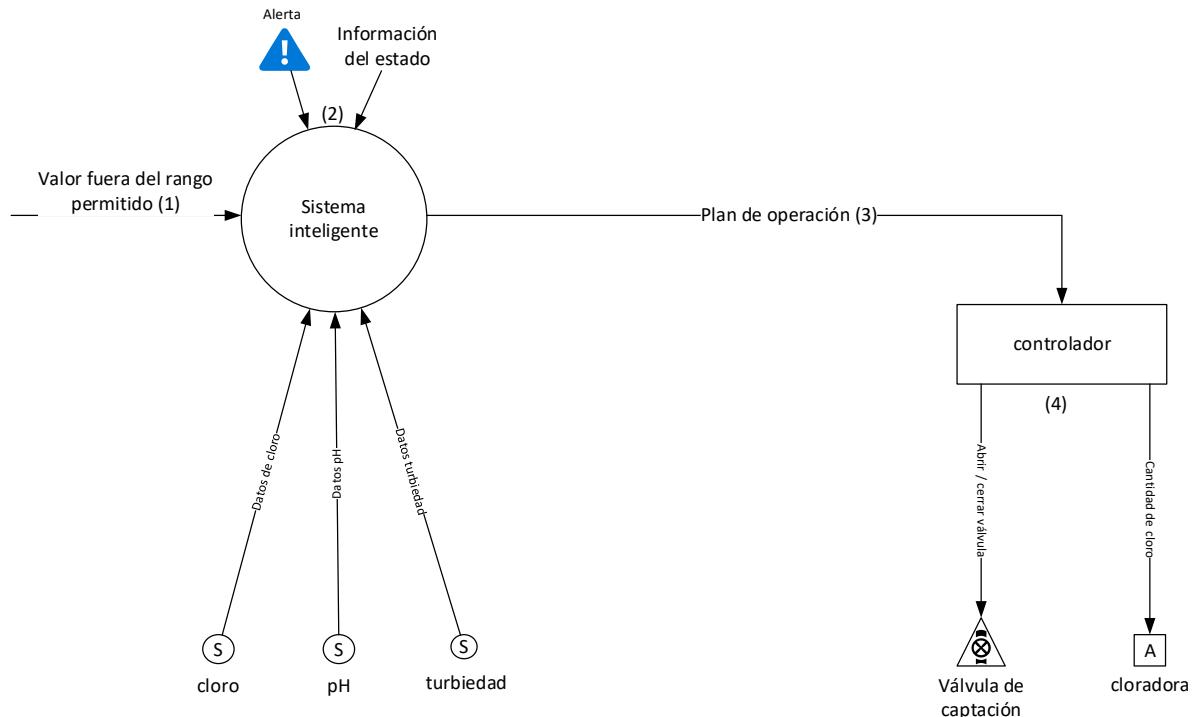


Figura 21. Punto de vista de uso 2

Fuente: Elaboración propia

De forma normal el sistema inteligente gestionado directamente por el presidente de la JAAP con capacidad de tomar decisiones, monitoriza los sensores de cloro, pH, turbidez caudal y deformación de tanques; cuando alguno de estos valores cambia fuera de un rango definido mediante inteligencia de negocios (1), el sistema inteligente envía una alerta al presidente y al operador, al mismo tiempo que actualiza los valores en el cuadro de mando integral para mostrar el parámetro que ha sido afectado (2), el presidente en conjunto con el operador general un plan de operación para gestionar la alerta (3) y el operador ejecuta el plan ya sea abriendo o cerrando de forma manual la válvula de la captación que permite el ingreso de agua cruda a la planta de tratamiento, cambiando la configuración de cantidad de suministro de cloro (4).

En la Tabla 3 se especifican las tareas, decisiones y responsables de la ejecución de la actividad 2.

**Tabla 3. Actividades del punto de vista 2**

<b>Actividad</b>	Alerta del estado de salud de la planta de tratamiento	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Desencadenante: cambio de alguna de las variables monitorizadas.</li><li>• Flujo de trabajo: secuencia de tareas (Figura 21).</li><li>• Efecto: cambio en la válvula de captación o cambio en la dosificación de cloro.</li><li>• Restricciones: el sistema debe mantenerse en funcionamiento.</li></ul>	
<b>Parte</b>	Presidente	
<b>Roles</b>	Sistema inteligente	Controlador
<b>Tarea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recoger información de los sensores.</li><li>• Crear un plan de operación.</li><li>• Enviar una alerta al presidente y operador</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ejecutar el plan de operación</li></ul>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2.3. Punto de vista de uso 3

El tercer punto de vista trata sobre el momento de brindar mantenimiento a los componentes más relevantes de la planta de tratamiento de agua potable

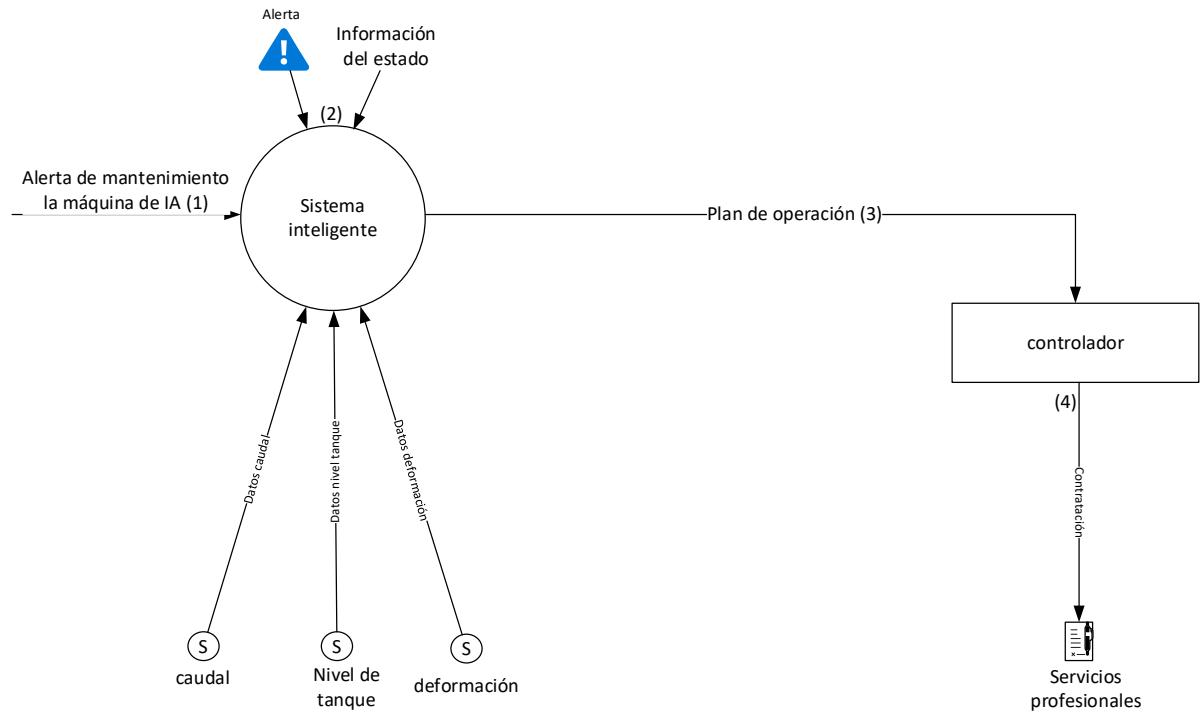


Figura 22. Punto de vista de uso 3

Fuente: Elaboración propia

De forma normal el sistema inteligente gestionado directamente por el presidente de la JAAP con capacidad de tomar decisiones, monitoriza los sensores de caudal, nivel de tanque y deformación para determinar mediante inteligencia artificial el momento de dar mantenimiento a los filtros lentes de arena; una máquina con inteligencia artificial envía una alerta de mantenimiento cuando el tiempo de vida útil (RUL) se encuentra próximo a ocurrir (1), el sistema inteligente envía una alerta al presidente y al operador, al mismo tiempo que actualiza los valores en el cuadro de mando integral para mostrar si alguno de los componentes requiere mantenimiento (2), el presidente en conjunto con el operador general un plan de operación para gestionar la alerta (3) y el operador ejecuta el plan subcontratando servicios profesionales para dar mantenimiento correctivo al componente de la planta que ha sido afectado (4).

En la Tabla 4 se especifican las tareas, decisiones y responsables de la ejecución de la actividad 3.

**Tabla 4. Actividades del punto de vista 3**

<b>Actividad</b>	Alerta del estado de salud de la planta de tratamiento <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desencadenante: alerta enviada por la máquina con inteligencia artificial.</li> </ul>
------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flujo de trabajo: secuencia de tareas (Figura 22).</li><li>• Efecto: contratar servicios profesionales.</li><li>• Restricciones: el sistema debe mantenerse en funcionamiento.</li></ul>	
<b>Parte</b>	Presidente	Operador
<b>Roles</b>	Sistema inteligente	Controlador
<b>Tarea</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recoger información de los sensores.</li><li>• Procesar mediante inteligencia artificial.</li><li>• Crear un plan de operación.</li><li>• Enviar una alerta al presidente y operador</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ejecutar el plan de contratación.</li><li>• Fiscalizar las obras o servicios subcontratados.</li></ul>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.3. Punto de vista funcional

Este aspecto se encuentra dirigido para los desarrolladores donde se definen cuatro tipos de dominios funcionales: control, operaciones, información, aplicación y negocio tal como se muestra en la figura 23.

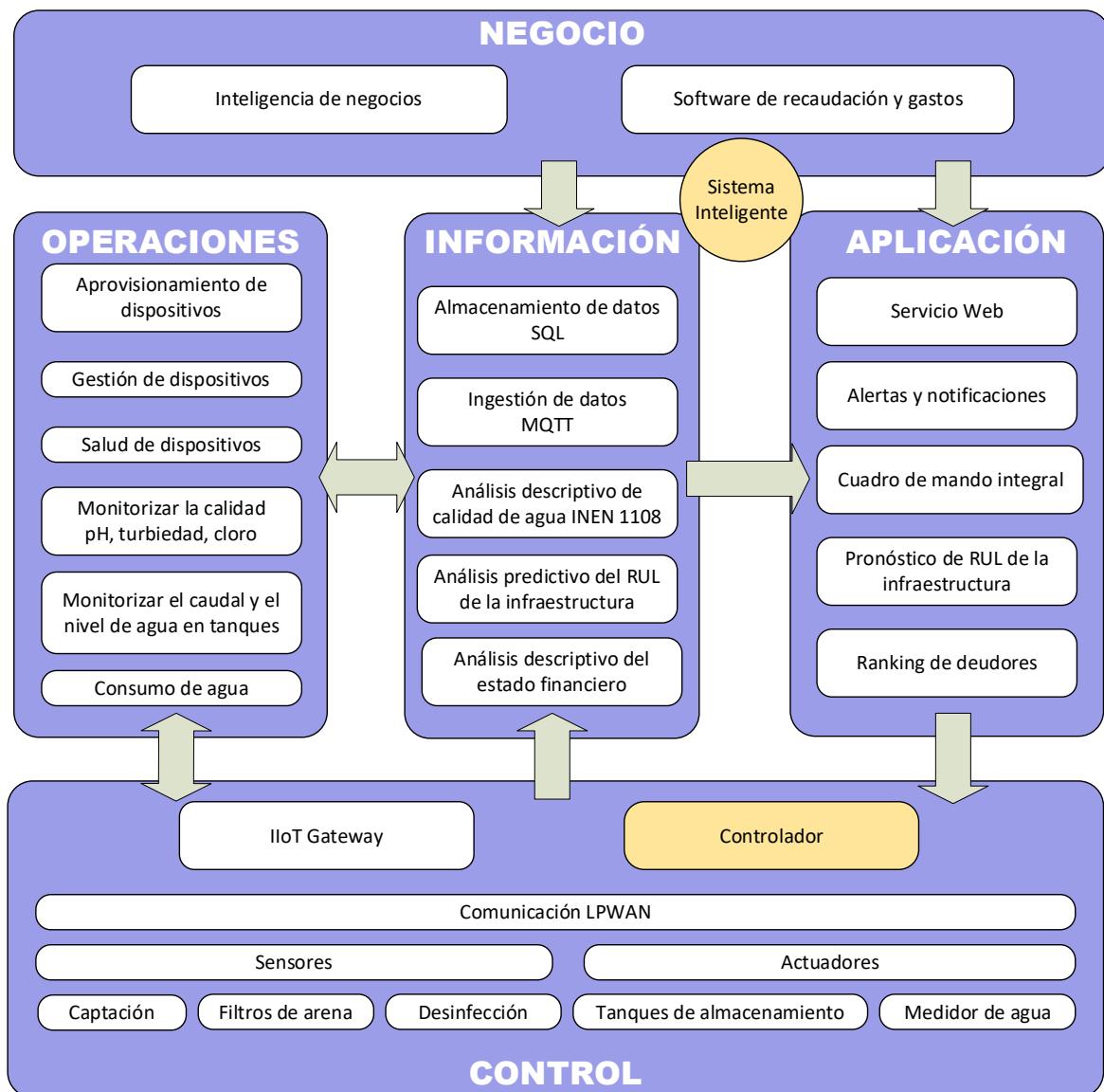


Figura 23. Punto de vista funcional

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.1. Dominio de control

- Sensor de caudal en la entrada de la planta de tratamiento.
- Sensores de caudal, pH, turbidez y cloro residual a la entrada a la red de distribución.
- Sensor de nivel en cada tanque de almacenamiento de agua potable.
- Electroválvula en la captación de agua cruda. Válvulas manuales en los domicilios.
- La lectura se recolecta mediante una aplicación móvil.
- La comunicación será mediante una red LoRa que interconecta los dispositivos con un IIoT Gateway que se encuentra conectado a Internet.

- El rol de controlador se encuentra en este dominio para actuar sobre diversos elementos físicos del sistema de agua potable.

#### 4.1.3.2. Dominio de operaciones

- Aprovisionar, gestionar y se monitorizar el estado de salud de todos los dispositivos.
- Monitorizar el nivel de pH, turbidez, cloro residual, caudal y nivel de agua en los tanques de almacenamiento.
- Permitir el ingreso de las lecturas de los medidores de agua potable de cada socio mediante la aplicación móvil.

#### 4.1.3.3. Dominio de información

- Permite la ingestión de datos de los sensores y de la lectura del medidor mediante la aplicación móvil, esto se realizará utilizando el protocolo MQTT.
- Análisis descriptivo del estado de la calidad de producción de agua potable y estado financiero de la JAAP.
- Análisis predictivo del tiempo de vida remanente (RUL) de la infraestructura de la planta de tratamiento.

#### 4.1.3.4. Dominio de aplicación

- Se mostrará un cuadro de mando integral que se encuentra en un servidor web con información del estado de la calidad del agua producida (pH, turbidez, caudal y cloro residual), estado de los filtros, tanques de almacenamiento y estado de las finanzas de la JAAP.
- Presentar el tiempo de vida restante de los filtros y tanques de almacenamiento.
- Presentar un ranking de los deudores que mantienen deudas con la JAAP más de 60 días y el valor adeudado acumulado.

#### 4.1.3.5. Dominio de negocio

- Utiliza Inteligencia de negocios para elaborar el cuadro de mando integral con los rangos permitidos para la calidad de agua, estado de infraestructura y estado financiero.
- Se cuenta con un software de recaudación y gastos que permite el registro integral de ingresos y gastos manejado por el presidente y tesorero que permite el control financiero de la JAAP.

### 4.1.4. Punto de vista de implementación

La representación técnica del sistema IIoT y se propone utilizar el patrón de arquitectura de tres niveles por ser el de mayor uso, el cual se muestra en la Figura 24.

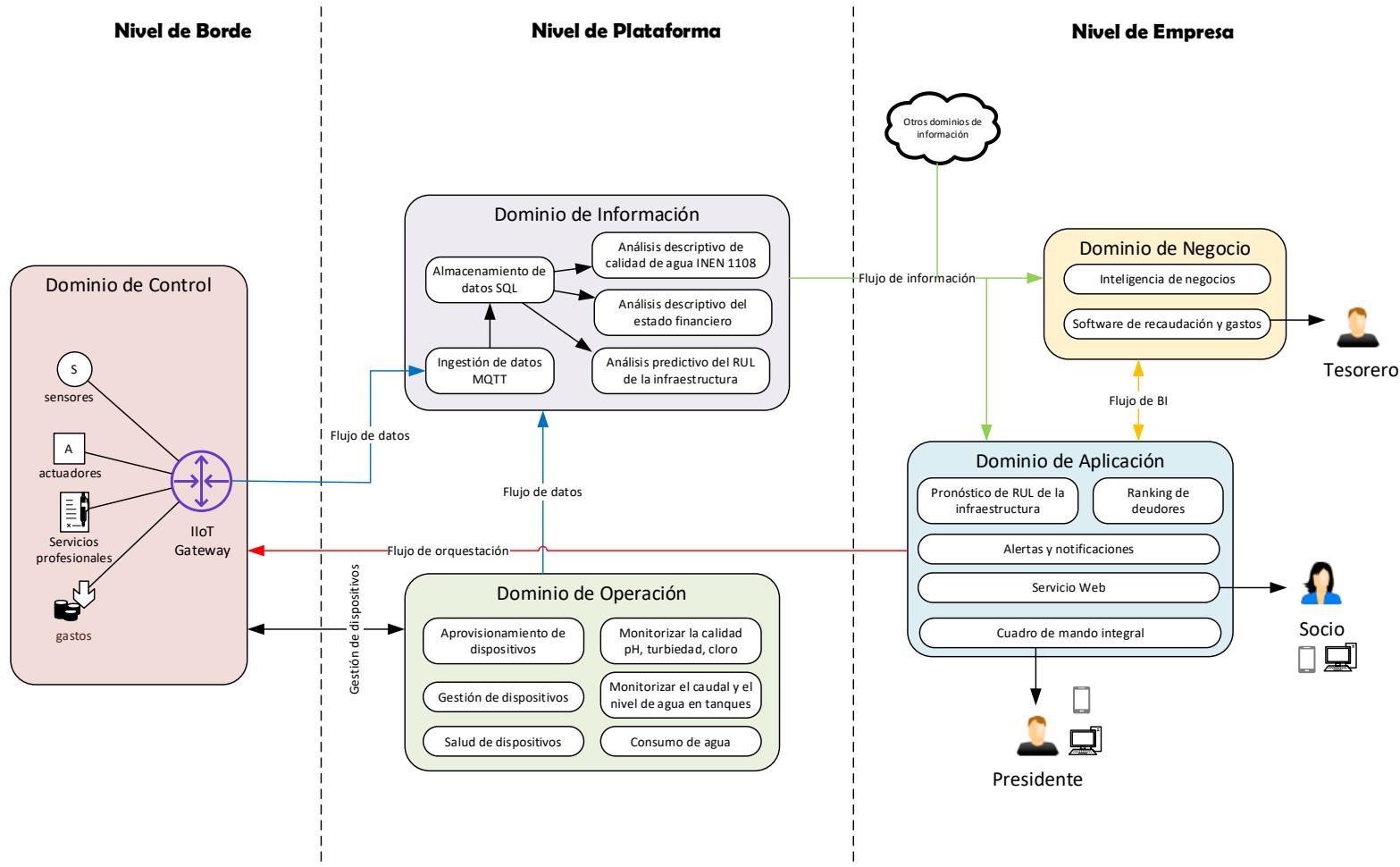


Figura 24. Punto de vista de implementación

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4.1. Nivel de borde

- Se especifican los sensores, dispositivos y actividades del dominio funcional de control.
- Se emite un flujo de datos de sensores que está dirigido al dominio de información.
- Se emite un fujo de datos de dispositivos dirigido al dominio de operación.

#### 4.1.4.2. Nivel de plataforma

- La plataforma funciona con un proveedor de servicio de computación en la nube, donde se implementan los dominios de operación e información.
- En el dominio de operación se gestiona los dispositivos desplegados con aspectos como aprovisionamiento, monitorización de los parámetros y salud de los sensores, datos que se comparten al dominio de información para el tratamiento correspondiente.
- En el dominio de información se realizan servicios de datos como la ingestión y almacenamiento y servicios de análisis mediante técnicas de inteligencia artificial.

#### 4.1.4.3. Nivel de empresa

- Se especifican las actividades que se realizan en los dominios de aplicación y de negocio.
- En el dominio de negocio se realiza el análisis estratégico de la organización mediante técnicas de inteligencia de negocios para establecer los indicadores que se requieren monitorizar para el cumplimiento de los objetivos. Adicionalmente se establece el software de recaudación y gastos que será operado por el tesorero de la JAAP, enviando la información necesaria al dominio de aplicación para alimentar el cuadro de mando integral.
- En el dominio de aplicación se establece como herramienta de visualización un cuadro de mando integral con información proveniente del sistema y de otras aplicaciones, desde donde se puede enviar en plan de operación al controlador para cumplir con los puntos de vista de uso, cuyo acceso será para el presidente de la JAAP.
- También se ha integrado información que puede llegar por otras vías que no han sido consideradas en el sistema, pero que puede ser útil para la sostenibilidad de la JAAP.
- Los socios de la JAAP pueden acceder a información de su interés, como son las deudas, para lo cual se establece un servidor web con una interfaz que le permite acceder a esta información.

## 4.2. Nivel de borde

Se va a abordar este nivel a profundidad con el detalle necesario que permita la implementación de la solución planteada.

### 4.2.1. Sensores

#### 4.2.1.1. Sensor de caudal

El sensor de caudal o caudalímetro permite medir la cantidad de agua que circula por una tubería por unidad de tiempo, existen de varios tipos dependiendo de su técnica de medida, entre los que se encuentran los ultrasónicos, electromagnéticos y los de inserción.

Para este proyecto se ha escogido un sensor de caudal electromagnético marca Endress + Hauser, modelo Proline Promag D10, cuyo funcionamiento se basa en la ley de Faraday (3ra Ley de Maxwell), no son intrusivos a excepción de los electrodos donde se mide la fuerza electromotriz generada por el flujo de agua. Las especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo A y se muestra en la Figura 25 (Endress+Hauser, n.d.-a).



Figura 25. Sensor de caudal

Fuente: Caudalímetro electromagnético Proline Promag D 10 (Endress+Hauser, n.d.-a)

Para el caso de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, donde se conoce que el caudal concesionado es 3,15 l/s (189 l/min) y es llevado por tuberías de PVC de 3 pulgadas, se instalarán 2 sensores de caudal, uno en la entrada de la planta de tratamiento y otro a la salida de la planta de tratamiento e ingreso a la red de

distribución; su función será conocer la diferencia de caudal entre la entrada y salida de la planta de tratamiento, para determinar si los filtros requieren mantenimiento y al mismo tiempo determinar las perdidas negras que ocurren el sistema de agua potable.

#### 4.2.1.2. Sensor de pH

El potencial hidrógeno (pH) es una medida del nivel de acidez o alcalinidad del agua cuyo rango se encuentra entre 0 y 14, siendo estos valores extremos peligrosos para la vida humana. De acuerdo con la norma INEN1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015), el límite máximo para el pH permisible para el suministro de agua potable se encuentra entre 6,5 y 8,5.

Para este proyecto se usa 1 sensor de pH marca Endress + Hauser, modelo Memosens CPS16E mostrado en la Figura 26 (Endress+Hauser, n.d.-b), instalado a la salida de la planta de tratamiento, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo A y va a estar ubicado en la entrada de la red de distribución, lo cual permitirá monitorizar el nivel de pH del agua potable que se entrega a los usuarios de la JAAP.



Figura 26. Sensor de pH

Fuente: Sensor de pH Memosens CPS16E (Endress+Hauser, n.d.-b)

#### 4.2.1.3. Sensor de turbidez

Considerando la norma técnica INEN 1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015) la turbidez permitida máxima es 5 NTU, para lo cual se ha escogido el sensor Turbimax CUS52D de la marca Endress + Hauser (Endress+Hauser, n.d.-c), mostrado en la Figura 27, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo A, la cantidad será de 1 sensor de turbidez que estará instalado en la salida de la planta de tratamiento, monitorizando el nivel de turbidez del agua entregada a los usuarios.



*Figura 27. Sensor de turbidez*

Fuente: Sensor de turbidez Turbimax CUS52D (Endress+Hauser, n.d.-c)

#### 4.2.1.4. Sensor de nivel de agua

Este tipo de sensor va a ser instalado en los dos tanques de almacenamiento con la finalidad de conocer cuando los tanques se encuentren llenos, lo cual permitirá predecir el tiempo de autonomía de la planta de tratamiento de acuerdo con la demanda de agua potable por parte de los usuarios. Se ha considerado instalar 1 sensor en el interior de cada tanque de almacenamiento, es decir 2 sensores en total modelo Liquiphant FTL51 de la marca Endress + Hauser (Endress+Hauser, n.d.-d) de la Figura 28 y cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo A.



*Figura 28. Sensor de nivel de agua*

Fuente: Sensor de nivel de agua Liquiphant FTL51 (Endress+Hauser, n.d.-d)

#### 4.2.1.5. Sensor de cloro residual

Considerando la norma técnica INEN 1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015) la cantidad de cloro residual permitido se encuentra entre 0.3 y 1.5 mg/l, para lo cual se ha escogido el sensor Memosens CCS51D de la marca Endress + Hauser (Endress+Hauser, n.d.-e), mostrado en la Figura 29, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo

A, este único sensor considerado será instalado en la salida de la planta de tratamiento, monitorizando el nivel de cloro existente en el agua que se suministra a los usuarios.



*Figura 29. Sensor de cloro residual*

*Fuente: Sensor de cloro residual Memosens CCS51D (Endress+Hauser, n.d.-e)*

#### 4.2.1.6. Sensor de deformación

Muchas patologías que pueden ocurrir en los tanques de almacenamiento o filtros de arena, no se detectan hasta que aparecen signos externos del deterioro, pudiendo ser los daños ya graves e irreversibles.

Los sensores basados en la propagación de señales en una fibra óptica también conocidos como rejillas de Bragg, son ideales para medir la deformación de los materiales de construcción producto del paso del tiempo, provocado por variaciones en la temperatura, presión, humedad, desplazamientos en el terreno, etc.

Su forma de operación consiste en una fibra óptica desplegada a lo largo de la extensión de cada tanque, estableciendo puntos de medida donde se requiere monitorizar la posible deformación; cuando ocurre una deformación en la infraestructura se provoca una variación en la señal óptica que es detectada por instrumentos específicos situados en los extremos de la fibra, esto permite la monitorización remota de la infraestructura sin tener que utilizar baterías para su funcionamiento.

En la superficie exterior de los dos tanques de almacenamiento y en los dos tanques de filtrado lento, se van a instalar 8 sensores por cada tanque de la marca HBM modelo FS62CSS mostrado en la Figura 30 con sus especificaciones técnicas que se encuentran en el Anexo A, separados 45 grados y conectados mediante fibra óptica



Figura 30. Sensor de deformación

Fuente: Sensor de deformación FS62CSS (HBM, n.d.)

#### 4.2.1.7. Registro de consumo de agua

La lectura de consumo de agua potable se cada socio es una actividad que la realizará el operador mediante una aplicación móvil que le permita registrar el valor actual marcado por el medidor domiciliario y estos datos se envían inmediatamente a la base de datos en la plataforma en la nube, tal como se muestra en la Figura 31, donde se muestra un prototipo de la interfaz de la aplicación instalada en un teléfono celular.



Figura 31. Aplicación móvil para registro de lecturas

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Dispositivos

El dispositivo no es otra cosa que una tarjeta electrónica con capacidades para conectar los sensores y una interfaz de comunicación de la red de sensores, que para este proyecto se ha definido la tecnología LoRa como se verá en el apartado 4.2.3.1.

La placa de desarrollo propuesta para este proyecto es la TTGO LoRa32 SX1276 OLED V1, que se encuentra conformada por un sistema en un chip (SoC) modelo ESP32, un transceptor LoRa SX1276 y una pantalla OLED SSD1306 de 096 pulgadas que se puede programar con el entorno integrado de desarrollo de Arduino. Las especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo B y se muestra en la Figura 32.

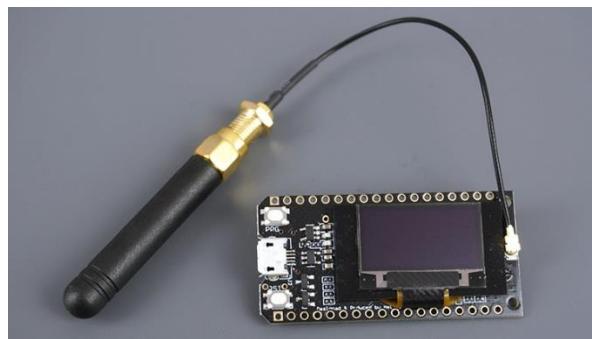


Figura 32. Dispositivo LoRa32 TTGO V1

Fuente: (TTGO LoRa32 SX1276 OLED Con Arduino IDE, n.d.)

El conjunto de dispositivos TTGO con sus respectivos sensores que estarán directamente conectado mediante cable, se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Dispositivos con sensores**

Dispositivo	Ubicación	Sensor	Cantidad
1	Entrada de la planta de tratamiento	Caudal_1	1
2	Salida de la planta de tratamiento	pH	1
		cloro	1
		turbidez	1
		Caudal_2	1
		deformación	2
3	Tanques de filtrado lento	deformación	2

Fuente: Elaboración propia

Para el registro de lecturas de consumo se va a utilizar un teléfono inteligente, donde va a ser instalada la aplicación móvil y con la finalidad de garantizar la vigencia tecnológica para equipos antiguos a partir del año 2016, se recomienda utilizar un dispositivo con los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Android 6.0
- Procesador: 2 GHz
- Memoria RAM: 4 GB
- Almacenamiento: 32 GB
- Batería: 3000 mAh

El código en Arduino para cada nodo sensor que se implementa con la placa de desarrollo TTGO LoRa32 OLED V1, se encuentra en el Anexo C y en la Figura 33 se muestra el sensor de turbidez conectado al nodo sensor. Cabe mencionar que en cada uno de los tres dispositivos de la Tabla 5, se debe utilizar los puertos GPIO disponibles para conectar los respectivos sensores y configurar estas entradas en el código del Nodo Sensor con la estructura mostrada en el anexo C.

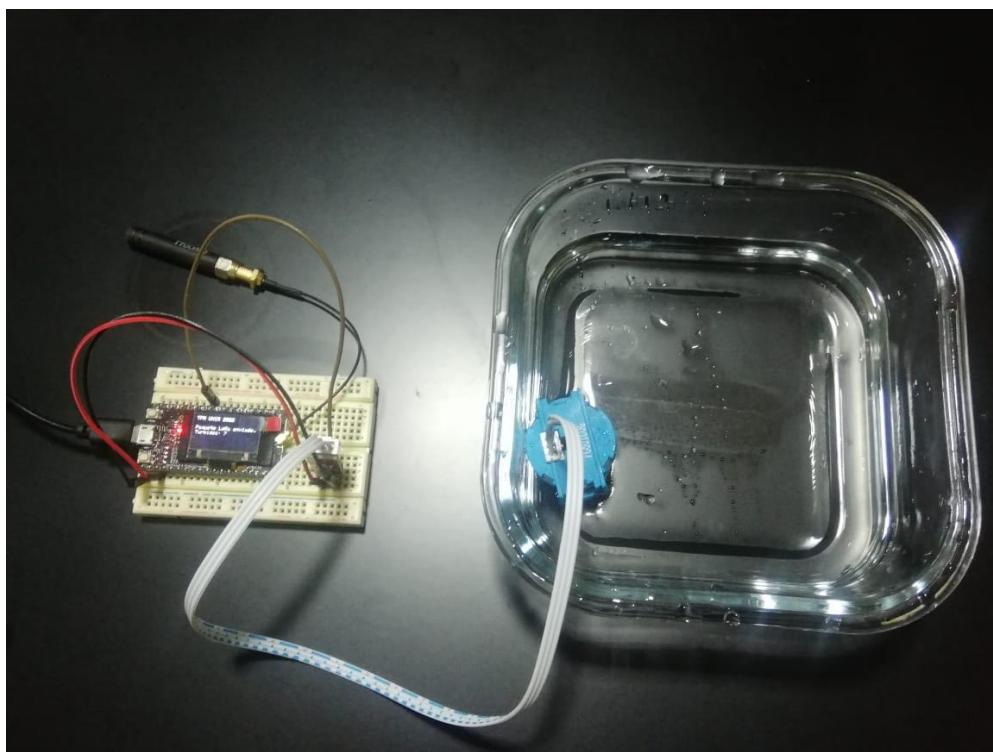


Figura 33. Nodo LoRa32 TTGO OLED V1 con sensor de turbidez

Fuente: Elaboración propia

La placa de desarrollo TTGO LoRa32 OLED V1 esta conformada por un microcontrolador ESP32 por lo tanto es necesario instalar ciertas librerías que se encuentran detalladas en los códigos del Anexo C.

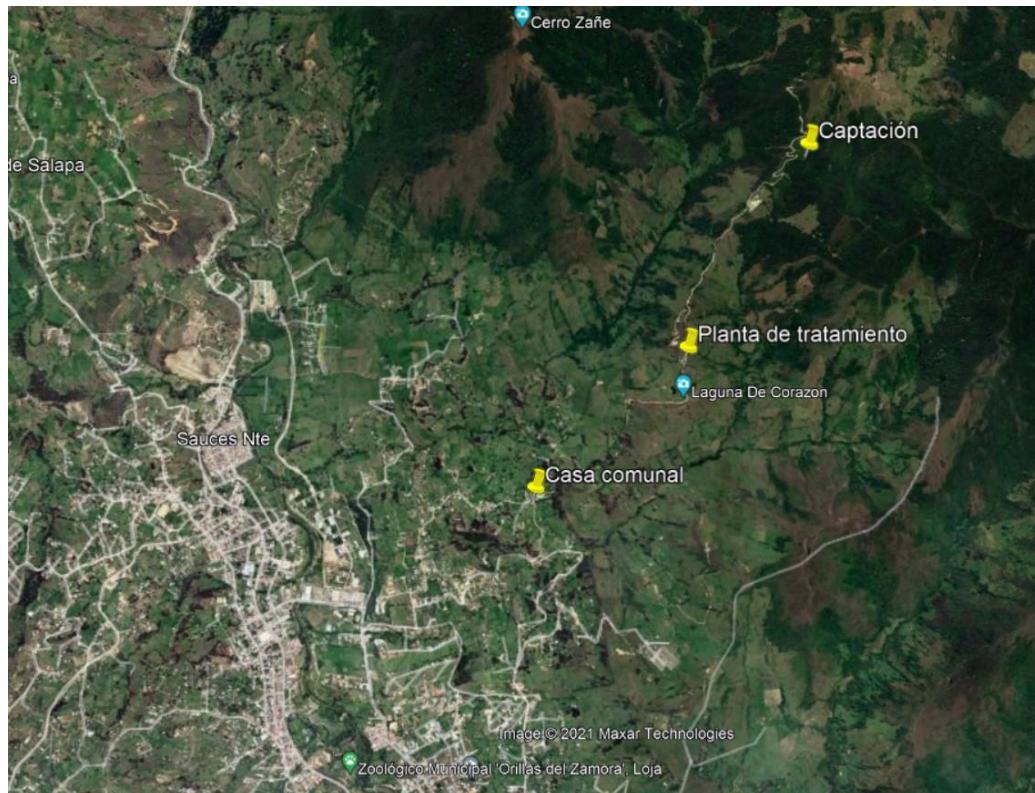
#### 4.2.3. Comunicaciones

La captación y planta de tratamiento de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, se encuentran ubicados en la zona rural de la ciudad de Loja, sin conectividad de ningún tipo, lo cual conlleva a implementar una infraestructura de comunicaciones para este proyecto utilizando tecnologías probadas para el IIoT en los sitios indicados en la Tabla 6 y su ubicación se muestra en la Figura 34.

**Tabla 6. Ubicaciones de los sitios del proyecto**

	Latitud	Longitud
Captación	3°55'21,53" S	79°11'25,72" O
Planta de tratamiento	3°56'2,7" S	79°11'50,3" O
Casa comunal de Virgenpamba	3°56'31.58"S	79°12'22.09"O

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 34. Ubicación de los predios de la JAAP*

*Fuente: Elaboración propia*

Es menester mencionar que es posible acceder a Internet con una capacidad de 5 Mbps, desde la casa comunal del barrio Virgenpamba, que se encuentra ubicado cerca de la planta de tratamiento y será la opción adecuada para enviar los datos de los sensores a la plataforma en Internet.

Las tecnologías de comunicación que van a formar parte de este proyecto se muestran en la Figura 35, donde se evidencia que se deben abordar dos aspectos, la red de sensores (WSN) y el acceso a Internet.

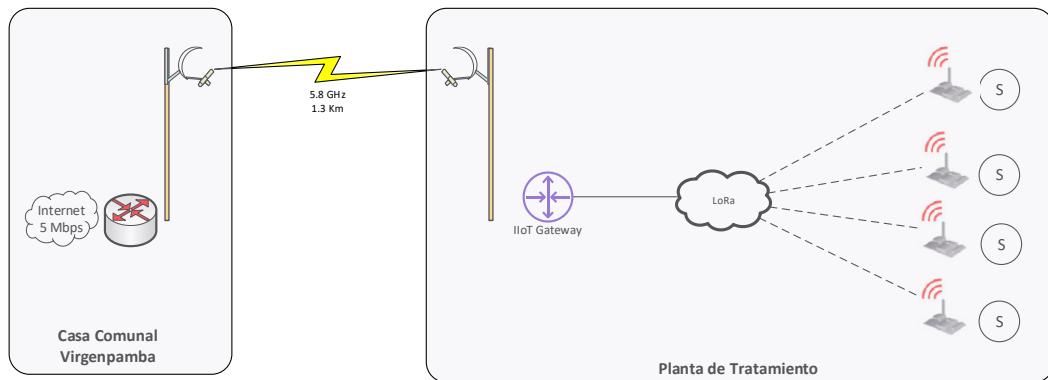


Figura 35. Comunicaciones

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1. Red de sensores

La red de sensores va a ser implementada con tecnología LoRa cuyas características relevantes se encuentran en la Tabla 1, en la banda de 915 MHz, por formar parte de la banda de investigación, científica y medicina (ISM) según el plan nacional de frecuencias del Ecuador.

Para la implementación de la red LoRa, se va a utilizar la placa de desarrollo TTGO LoRa32 OLED V1 de la Figura 32, el mismo que primeramente activa la conexión Lora, luego se conecta a la red WiFi con las credenciales correspondientes y finalmente se conectará con el bróker público MQTT para enviar los datos de cada sensor. El código de configuración se encuentra en el Anexo C y la figura del Gateway se muestra en la Figura 36.

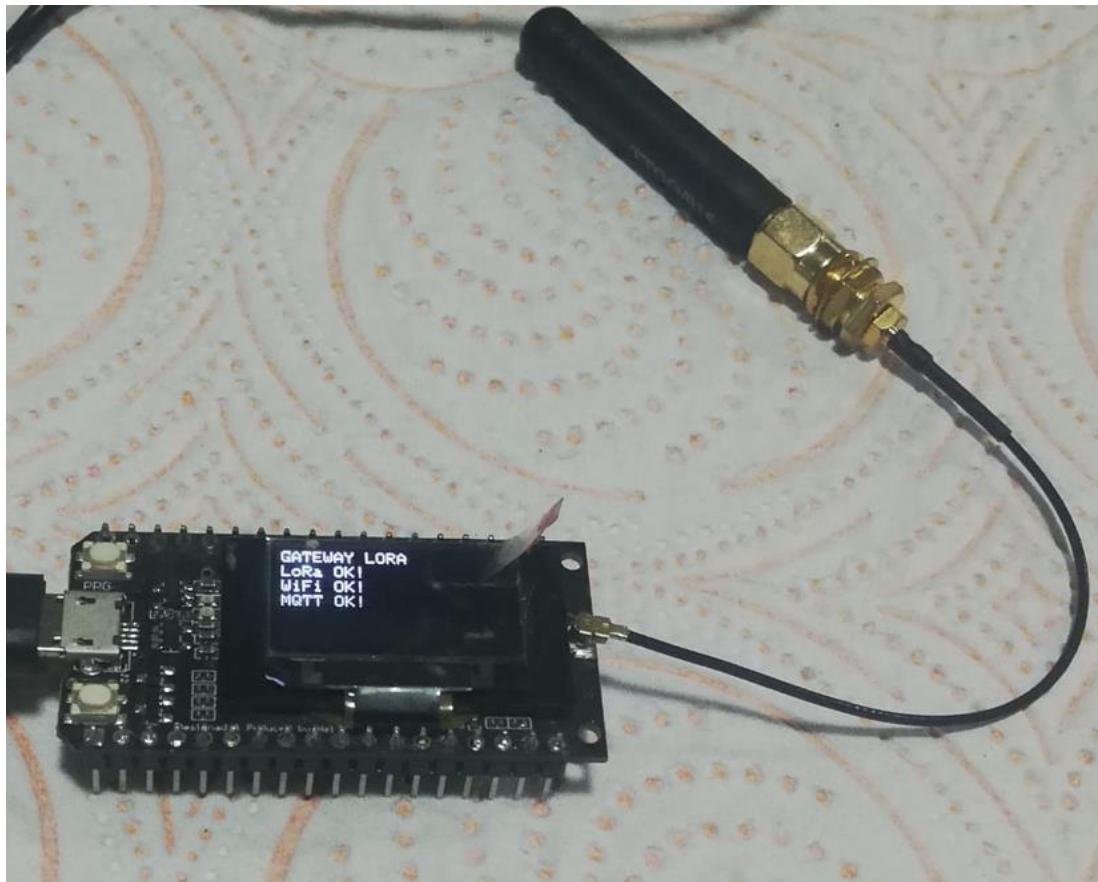


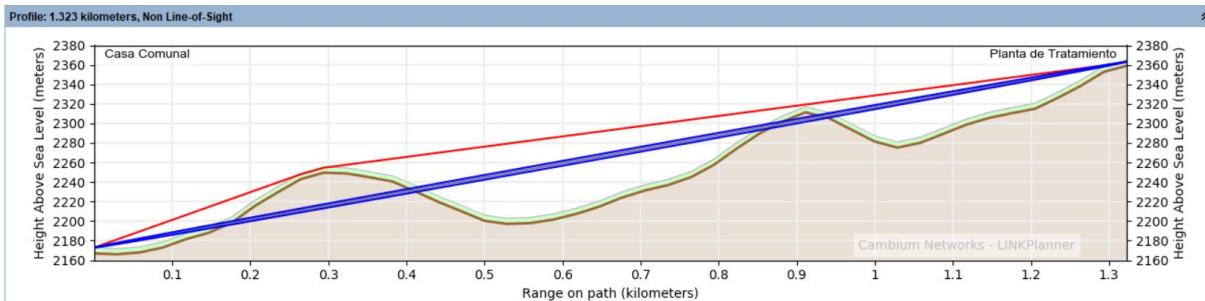
Figura 36. Gateway LoRa con TTGO LoRa32 OLED V1

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.2. Acceso a Internet

En la zona de captación y planta de tratamiento no se cuenta con acceso a Internet, sin embargo, este servicio si se encuentra disponible en la casa comunal de Virgenpamba, barrio que forma parte de la JAAP, por lo que los moradores han aceptado permitir que este servicio sea compartido hacia las zonas de influencia del proyecto, siempre y cuando sea para uso exclusivo del sistema de gestión inteligente de la organización.

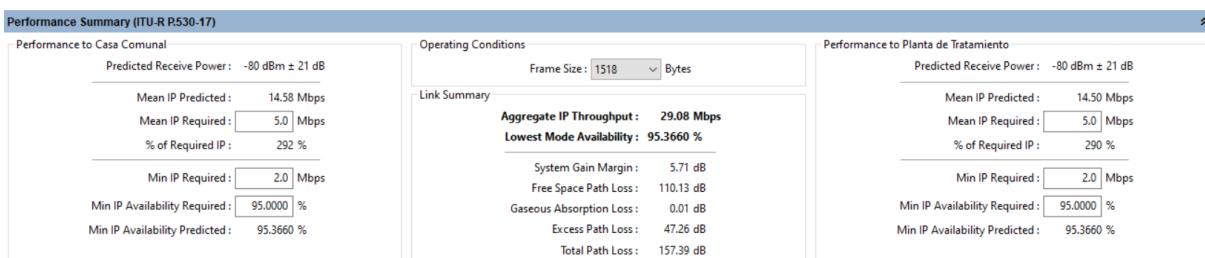
Al realizar el estudio de prefactibilidad, se puede observar en la Figura 37 que el enlace tiene una distancia de 1.323 Km y que no existe línea de vista, lo cual obliga a utilizar equipos con técnicas de modulación con frecuencias ortogonales que permitan superar las obstrucciones para conseguir conectividad.



*Figura 37. Perfil topográfico*

Fuente: Software *LINKPlanner* (Cambium Networks, n.d.)

Un modelo de equipo que cumple con las características mencionadas es el modelo ePMP Force 200 de la marca Cambium Networks, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo B, constituido por un transceptor con antena integrada y cuyos resultados mediante la simulación se muestran en el Figura 38, donde es posible apreciar que se puede conseguir un radioenlace con una velocidad agregada igual a 29,08 Mbps, con una disponibilidad de 95,36%, condiciones suficientes para poder brindar conectividad hacia Internet para todos los dispositivos del sistema de gestión inteligente.



*Figura 38. Cálculos de propagación*

Fuente: Software *LINKPlanner* (Cambium Networks, n.d.)

El detalle del estudio técnico de ingeniería y el reporte de instalación de este radioenlace se encuentran en el Anexo B donde se menciona que se debe instalar un mástil de 1 metro sobre el techo de la casa comunal y otro de 3 metros en la planta de tratamiento, con la respectiva acometida eléctrica que existen en ambos sitios.

### 4.3. Nivel de plataforma IIoT

Se va a abordar este nivel a profundidad con el detalle necesario que permita la implementación de la solución planteada.

#### 4.3.1. Protocolo MQTT

Los protocolos son un conjunto de normas y reglas que permiten la comunicación entre dos entidades, para los sistemas IIoT existen varios protocolos como MQTT, AMQP, DDS, XMPP y CoAP entre otros (Amelia et al., 2021), cuyas características de muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Protocolos IIoT**

Protocolo	Características	Usos
MQTT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liviano</li> <li>• Modelo Publicador/Suscriptor</li> <li>• Bajo consumo de recursos computacionales</li> <li>• Estándar OASIS</li> <li>• TCP</li> <li>• Forma parte de las plataformas en la nube (Azure, AWS, IBM, Google)</li> <li>• Centrado en los dispositivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ancho de banda limitado</li> <li>• Paquetes pequeños</li> <li>• Dispositivos simples</li> <li>• Telemetría</li> <li>• En sistemas embebidos</li> </ul>
AMQP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Código abierto</li> <li>• Modelo punto a punto o publicador suscriptor</li> <li>• Compatible con servicios de mensajería</li> <li>• Soporta encriptación</li> <li>• Centrado en las aplicaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de control</li> <li>• Comunicación entre servidores.</li> <li>• Los dispositivos pueden ser teléfonos inteligentes.</li> </ul>
DDS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Publicador/Suscriptor</li> <li>• Comunicación directa entre dispositivos</li> <li>• Bus de integración de alto rendimiento para máquinas</li> <li>• Centrado en los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas complejos y en tiempo real</li> <li>• Industrias específicas como aeroespacial, aeronáutica, automotriz, energía, etc</li> <li>• Sistemas embebidos de alto rendimiento</li> <li>• </li> </ul>
XMPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basado en XML</li> <li>• Parte de TCP</li> <li>• Intercambio de datos estructurados</li> <li>• Punto a punto o persona a persona</li> <li>• Arquitectura cliente / servidor</li> <li>• Centrado en las personas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas cuasi tiempo real</li> <li>• Dispositivos se encuentran dispersos y no están relacionados entre si</li> <li>• Orientado a aplicaciones y dispositivos de consumidor final como electrodomésticos controlados por un celular o por voz</li> </ul>
CoAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funciona sobre UDP</li> <li>• Permite conexiones entre dispositivos y entre nodos para distribuir los datos</li> <li>• Arquitectura cliente / servidor</li> <li>• Centrado en la transferencia de datos</li> <li>• </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para dispositivos con recursos limitados</li> <li>• Usado en automatización de edificios inteligentes y control de consumo de energía</li> </ul>

Fuente: Aplicaciones IoT Industriales (Amelia et al., 2021)

Para este proyecto debido a su facilidad de integración con plataformas en la nube se va a utilizar el protocolo Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), que permitirá recolectar la información de todos los sensores desplegado en el sistema de agua potable.

El protocolo MQTT al ser un modelo publicador / suscriptor, requiere definir clientes que pueden ser editores o publicadores o suscriptores que se encuentran conectados a un bróker tal como se muestra en la Figura 39 y tópicos que corresponden a los temas sobre los cuales se van a enviar mensajes.

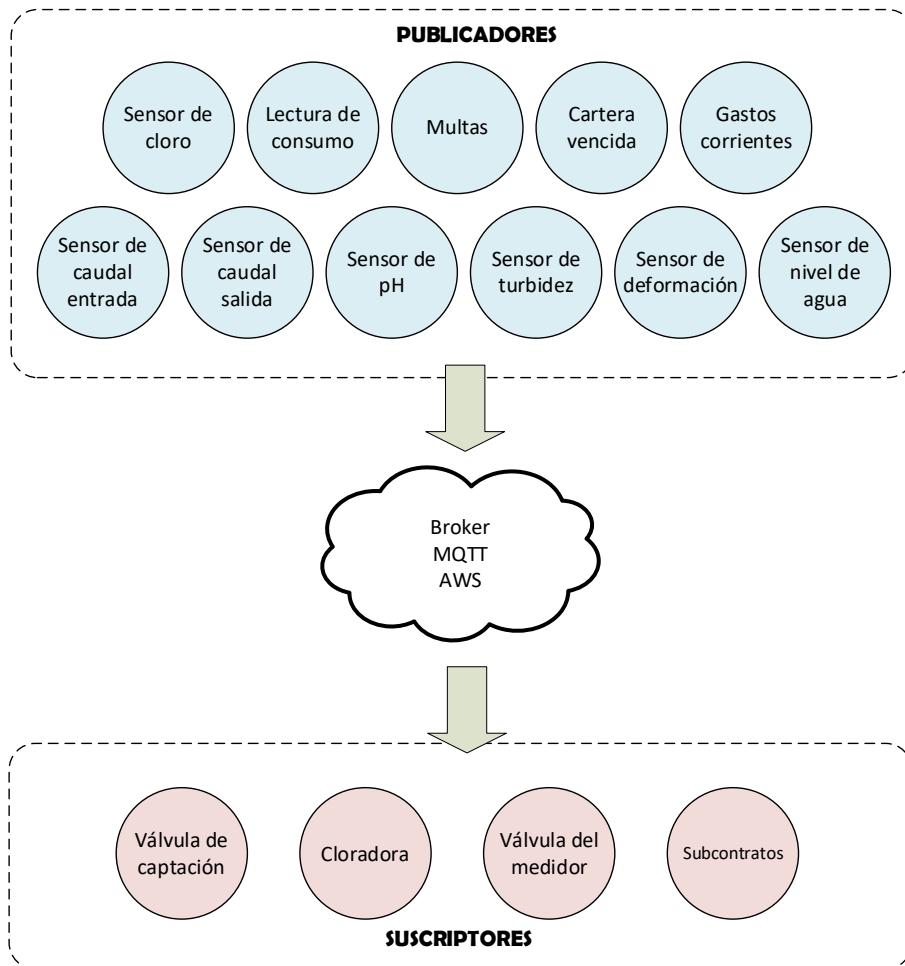


Figura 39. Entidades MQTT

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.1. Publicador

Son los clientes MQTT capaces de enviar datos sobre los aspectos que se quiere analizar o monitorizar, para este proyecto se cuentan con dos tipos de editores

- Sensores: envían datos de los parámetros físicos entre los cuales se tiene los sensores de caudal, pH, turbidez, cloro, nivel de agua en los tanques, deformación de los tanques y lectura de consumo de agua.

- Variables del software de recaudación y gastos: envían datos de las variables ingresos, cartera vencida, multas y gastos corrientes.

#### 4.3.1.2. Suscriptor

Son los clientes MQTT con la capacidad de receptar datos para realizar alguna acción para alterar el entorno, entre los que se tiene la válvula de la captación, las válvulas de los medidores domiciliarios, los gastos corrientes, los subcontratos de servicios profesionales para mantenimientos correctivos y el control del clorador.

#### 4.3.1.3. Bróker

Se encuentra operando en una plataforma en la nube que para este proyecto será Shiftr (Sternenbauer GmbH, 2022) y su función es mantener una comunicación asíncrona entre clientes que se encuentran desacoplados que para este proyecto son los diferentes nodos que tienen conectados los sensores del proyecto. Se registra dentro del sitio web [shiftr.io](https://shiftr.io) y se crea una instancia que para este proyecto será `komunicate.cloud.shiftr.io`. En el código arduino correspondiente a la conexión MQTT del Gateway LoRa, se debe colocar como usuario la instancia y como contraseña el token secreto que debe ser configurado tal como se muestra en la Figura 40.

The figure consists of two screenshots. The left screenshot shows the 'Instances' page of the shiftr.io Cloud. It lists an instance named 'KOMUNICATE' with the URL 'komunicate.cloud.shiftr.io'. The status is shown as 'Running' with 0% completion. The right screenshot shows a modal window titled 'New Token' for creating a token for the 'komunicate' instance. The 'Tokens' tab is selected in the sidebar. The 'Description' field contains 'New Token', and the 'Secret' field contains a long string of characters: 'T4ADD47Th9u6zxH9'. The 'Permission' dropdown is set to 'Full Access'. At the bottom are 'Create Token' and 'Cancel' buttons.

Instancia

Token secreto

Figura 40. Configuración del broker MQTT

Fuente: (JAAP, 2022b)

#### 4.3.1.4. Tópicos

La arquitectura de los temas que deben ser considerados en este protocolo se muestran en la Figura 41.

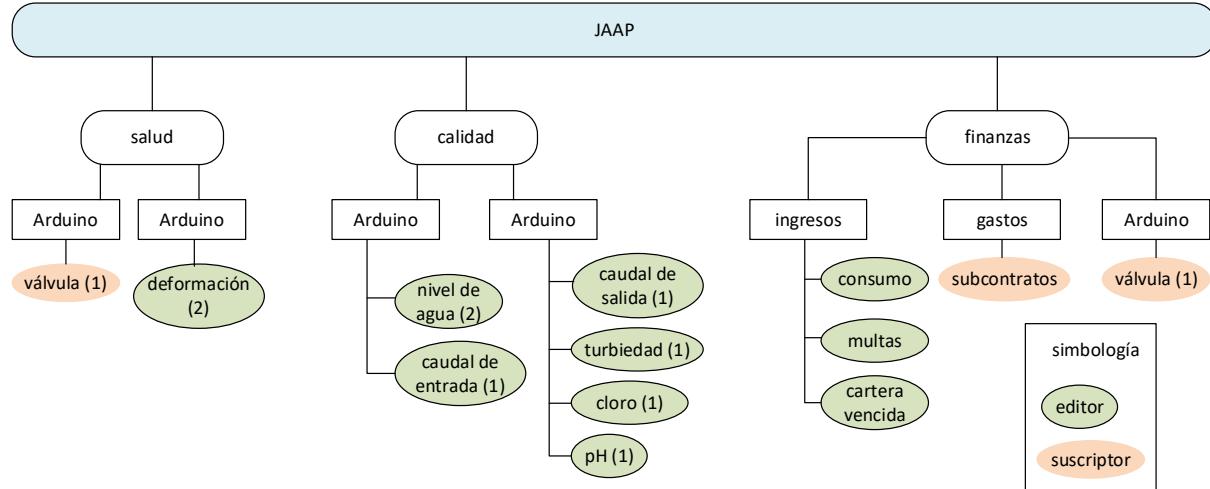


Figura 41. Tópicos MQTT

Fuente: Elaboración propia

Dentro del bróker MQTT [komunigate.cloud.shiftr.io](https://komunigate.cloud.shiftr.io) se puede observar en la Figura 42 que todos los tópicos planificados se encuentran disponibles para recibir los datos del Gateway LoRa con la estructura jerárquica planteada en la Figura 41.

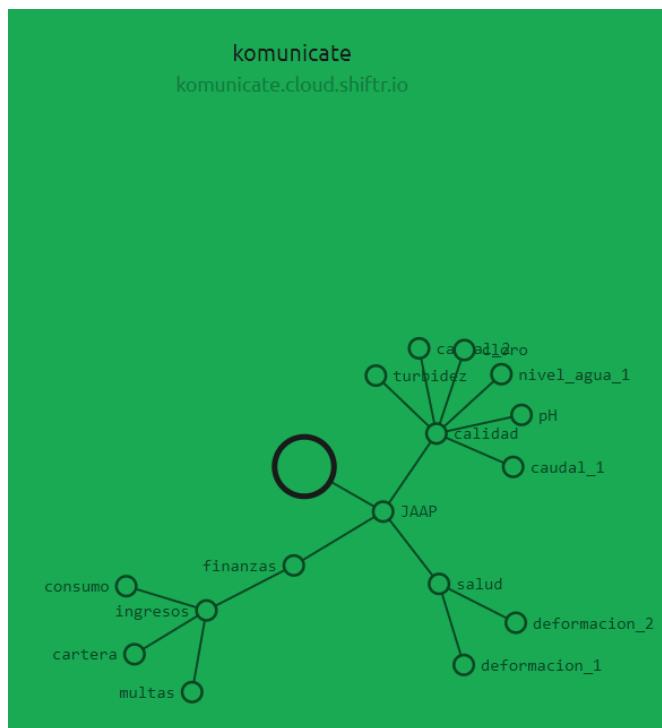


Figura 42. Bróker MQTT

Fuente: (JAAP, 2022b)

#### 4.3.1.5. Escenarios

Los escenarios que se van a implementar en la JAAP son los siguientes:

**Escenario 1:** Los sensores de turbidez, cloro, pH, caudal de entrada, salida y nivel de agua de los 2 tanques de almacenamiento, envían datos al CMI cada 5 minutos lo cuales pueden ser revisados por el teléfono y ordenador, tal como se describe en la Tabla 8.

**Tabla 8. Escenario 1 MQTT**

Modo MQTT	Dispositivo	Tópico
Editor	Sensor de turbidez	JAAP/calidad/turbidez
	Sensor de cloro	JAAP/calidad/cloro
	Sensor de pH	JAAP/calidad/pH
	Sensor de caudal de entrada	JAAP/calidad/caudal_in
	Sensor de caudal de salida	JAAP/calidad/caudal_out
	Sensor de nivel de tanque 1	JAAP/calidad/almacenamiento_1
	Sensor de nivel de tanque 2	JAAP/calidad/almacenamiento_2
Suscriptor	Base de datos CMI	JAAP/calidad/#

*Fuente: Elaboración propia*

**Escenario 2:** Alguno o todos los sensores de turbidez, cloro, pH y caudal de salida tienen un valor que se encuentran fuera de los rangos especificados en la Tabla 9, envían una alerta al teléfono móvil del presidente y operador, tal como se describe en la Tabla 10.

**Tabla 9. Niveles de calidad de agua**

Turbidez	5 NTU
Cloro residual	0,3 – 1.54 mg/l
pH	6,5 – 8,5

*Fuente: Norma INEN 1108 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)*

**Tabla 10. Escenario 2 MQTT**

Modo MQTT	Dispositivo	Tópico
Editor	Sensor de turbidez	JAAP/calidad/turbidez
	Sensor de cloro	JAAP/calidad/cloro
	Sensor de pH	JAAP/calidad/pH
Subscriptor	Teléfono presidente	JAAP/calidad/#
	Teléfono operador	JAAP/calidad/#

*Fuente: Elaboración propia*

**Escenario 3:** Los sensores de deformación de los tanques de almacenamiento de agua, envían datos a la base de datos que alimenta el CMI cada día, estos valores serán recolectados por una máquina de inteligencia artificial para predecir el tiempo de vida útil de los tanques.

**Tabla 11. Escenario 3 MQTT**

Modo MQTT	Dispositivo	Tópico
Editor	Sensor de deformación tanque 1	JAAP/salud/deformación_1
	Sensor de deformación tanque 2	JAAP/salud/deformación_2
Subscriptor	Base de datos CMI	JAAP/salud/#

*Fuente: Elaboración propia*

**Escenario 4:** El registro de consumo se realiza mediante una aplicación instalada en un teléfono móvil que envía la lectura marcada en el medidor de agua domiciliario, mismo que es almacenado en la base de datos que alimenta al CMI.

**Tabla 12. Escenario 4 MQTT**

Modo MQTT	Dispositivo	Tópico
Editor	Teléfono operador	JAAP/finanzas/ingresos/consumo
Subscriptor	Base de datos CMI	JAAP/finanzas/ingresos/consumo

*Fuente: Elaboración propia*

**Escenario 5:** Cuando exista diferencia mayor al 5% entre el sensor de caudal de entrada a la planta de tratamiento y el sensor de caudal de salida, se debe enviar una alerta al teléfono del operador para que proceda a la limpieza de los filtros de arena.

**Tabla 13. Escenario 5 MQTT**

Modo MQTT		Dispositivo	Tópico
Editor	Sensor de caudal de entrada	JAAP/calidad/caudal_1	
	Sensor de caudal de salida	JAAP/calidad/caudal_2	
Subscriptor	Teléfono operador	JAAP/calidad/caudal_1	JAAP/calidad/caudal_2

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.3.2. Plataforma IIoT

La plataforma es otro de los componentes fundamentales en el desarrollo de un sistema IIoT ya que permiten el desarrollo de aplicaciones, servicios e integración mediante computación en la nube, simplificando las decisiones sobre la infraestructura que se debe utilizar y reduciendo significativamente el tiempo de configuración de servidores, bases de datos, protocolos, estándares y seguridad.

En el mercado existen grandes proveedores de servicios en la nube como Google, AWS, Microsoft Azure e IBM que permiten integrar en una única plataforma los proyectos de IIoT con aplicaciones o servicios en la nube y crear cuadros de mando integral personalizados. Sin embargo, para este proyecto se escoge la plataforma Adafruit por contar con las siguientes características:

- Programación modular, con componentes definidos e integrables fácilmente.
- Permita dar de alta los sensores, dispositivos y gateway
- Permita implementar el protocolo MQTT.
- Permita generar un cuadro de mando integral
- Integración mediante APIs para interactuar con el software de control financiero.

##### 4.3.2.1. Aprendizaje automático para alertar sobre incremento de cartera vencida

En este apartado se presenta un agente computacional capaz de informar al presidente de forma inteligente, cuando algún usuario tenga la cartera vencida por las de 60 días, para lo cual recolecta la información de la columna deuda del registro de la aplicación web del apartado 4.4.1 y si en dos meses seguidos el valor incrementa, entonces actúa según lo

especificado en el punto de vista de usuario 1 del apartado 4.1.2.1 y envía al operador la orden de suspensión del servicio o al tesorero la reducción de los gastos operativos para mantener la liquidez de la JAAP.

#### **4.3.2.2. Aprendizaje automático para control de calidad de agua**

En este apartado se presenta un agente computacional capaz de decidir de forma inteligente con base a los rangos de nivel de pH, turbidez y cloro residual especificados en la norma INEN 1108 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, (2015) y predecir si el agua suministrada se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano y caso contrario envía una alerta al presidente para que pueda enviar la orden de trabajo para cortar la válvula de captación de forma manual o revisar la cloradora manual, de acuerdo con el punto de vista de usuario 2 del apartado 4.1.2.2 de este proyecto,

#### **4.3.2.3. Aprendizaje automático para el mantenimiento predictivo**

En este apartado se presenta un agente computacional capaz de predecir el tiempo de vida útil (RUL) antes de realizar el siguiente mantenimiento del filtro lento con base en que el nivel caudal de salida sea menor al 10% del nivel de caudal de entrada del filtro, emitiendo una alerta mediante telegram para que el presidente contrate peones para limpiar los filtros. De igual manera se puede predecir la posible destrucción de los tanques de almacenamiento por la deformación de su estructura, prediciendo el tiempo que falta para que ocurra una deformación de 1 cm que sería que abriría fisuras en los tanques, para lo cual el presidente debe contratar los servicios profesionales de reparación. Ambos escenarios forman parte del punto de vista de usuario 3 especificado en el apartado 4.1.2.3

### **4.4. Nivel de empresa**

Se va a abordar este nivel a profundidad con el detalle necesario que permita la implementación de la solución planteada.

#### **4.4.1. Gestión organizacional**

La gestión inteligente organizacional de la JAAP se la realizará mediante inteligencia de negocios, para lo cual se propone un cuadro de mando integral que parte de la visión y objetivos estratégicos planteados en el apartado 4.1.1 de este proyecto, que corresponde al punto de vista de negocio de la arquitectura de referencia del Consorcio de Internet Industrial (IIRA) y que son los siguientes:

1. Mejorar la calidad de agua potable distribuida según la normativa INEN 1108.

2. Reducir la cartera vencida a menos del 20%.
3. Monitorizar el estado de salud de la planta de agua potable en tiempo real.

A continuación, se desarrollan las cuatro perspectivas de la metodología Balanced Scorecard que permita el diseño del cuadro de mando integral.

#### 4.4.1.1. Mapa estratégico

Consiste en ubicar los diferentes factores claves de las estrategias en cada una de las perspectivas del Balanced Scorecard y relacionarlas entre ellas para lograr el cumplimiento de los objetivos estratégicos, tal como se muestra en la Figura 43.

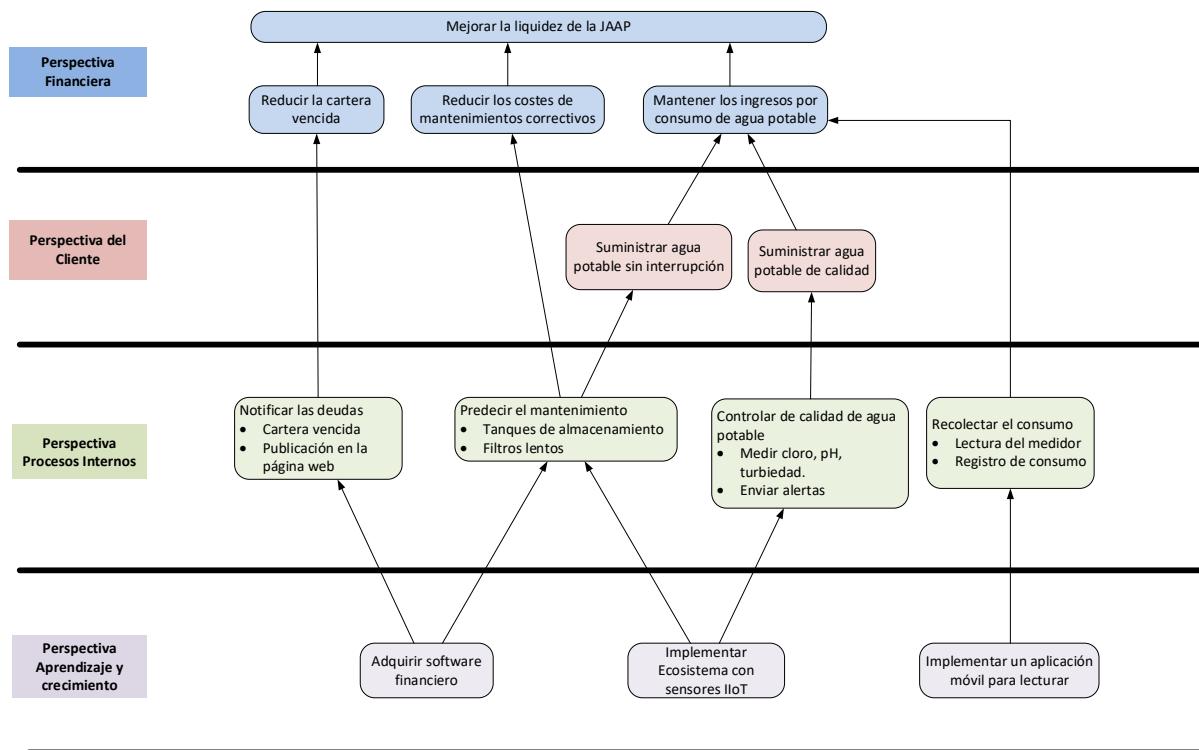


Figura 43. Mapa estratégico

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1.2. Cuadro de mando integral

El CMI para este proyecto se detalla en la tabla 14 con sus valores óptimo, tolerable y deficiente, que permitirá al presidente tomar las decisiones dependiendo del color de estado del parámetro monitorizado.

**Tabla 14. Tablero de control**

PERSPECTIVA	FACTOR CLAVE DEL OBJETIVO ESTRÁTÉGICO	KPI	UNDAD DE MEDIDA	VALOR OBJETIVO	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	ÓPTIMO	TOLERABLE	DEFICIENTE	RESPONSABLE
Financiera	Reducir la cartera vencida	Cartera vencida	%	25%	mensual	< 25%	< 50%	< 75%	Tesorero
	Reducir los costes de mantenimientos correctivos	Gastos por reparación	\$	500,00	mensual	< 500	< 1000	> 1000	Tesorero
	Mantener los ingresos por consumo de agua potable	Ingresos	\$	1.500,00	mensual	> 1500	> 1000	< 1000	Tesorero
Cliente	Suministrar agua potable sin interrupción	Agua suministrada	horas	90,00	mensual	< 12	< 24	< 168	Operador
	Suministrar agua potable de calidad	Calidad	estado	apta	diario	OK	apta	no apta	Operador
Procesos internos	Control de calidad de agua potable	pH	sin unidad	7,50	30 minutos	7<ph<8	6,5<ph<8,5	6,5>ph>8,5	Operador
		Cloro residual	mg/l	0,90	30 minutos	0,75<ph<1	0,3<ph<1,54	0,3>ph>1,54	Operador
		Turbiedad	NTU	5,00	30 minutos	< 3	< 5	< 10	Operador
	Mantenimiento predictivo del filtro de arena	RUL	días	15,00	semanal	< 20	< 15	< 5	Operador
	Mantenimiento predictivo del almacenamiento	RUL	años	10,00	anual	< 30	< 10	< 5	Operador
	Registro del consumo de agua	volumen	m3	1.400,00	mensual	<1500	< 1400	< 1200	Operador
Aprendizaje y crecimiento	Notificar las deudas	tiempo de deuda	meses	2,00	mensual	< 2	< 4	< 6	Secretario
	Desarrollar software financiero	inversión	\$	2.000,00	anual	< 2000	< 1000	< 500	Secretario
	Desarrollar ecosistema digital con sensores IIoT	inversión	\$	8.000,00	anual	< 10000	< 8000	< 4000	Secretario
	Desarrollar aplicación móvil para registro de lecturas	inversion	\$	500,00	anual	<1000	< 500	< 100	Secretario

*Fuente: Elaboración propia*

El aprovisionamiento de la información para alimentar el cuadro de mando integral es automático, y se lo realiza en la plataforma Adafruit (*Adafruit Industries, Unique & Fun DIY Electronics and Kits*, 2022), quienes cuentan con un bróker MQTT y permiten la generación de un visualizador, tal como se muestra en la Figura 44 y se puede comprobar en la página web <https://io.adafruit.com/hsamaniego/dashboards/jaap>. Para lo cual solo se coloca en el código del Gateway LoRa el servidor io.adafruit.com y las credenciales de la Figura 44.

- Servidor MQTT:

#### YOUR ADAFRUIT IO KEY



Your Adafruit IO Key should be kept in a safe place and treated with the same care as your Adafruit username and password. People who have access to your Adafruit IO Key can view all of your data, create new feeds for your account, and manipulate your active feeds.



If you need to regenerate a new Adafruit IO Key, all of your existing programs and scripts will need to be manually changed to the new key.

Username	hsamaniego
Active Key	aio_lVRP04s9iSUV6JL8gdIagbDQU5N8
<b>REGENERATE KEY</b>	

*Figura 44. Credenciales Plataforma IIoT*

*Fuente: Elaboración propia*

Se coloca como “feed” todos los sensores que se van a desplegar en el proyecto y se genera un “dashboard” que es el cuadro de mando integral que se muestra en la Figura 45.



Figura 45. Cuadro de mando integral

Fuente: (JAAP, 2022a)

#### 4.4.2. Aplicación web

La página web propuesta debe ser una herramienta implementada en la nube que permita a los usuarios conocer información relevante de la JAAP y el valor que adeuda a la organización ya sea por consumo mensual o cartera vencida, de esta forma se pretende aportar al objetivo de recuperar la cartera vencida poniendo en conocimiento de los usuarios el valor adeudado.

La página web será instalada en la nube para lo cual se adquiere el servicio de hosting con el dominio aguavirgenpamba.org, tal como se muestra en la Figura 46, con los distintos roles de socio, presidente, tesorero y la aplicación móvil que será utilizada por el operador.



Figura 46. Estructura de la aplicación web de la JAAP

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2.1. Lectura

La lectura del consumo de agua potable se realiza mediante la aplicación móvil planteada en el apartado 4.2.1.7 de este proyecto, desde donde se envía el valor de consumo a una base de datos SQL para almacenar un histórico del consumo por cada usuario.

#### 4.4.2.2. Facturación

La facturación se realiza en una base de datos SQL, con los cálculos correspondientes para determinar el valor a pagar por cada usuario, que para el caso de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, los primeros 12 m<sup>3</sup> tienen un coste de \$12 y cada 1 m<sup>3</sup> adicional tendrá un coste de \$0,50. Esta opción no se encuentra visible para ningún rol

#### 4.4.3. Recaudación

La recaudación se realiza mediante la aplicación web y la utilizará el tesorero para verificar el valor a pagar antes de emitir un comprobante de pago, de igual manera se ha implementado para que la JAAP pueda recibir abonos a la deuda, como estrategia para reducir la cartera vencida e incentivar a los usuarios deudores a pagar, así se muestra en la Figura 47.

Fecha de emisión ↑↓	Abonado	↑↓	Valor Total ↑↓	Valor Pagado ↑↓
2021-10-29	Sozoranga Uchuary Mayra Alexandra		53.00	51.00
2021-11-05	Plaza Benitez Norma Mercedes		8.00	8.00
2021-12-04	Morocho Puga Benjamin		8.00	8.00 <b>pago total</b>
2021-10-29	Uchuary Chamba Luz Imelda		74.50	64.00 <b>abono</b>

Figura 47. Abonos y pago total

Fuente: (JAAP, 2021)

#### 4.4.3.1. Gastos

Los gastos corrientes se pueden ejecutar y consultar directamente en la aplicación web, como se muestra en la Figura 48, esto permite al tesorero mantener el control de los gastos.

Tipo ↑↓	Usuario	Motivo	↑↓	Monto ↑↓	Fecha ↑↓
Materiales	Municipio de Loja	pintura mano de gato para cancha de Virgenpamba		15.00	2021-10-29
Materiales	Aguilar Jaura Luz Victoria	rollos para impresora		6.85	2021-11-05
Materiales	Marco Caicedo - StellarSoft	Abono desarrollo de software de la JAAPyS		150.00	2021-11-05
Materiales	Austro Riego	Adaptador Pvc		1.60	2021-11-11

Figura 48. Gastos

Fuente: (JAAP, 2021)

#### 4.4.3.2. Caja

La información provista en el módulo caja es muy importante para que tanto el tesorero como el presidente puedan verificar la liquidez de la JAAP, con lo cual la administración puede consultar el estado financiero de la organización antes de realizar un gasto sin comprometer los recursos de la organización, esto se muestra en la Figura 49.

Caja diciembre	\$1829.38	Ingresos	\$2353.5	Gastos	\$1522.9
----------------	-----------	----------	----------	--------	----------

Figura 49. Caja

Fuente: (JAAP, 2021)

#### 4.4.3.3. Registros

Esta opción podrá ser accedida por el presidente y cuenta con información de registros de consumo de cada socio, cartera vencida y estado de los medidores, tal como se muestra en la Figura 50, mismo que puede ser exportado en formato csv para ser analizado mediante herramientas de procesamiento de datos.

Código único	Cédula	Nombre	Lectura actual	Lectura pasada	Consumo m³	Deuda	Tiene medidor	Estado medidor
2	1106057951	Quizhpe Aguilar Jhulissa de Fátima	497	497	0 m³	\$ 2	Si tiene medidor	En buen estado
3	1900208461	Minga Chamba Rosa María	497	460	37 m³	\$ 2	Si tiene medidor	En buen estado
4	1100603446	Aguilar Manuel de Jesus	225	222	3 m³	\$ 4	Si tiene medidor	En buen estado

Figura 50. Registros

Fuente: (JAAP, 2021)

## 4.5. Prueba de concepto

Con la finalidad de reducir la incertidumbre propia de los proyectos de la industria 4.0 y demostrar a la administración de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, que este proyecto generará ventajas operativas que influirán directamente en el cumplimiento de los objetivos comunitarios, se propone realizar una experiencia piloto con las siguientes características.

#### 4.5.1. Objetivos

1. Recolectar de forma automática el valor de un parámetro que afecte a la calidad de agua potable distribuida.
2. Mostrar los valores recolectados como una línea de tiempo.

#### 4.5.2. Preparación y configuración

La experiencia piloto se va a realizar en la planta de agua potable de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, donde existe acceso a Internet mediante la red móvil celular 3G del operador CNT E.P.

El parámetro para medir será el cloro residual de una concentración de agua y cloro disponible en un recipiente, cuyo rango de valores adecuados se encuentran indicados en la Tabla 8; este escenario se lo realiza con la finalidad de alterar los niveles de cloro de la concentración sin afectar la normal distribución de agua potable.

#### 4.5.3. Kick off y planificación

Se planifica una reunión de inicio con la asistencia del gestor de innovación, directivos y operador de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, para realizar la experiencia piloto durante 5 horas con los siguientes recursos:

- 1 sensor de turbidez.
- 1 fuente plástica llena de agua
- 1 módulo TTGO Lora32 OLED V1 para el nodo sensor
- 1 módulo TTGO Lora32 OLED V1 para el Gateway
- Conexión a Internet mediante WiFi
- Cuenta gratuita en la plataforma IoT shiftr.io (Sternenbauer GmbH, 2022)
- 1 ordenador

El plan de pruebas propuesto tiene la siguiente secuencia:

1. Conectar el sensor de turbidez al nodo sensor TTGO Lora32 OLED V1.
2. Encender el nodo sensor
3. Encender el Gateway
4. Verificar que la conexión LoRa entre el nodo y el Gateway se encuentre operativa.
5. Verificar que el Gateway puede conectarse a Internet mediante WiFi
6. Verificar que el Gateway se puede conectar al bróker MQTT
7. Verificar que el bróker MQTT komunicate.cloud.shiftr.io recibe los datos de turbiedad.
8. Ensuciar el agua y confirmar en el bróker el cambio en los valores de turbidez

Los resultados esperados son los siguientes:

1. Con el ordenador conectado directamente al nodo sensor se puede revisar el nivel de turbidez medido por el sensor en el entorno Arduino IDE.
2. En el bróker MQTT komunicate.cloud.shiftr.io, se puede observar una línea de tiempo continua de 5 horas de duración, con los valores de turbidez que se han recolectado con intervalo de separación de 1 minuto.

#### 4.5.4. Implementación

Se conectan los recursos designados para esta prueba tal como se detalla en la Figura 51 y se realiza la configuración de la placa TTGO LoRa32 OLED para que reconozca al sensor de turbidez.

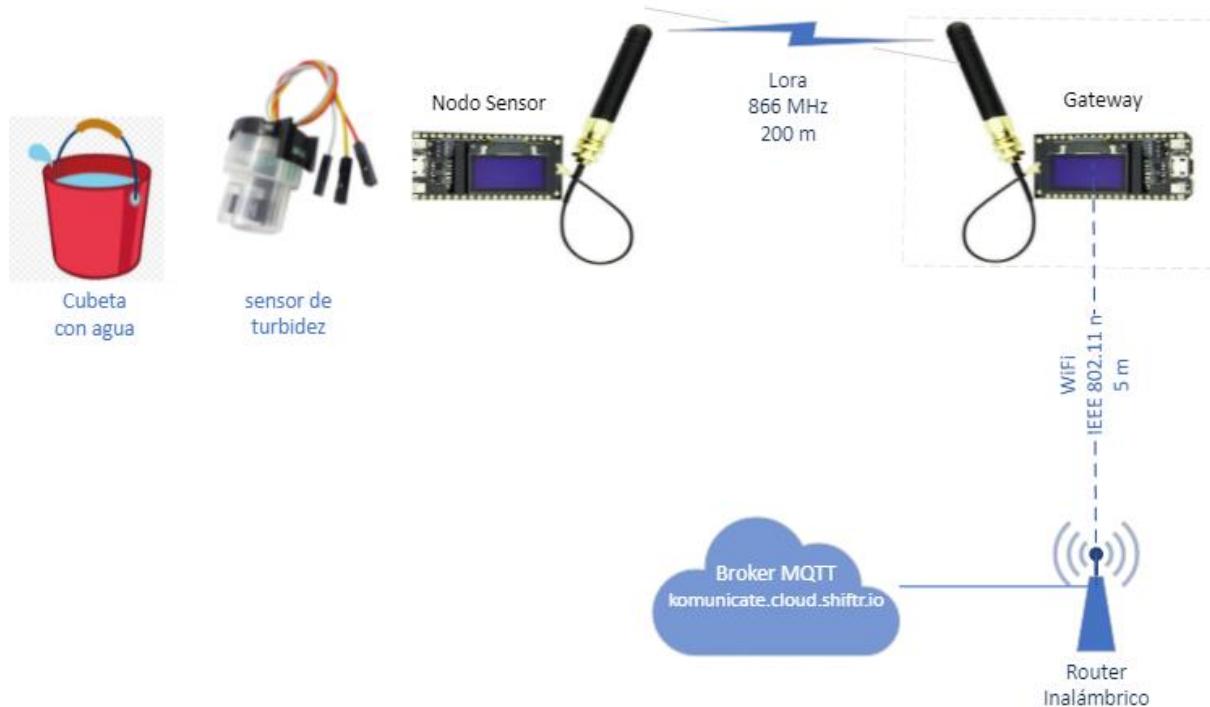


Figura 51. Implementación de la PoC

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de optimizar el tiempo de los involucrados en esta prueba de concepto, se realizarán tres reuniones de seguimiento con todos los invitados, la primera será al inicio de la prueba, la segunda luego de 2h30 y la tercera al finalizar las 5 horas de prueba.

#### 4.5.5. Ejecución de pruebas

El día escogido para la experiencia piloto fue consensuado con el presidente de la JAAP con la finalidad de contar con su presencia y la del operador, con quienes se va a ejecutar el plan de pruebas.

Los resultados quedarán registrados en la lista de chequeo mostrada en la Tabla 15 y se emitirá una lista por cada una de las reuniones pactadas para esta prueba, es decir una al inicio, una segunda lista luego de 2h30 y una tercera al finalizar las 5 horas de prueba.

**Tabla 15. Lista de chequeo de resultados**

RESULTADO	SI	NO
Se observan los niveles de turbiedad en el ordenador conectado al TTGO Lora32 OLED V1	X	
Se observan los niveles de cloro en el tiempo en el bróker komunicate.cloud.shiftr.io desde un ordenador conectado a Internet	X	
Al alterar el color del agua en la cubeta, el nivel de turbidez incrementa sobre el nivel máximo permitido	X	

*Fuente: Elaboración propia*

Todas las listas de resultados serán suscritas por los participantes y almacenadas por el gestor de innovación para que formen parte de la memoria técnica del proyecto.

#### 4.5.6. Evaluación de resultados

Al colocar el sensor de turbiedad en la cubeta con agua limpia como se muestra en la Figura 52, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 53, tanto en el ordenador conectado directamente al nodo sensor con el IDE de Arduino, como en el Gateway TTGO Lora32 OLED V1.

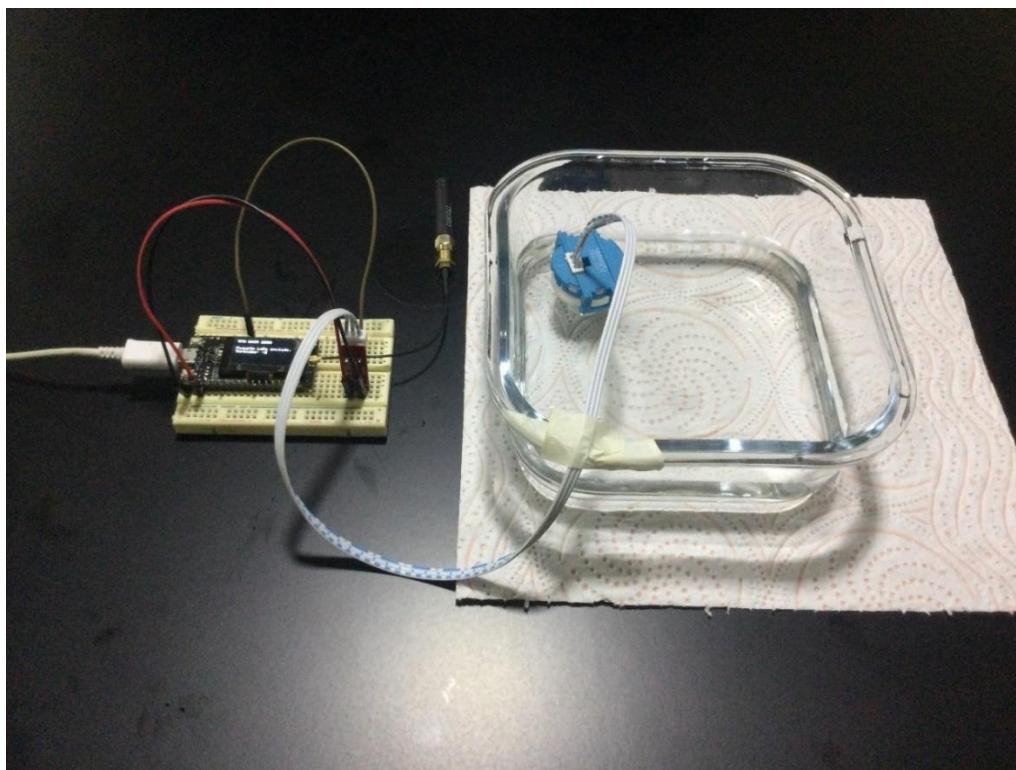


Figura 52. Medición con agua limpia

Fuente: Elaboración propia

```
COM3
[REDACTED]
23:53:30.628 -> 2080
23:53:31.150 -> enviando turbidez: 3
23:53:41.216 -> 2066
23:53:41.682 -> enviando turbidez: 5
23:53:51.740 -> 2070
23:53:52.253 -> enviando turbidez: 5
23:54:02.325 -> 2099
23:54:02.782 -> enviando turbidez: 1
```

Ordenador con IDE arduino



Gateway TTGO Lora32 OLED V1

Figura 53. Resultados con agua limpia

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 54 se muestra el bróker MQTT [komunicate.cloud.shiftr.io](https://komunicate.cloud.shiftr.io), donde se puede observar el tópico turbidez implementado en esta prueba de concepto y el Gateway LoRa que se encuentra aprovisionando información de turbidez menor a 5 NTU, que de acuerdo a la norma INEN 1108, implica que es apta para el consumo humano.

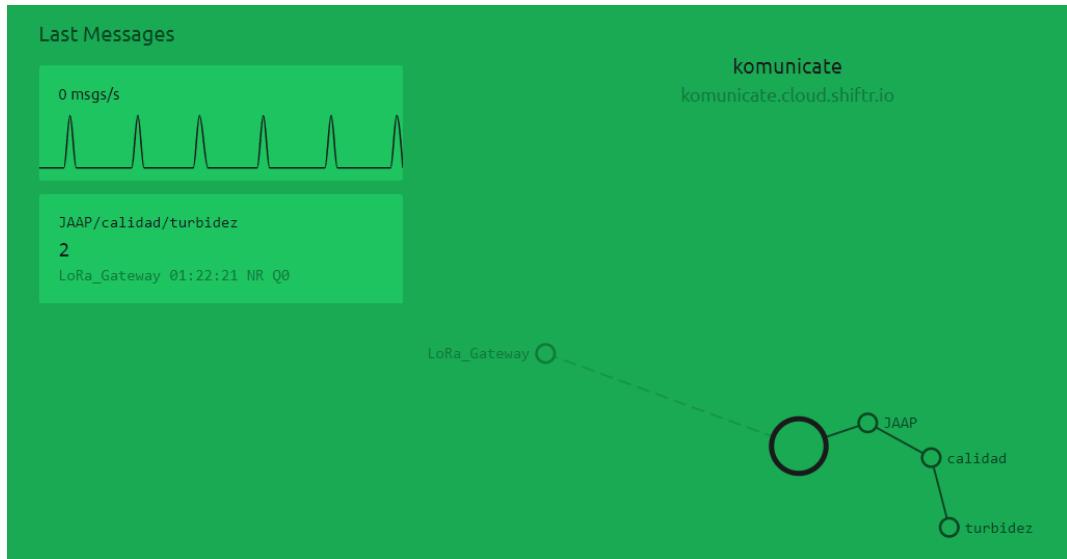


Figura 54. Broker MQTT con agua limpia

Fuente: (JAAP, 2022b)

El siguiente escenario fue ensuciar el agua tal como se muestra en la Figura 55 para lo cual se utiliza café instantáneo disuelto en agua y se obtuvieron los resultados del sensor de turbidez en la Figura 56.

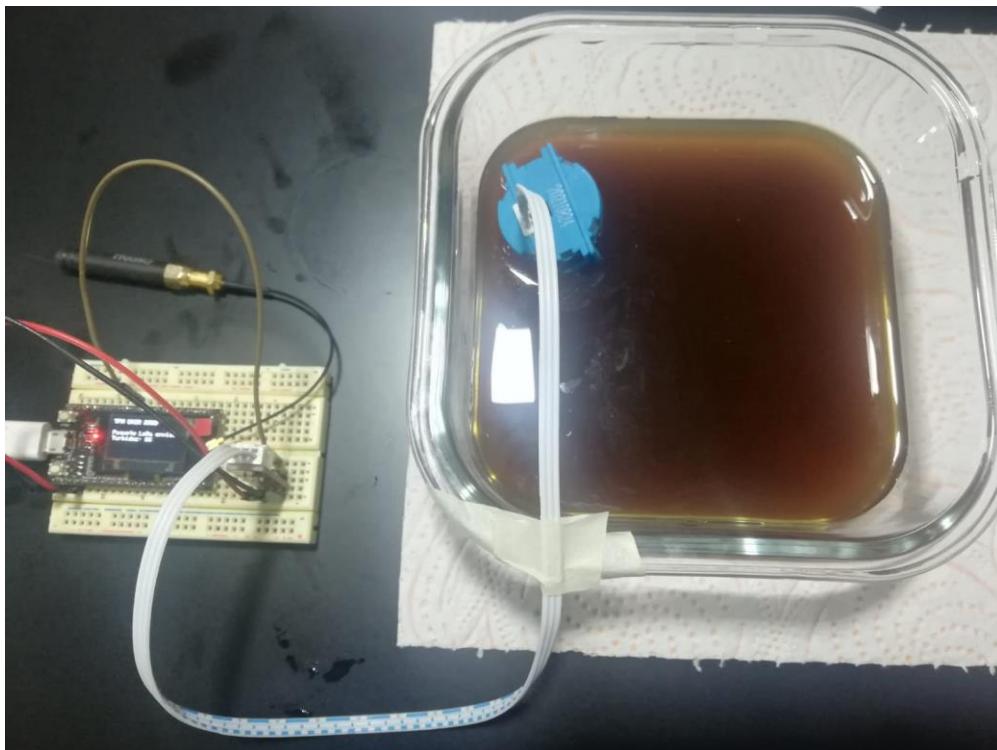


Figura 55. Medición con agua turbia

Fuente: Elaboración propia

```
COM3  
|  
23:46:28.609 -> 1327  
23:46:29.122 -> enviando turbidez: 98  
23:46:39.147 -> 1319  
23:46:39.659 -> enviando turbidez: 99  
23:46:49.721 -> 1327  
23:46:50.231 -> enviando turbidez: 98  
23:47:00.253 -> 1328  
23:47:00.766 -> enviando turbidez: 98
```



Ordenador con IDE arduino

Gateway TTGO Lora32 OLED V1

Figura 56. Resultados con agua turbia

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 57 se muestra el bróker MQTT *komunificate.cloud.shiftr.io*, donde se puede observar el tópico *turbidez* implementado en esta prueba de concepto y el Gateway LoRa que se encuentra aprovisionando información de turbidez mayor a 5 NTU, que de acuerdo a la norma INEN 1108, implica que no es apta para el consumo humano.

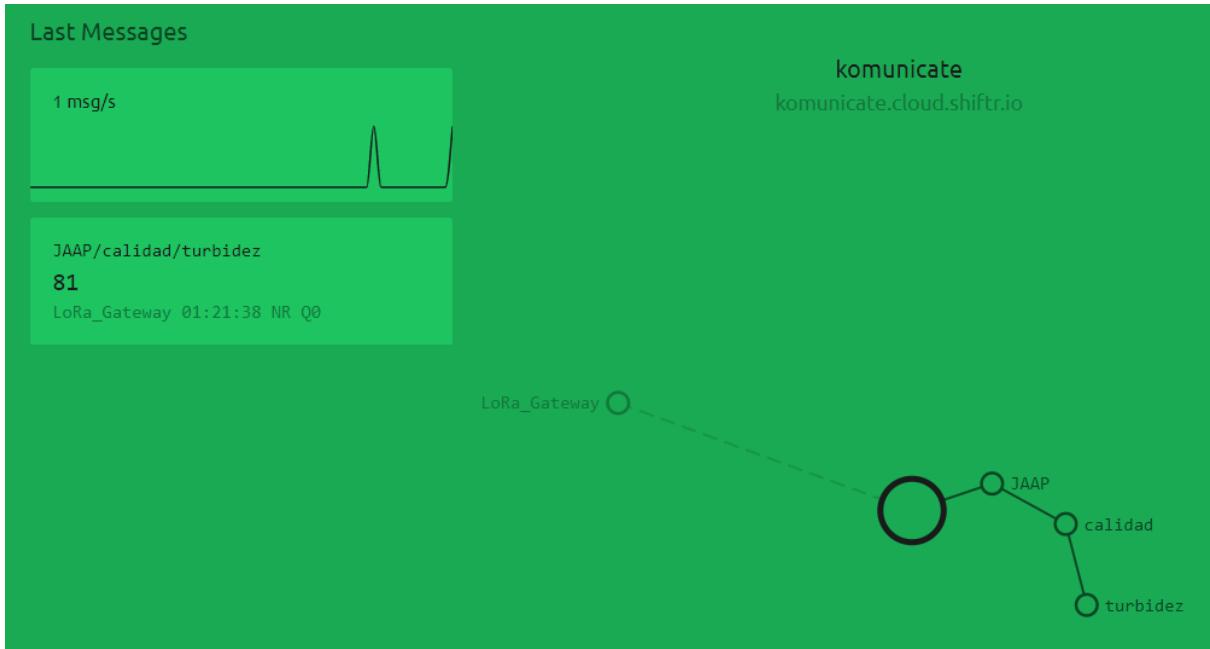


Figura 57. Broker MQTT con agua turbia

Fuente: (JAAP, 2022b)

#### 4.5.7. Conclusiones

- Se demuestra que es posible recolectar los datos de la planta de agua potable, mediante sensores conectados a una placa de desarrollo de bajo costo como la TTGO LoRa32 OLED V1 y transmitirlos mediante la tecnología LPWAN LoRa.

- En el Gateway es posible convertir la señal LoRa y enviarla a una plataforma IIoT en la nube mediante WiFi.
- La exactitud de los valores obtenidos en campo depende de las buenas prácticas a la hora de instalar los sensores y de una adecuada calibración.

## 4.6. Resultados esperados

En este apartado se va a registrar el cumplimiento de los resultados de este proyecto.

### 4.6.1. Registrar el consumo de agua.

La aplicación móvil planteada en el apartado 4.2.1.7, además de registrar el consumo de cada usuario, también permite registrar novedades como medidor dañado y sin medidor, esta información se almacena en la opción registros de la aplicación web que se muestra en el apartado 4.4.1.6, esto permitirá alcanzar el objetivo de mantener los ingresos mensuales sin desfinanciar la JAAP. De los registros se tiene que el 100% de los usuarios tienen medidores de aguay se encuentran en buen estado, tal como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16. Registro de consumo de agua por usuario con novedades**

Código único	Nombre	Lectura actual	Lectura pasada	Consumo m3	Tiene medidor	Estado medidor
1	Agila Eli Bolívar	2160	2104	56 m3	Si tiene medidor	En buen estado
2	Quizpe Aguilar Jhulissa de Fátima	497	497	0 m3	Si tiene medidor	En buen estado
3	Minga Chamba Rosa MarÍ-a	530	497	33 m3	Si tiene medidor	En buen estado
4	Aguilar Manuel de Jesus	228	225	3 m3	Si tiene medidor	En buen estado
5	Aguilar Ochoa Angel Benigno	0	0	0 m3	Si tiene medidor	En buen estado
6	Aguilar Ochoa Luis Alberto	0	0	0 m3	Si tiene medidor	En buen estado
7	Alberca Carlos	610	602	8 m3	Si tiene medidor	En buen estado
8	Yanza Cajamarca Susana 2	84	84	0 m3	Si tiene medidor	En buen estado
9	Albito Balcazar Hernan Eduardo	943	933	10 m3	Si tiene medidor	En buen estado
10	Albito Balcazar Oscar	30	30	0 m3	Si tiene medidor	En buen estado
11	Albito Cajamarca Oscar	70	67	3 m3	Si tiene medidor	En buen estado
12	Albito Franklin	932	922	10 m3	Si tiene medidor	En buen estado
13	Albito Orellana Amelia	197	196	1 m3	Si tiene medidor	En buen estado
14	Albito Orellana Hernán1	596	575	21 m3	Si tiene medidor	En buen estado
15	Albito Orellana Laureana	706	702	4 m3	Si tiene medidor	En buen estado
16	Albito Placencia Yandry Patricio	222	218	4 m3	Si tiene medidor	En buen estado
17	Albito Puga JosÁn Miguel	3077	3040	37 m3	Si tiene medidor	En buen estado

Fuente: (JAAP, 2021)

### 4.6.2. Presentar al usuario el valor a pagar mediante una plataforma web

Tal como se menciona en el apartado 4.4.1 se ha creado una interfaz web capaz de mostrar al usuario la deuda que tiene con la JAAP como se muestra en la Figura 58, lo cual pretende dar a conocer al usuario la deuda que tiene con la organización y persuadirlo a cumplir con sus obligaciones pendientes.

The screenshot shows a blue-tinted background image of a green, hilly landscape. Overlaid on the top left is a white box containing the text "MANTENTE INFORMADO" and "Este portal te informará nuestras noticias y novedades, y más servicios para ti". Below this, there are three main sections: "Alertas" (with two red circular icons), "Acerca de la Junta" (with a detailed description of the Directiva 2020-2022), and "Consulta tus obligaciones" (which is highlighted with a red border). The "Consulta tus obligaciones" section contains two links: "Consulta por cédula" and "Consulta por código".

Figura 58. Consulta de deudas

Fuente: (JAAP, 2021)

En caso de que un usuario tenga registros de cartera vencida el sistema inteligente conformado por el agente computacional del apartado 4.3.2.1 ha aprendido mediante aprendizaje automático que cuando un usuario adeuda más de 60 días, se informe al presidente para tomar las medidas correctivas de suspensión del servicio o reducción de los gastos corrientes.

#### 4.6.3. Llevar un registro de la cartera vencida.

La aplicación web en el campo registros detallado en el apartado 4.4.1.6, cuenta con una columna que muestra la cartera vencida de cada usuario, la totalidad de la cartera vencida luego de un procesamiento de la información es la mostrada en la Figura 59 y cabe mencionar que el proyecto se encuentra en operación a partir del mes de noviembre del año 2021.

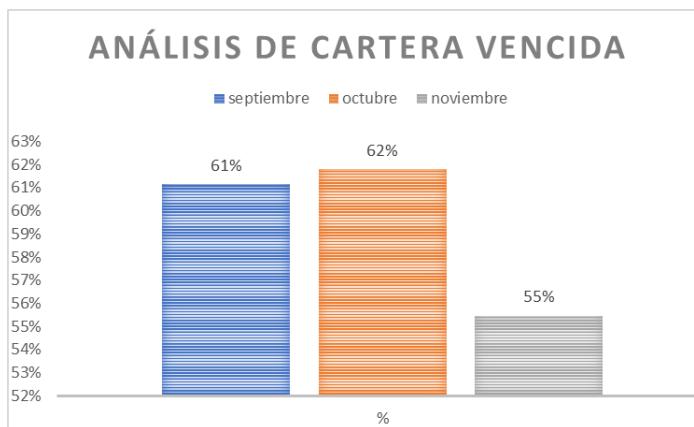


Figura 59. Cartera vencida

Fuente: (JAAP, 2021)

#### 4.6.4. Controlar si el agua potable producida es apta para el consumo humano.

El control de la calidad de agua se lo realiza mediante el sistema inteligente conformado por el agente computacional especificado en el apartado 4.3.2.2 que ha aprendido mediante técnicas de aprendizaje automático si alguno de los parámetros como pH, turbidez y cloro residual no se encuentran dentro del rango permitido por la norma ecuatoriana INEN 1108 y de ser así, tomar las medidas correctivas como informar al presidente para ordenar cerrar el caudal de flujo de agua cruda o revisar la operación de la cloradora. Para esto se realiza el monitoreo de los parámetros recibidos mediante el protocolo MQTT y se utiliza la aplicación MQTT explorer (Nordquist Thomas, n.d.) ,que permite graficar los parámetros que para el caso de este proyecto son de calidad del agua, tal como se muestra en la Figura 60.

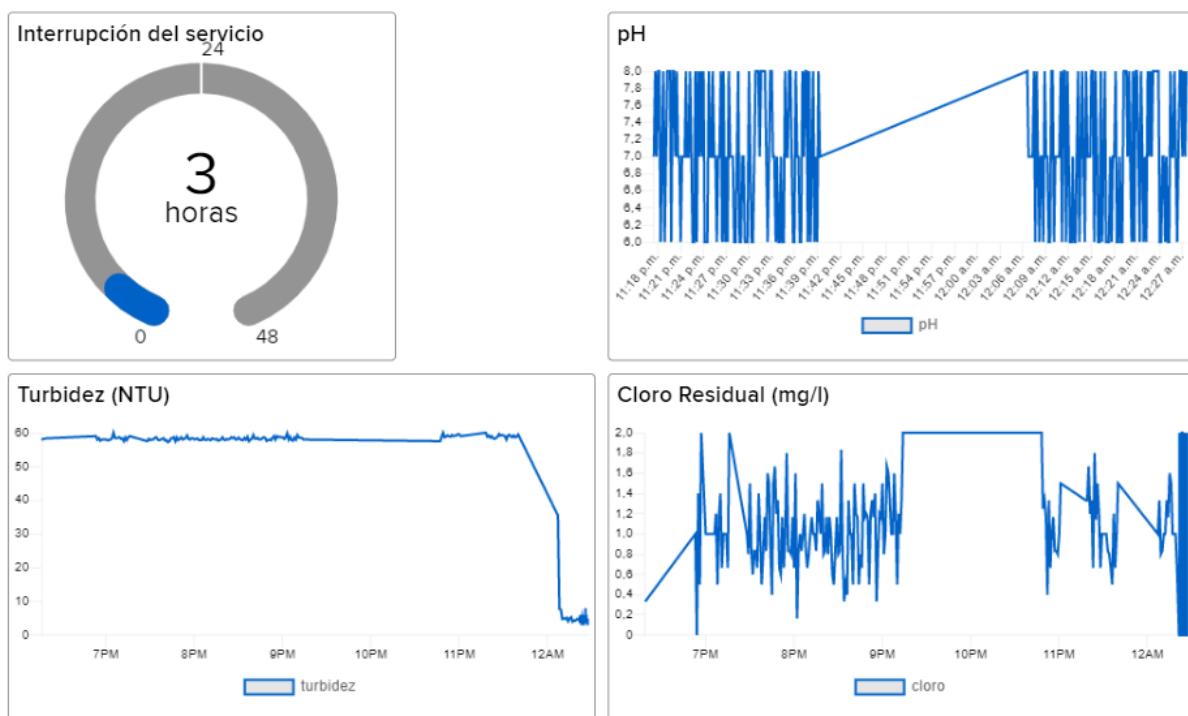


Figura 60. Monitoreo de cumplimiento de la norma iNEN 1108

Fuente: (JAAP, 2022a)

#### 4.6.5. Llevar un registro de la cantidad de agua que se produce.

La cantidad de agua consumida en la totalidad por mes se la puede recolectar de la pantalla registros del aparatado 4.4.1.6 y para los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2021 se muestra en la Figura 61.

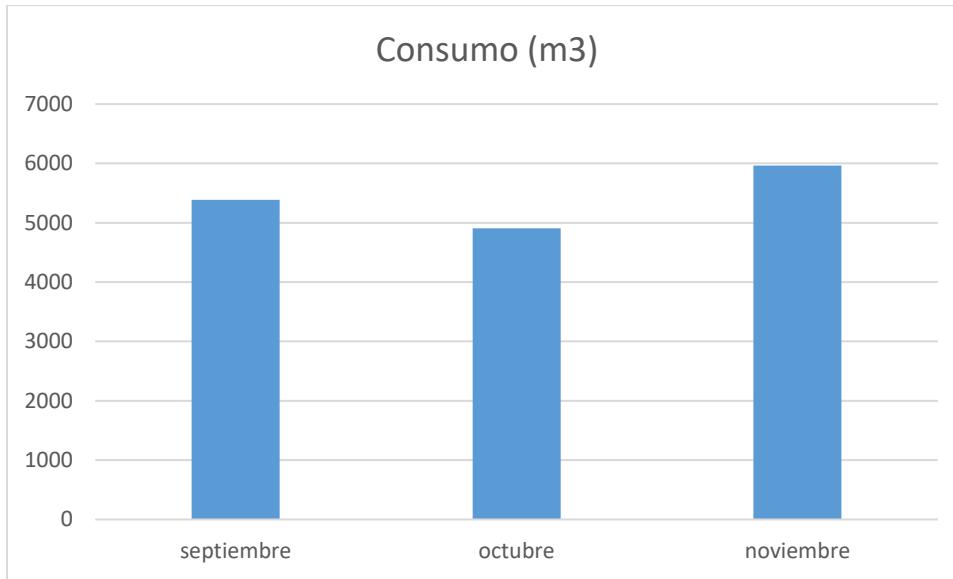


Figura 61. Consumo de agua total

Fuente: (JAAP, 2021)

#### 4.6.6. Controlar el estado de los elementos prioritarios del sistema.

Uno de los elementos prioritarios de este proyecto son los tanques de almacenamiento de agua potable, donde una falla en estos elementos podría colapsar el funcionamiento de la planta de tratamiento, por lo que se realiza el monitoreo de la deformación mediante rejillas de Bragg y sería importante calcular el tiempo de vida útil de los tanques, conociendo que a medida que ocurran deformaciones, este parámetro se verá reducido según las predicciones del sistema inteligente del apartado 4.3.2.3, alertando al presidente para contratar el personal capacitado para realizar las reparaciones y evitar la destrucción de los mismos tal como se muestra en la Figura 62 que corresponde al cuadro de mando integral.



Figura 62. Estado de salud de los tanques

Fuente: (JAAP, 2022a)

Cabe mencionar que este valor tiene una periodicidad de monitoreo anual, ya que la variación de la deformación es mínima y monitorizar todos los días sería un gasto innecesario de recursos, por lo que se propone que la máquina de inteligencia artificial envíe un mensaje por telegram al teléfono móvil del presidente para que tome las acciones correctivas.

#### 4.6.7. Alertar el tiempo de mantenimiento de los filtros lento

El sistema inteligente del apartado 4.3.2.3 ha aprendido de la experiencia del operador que cuando el caudal de salida de la planta de tratamiento es menor que el caudal de entrada se debe a que los filtros se encuentran con suciedad reteniendo el flujo del líquido, por lo que se alerta al presidente para que contrate personal adicional para la limpieza de los filtros, lo cual se puede observar en la perspectiva interna del cuadro de mando integral mostrado en la Figura 63 específicamente en el KPI denominado “limpiar filtros”.



Figura 63. Alerta de mantenimiento de filtros

Fuente: (JAAP, 2022a)

#### 4.6.8. Contar con un cuadro de mando integral.

Como producto visible para la administración de la JAAP se tiene un cuadro de mando integral que se muestra en la Figura 64, que incluye las perspectivas: financiera, cliente, procesos y aprendizaje según lo mencionado en el apartado 4.4.1, adicionalmente se muestra el tiempo de vida útil de la infraestructura sensible del sistema de agua potable.

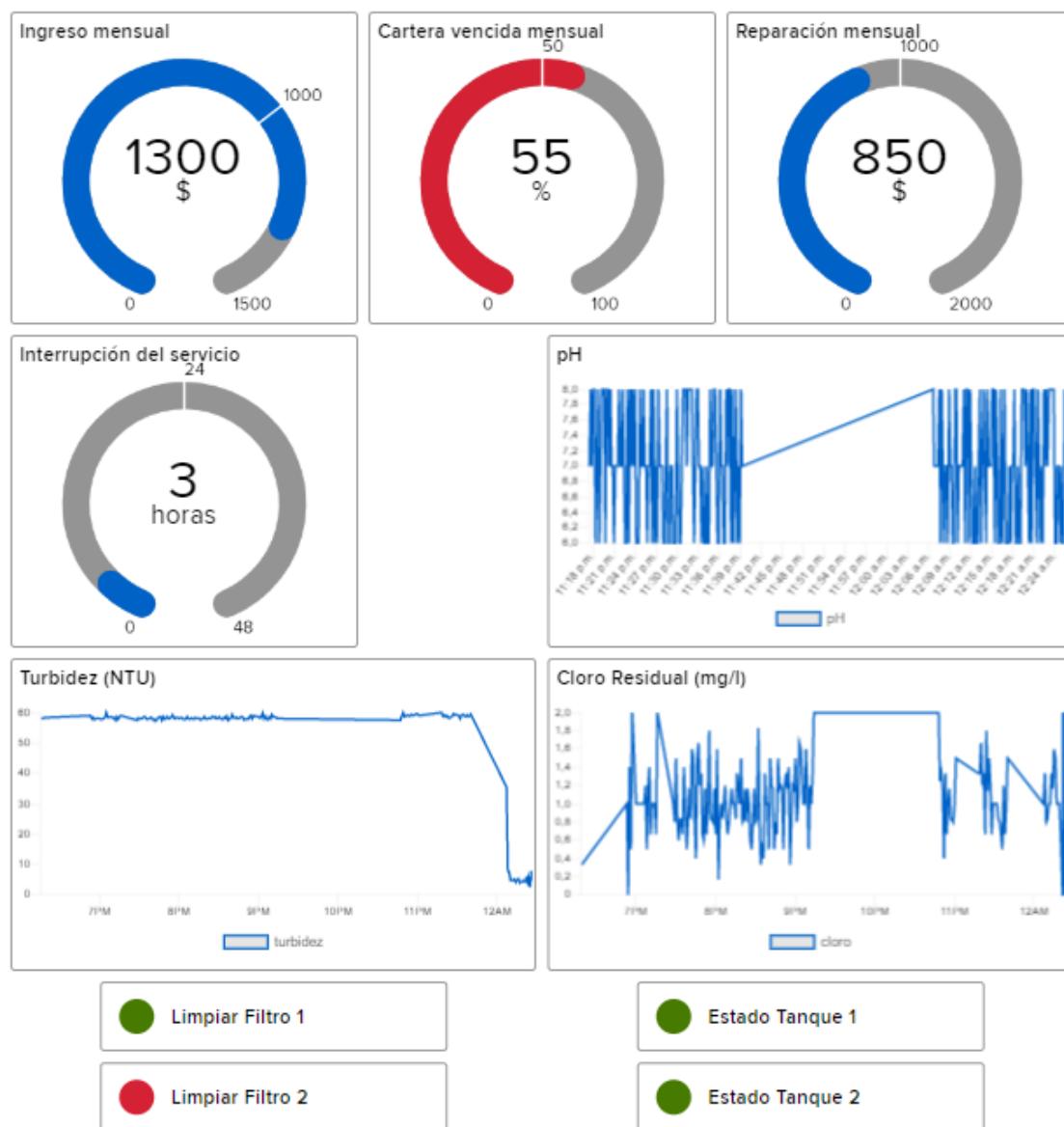


Figura 64. Cuadro de mando integral

Fuente: (JAAP, 2022a)

## 4.7. Análisis financiero

Para determinar la rentabilidad del proyecto se consideran los siguientes aspectos antes y después de la implementación del proyecto.

### 4.7.1. Coste asociado al proceso anterior

El coste anual incluye los honorarios del operador y la inversión que se ha realizado por parte del estado ecuatoriano en la implementación de la planta de tratamiento de la JAAP de los barrios Amable María, Cajas, Virgenpamba, Cascajo y La Isla, como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17. Coste asociado al proceso anterior**

		<b>Coste anual</b>
Perdida por destrucción de la infraestructura		\$ 80.000,00
Honorarios del operador		\$ 5.640,00
<b>Coste total anual</b>		<b>\$ 85.640,00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.7.2. Coste del proyecto de transformación digital

Para determinar el coste total del proyecto se requiere dimensionar cada uno de los recursos necesarios para el proyecto, los cuales se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18. Recursos del proyecto**

Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de	Iniciales	Grupo	Capacidad	Tasa
Sensor de pH	Material		S			\$120,00
Sensor de turbiedad	Material		S			\$45,00
Sensor de cloro residual	Material		S			\$80,00
Sensor de caudal	Material		S			\$200,00
Sensor de deformación	Material		S			\$35,00
Dispositivos LoRa	Material		D			\$50,00
Gateway LoRa	Material		G			\$150,00
antena panel	Material		a			\$200,00
Radio de microondas	Material		R			\$130,00
Cable UTP	Material		C			\$100,00
Ing. en electrónica	Trabajo		I		100%	\$100,00/día
Ing. de telecomunicación	Trabajo		I		100%	\$100,00/día
Ing. de software	Trabajo		I		100%	\$100,00/día
Desarrollador Google IoT	Trabajo		D		200%	\$100,00/día
Gestor de innovación	Trabajo		G		200%	\$100,00/día
instalador	Trabajo		i		300%	\$50,00/día

*Fuente: Elaboración propia*

Lo mencionado arroja que el coste proyecto en su totalidad asciende a \$55.835,00 que se ejecutará en un total de 240 días, tal como se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19. Resumen del proyecto**

	<b>Duración</b>	<b>Trabajo</b>	<b>Costo</b>
Actual	240d	4.392h	\$55.835,00
Previsto	0d	0h	\$0,00
Real	0d	0h	\$0,00
Restante	240d	4.392h	\$55.835,00

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.7.3. Coste asociado al nuevo proceso con transformación digital

Los costes asociados serían únicamente del operador ya que se dejaría de perder el coste de inversión en la infraestructura, sin embargo, se mantienen los honorarios del operador y se agregaría un valor por soporte tecnológico que permita dar mantenimiento preventivo y correctivo al sistema IIoT, como se detalla en la Tabla 20.

**Tabla 20. Coste asociado al nuevo proceso**

	<b>Coste anual</b>
Mantenimiento del sistema IIoT	\$ 20.000,00
Honorarios del operador	\$ 5.640,00
<b>Coste total anual</b>	<b>\$ 25.640,00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.7.4. Indicador de rentabilidad

Para medir la rentabilidad del proyecto se va a utilizar el indicador periodo de recuperación, que permite determinar en cuanto tiempo se podrá recuperar la inversión realizada en la transformación digital, para esto se organizan los costes de acuerdo con lo indicado en el Tabla 21.

**Tabla 21. Cálculo del periodo de recuperación**

A: Coste anual sin proyecto	\$ 85.640,00
B: Coste anual con proyecto	\$ 25.640,00
C: Ahorro (B-A)	\$ 60.000,00
D: Coste del proyecto	\$ 55.835,00
<b>Periodo de recuperación (D/A)</b>	<b>1,07459479</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Se determina que se va a recuperar la inversión en un poco más de un año, evitando principalmente que la infraestructura de agua potable se destruya, manteniendo este beneficio para la comunidad.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

Tal y como se recoge en la introducción, las JAAP en Ecuador se gestionan de forma empírica, provocando que las decisiones se tomen en base a eventos imprevistos y no a una planificación; esto ocurre debido a que la administración no cuenta con información consolidada de tipo financiero, control de calidad y estado de la infraestructura.

Gracias al desarrollo de la plataforma de gestión inteligente de sistemas de agua potable comunitario mediante IIoT, que incluye la arquitectura IIRA en conjunto con niveles de sensorización, comunicaciones LPWAN, técnicas de aprendizaje automático, inteligencia de negocios y un programa de control financiero, se ha logrado establecer una herramienta para la toma de decisiones acelerada de la administración con una visión integral del estado de la JAAP.

Las principales contribuciones obtenidas tras la realización de este proyecto son las siguientes:

- Control del estado financiero de la JAAP.
- Control de la calidad de agua suministrada por la planta de tratamiento de agua potable.
- Planificación del mantenimiento de la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable.
- Monitorización del cumplimiento de los objetivos estratégicos de la JAAP, permitiendo a la administración tomar las decisiones de forma oportuna.

Teniendo en cuenta los resultados, ha quedado demostrado en el desarrollo del TFM, que han sido alcanzados los objetivos específicos planteados ya que:

- **Objetivo específico 1:** Reducir la cartera vencida del sistema de agua potable comunitario a un valor menor al 20%, mediante la adaptación de un sistema informático de control financiero que permita gestionar el consumo y la recaudación. Este objetivo se considera alcanzado ya que, tal y como queda reflejado en los apartados 4.4.2 donde se propone una aplicación web que registra la información de consumo de agua, recaudación y cartera vencida, se alimenta de información a un agente computacional que mediante inteligencia artificial propuesta en el apartado 4.3.2.1 para obtener los resultados de los apartados 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, específicamente en la Figura 59 de este documento, donde se muestra una tendencia a la baja de la cartera vencida a partir del mes de noviembre del año 2021, fecha en la cual se puso en operación la plataforma web y de continuar con el mismo comportamiento, se esperaría para el mes de abril del año 2022, este valor se encuentre en el 20%. Para una comprobación real se puede

acceder a la página web [www.aguavirgenpamba.org](http://www.aguavirgenpamba.org) y verificar las deudas de los usuarios.

- **Objetivo específico 2:** Monitorizar la calidad de la producción de agua potable de acuerdo con las regulaciones ecuatorianas, mediante un ecosistema basado en internet de las cosas industrial (IIoT). Este objetivo se considera alcanzado ya que, tal y como queda reflejado en el apartado 4.2 se monitoriza los niveles de calidad de agua y se envían estos valores mediante el protocolo MQTT como se especifica en el apartado 4.3.1, a una plataforma en la nube que se muestra en el apartado 4.3.2 para que pueda ser procesada mediante inteligencia artificial por un agente computacional que se encuentra especificado en el apartado 4.3.2.2 y según los resultados obtenidos en los apartados 4.6.4, 4.6.5, Figura 60 y 61, el presidente tendrá total conocimiento del estado de producción del agua y podrá tomar las decisiones oportunas para evitar suministrar a los usuarios agua potable que no se encuentre apta para el consumo humano. Para una comprobación real se puede acceder a la página web <https://io.adafruit.com/hsamaniego/dashboards/jaap> y verificar la calidad del agua producida.
- **Objetivo específico 3:** Predecir la ocurrencia del mantenimiento y el estado de salud de los principales componentes de la planta de tratamiento de agua potable, determinando su tiempo de vida útil (RUL). Este objetivo se considera alcanzado ya que considerando el resultado del apartado 4.6.6 se monitorizan los tanques de almacenamiento mediante rejillas de Bragg antes de que ocurran fisuras producto de la deformación de su estructura, lo que se muestra en la Figura 62 y de igual manera en el resultado del apartado 4.6.7 se monitorizan los filtros de arena como se muestra en la figura 63, permitiendo predecir mediante inteligencia artificial como se refleja en el apartado 4.3.2.3, cuando se debe subcontratar la limpieza de estos filtros y así optimizar el gasto por mantenimiento. Para una comprobación real se puede acceder a la página web <https://io.adafruit.com/hsamaniego/dashboards/jaap> y verificar el estado de los tanques de almacenamiento y filtros de arena.
- **Objetivo específico 4:** Agrupar los desarrollos planteados en los objetivos anteriores, en un cuadro de mando integral de inteligencia de negocios, con indicadores de desempeño (KPI), envío de alertas a los responsables, reduciendo el tiempo de atención a eventos y toma de decisiones en menos de 1 hora. Este objetivo se considera alcanzado ya que se ha implementado un modelo de gestión organizacional basado en inteligencia de negocios (Balanced Scorecard) como se muestra en el apartado 4.4.1 y cuyo cuadro de mando integral resultante se muestra en el apartado 4.6.8 y en la Figura 64, con un tablero de control que contiene toda la información que permite el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización, al mismo

tiempo que facilita a la administración la oportuna toma de decisiones y establecimiento de estrategias. Para una comprobación real se puede acceder a la página web <https://io.adafruit.com/hsamaniego/dashboards/jaap> donde consta el cuadro de mando integral.

- El análisis financiero del apartado 4.7 arroja que la inversión se puede recuperar en el lapso de un año, sumándole a esto el tiempo de implementación del proyecto que corresponde a 240 días, se puede predecir que en dos años la JAAP contará con un sistema basado en Internet de las cosas industrial, que le permita evitar la destrucción de la infraestructura, garantizar la sostenibilidad de la organización por algunos años más y sobre todo mantener el suministro de agua potable, que permite brindar bienestar y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona rural.

Por consiguiente, se puede concluir que el objetivo principal, desplegar un sistema de gestión inteligente dentro de una organización de agua potable comunitaria, integrando capacidades de control financiero, producción de agua con calidad y monitoreo del estado de salud de la infraestructura, para incrementar el tiempo de vida útil del sistema, ha sido alcanzado tras la realización de este TFM.

### 5.1.1. Líneas de trabajo futuras

Los sistemas de agua potable al ser considerados como infraestructuras críticas debido al impacto que podrían generar en la sociedad cuando son atacadas, ya sea en los niveles de calidad de agua, como en la disponibilidad del suministro que es importante para el desarrollo normal de las actividades cotidianas, se propone incrementar la característica de ciberseguridad, que permita minimizar el riesgo de las posibles amenazas con un nivel de alerta que informe a los usuarios la condición de calidad del agua que están recibiendo en tiempo real.

Otro aspecto que queda pendiente por desarrollar es la integración vertical que permita incrementar el nivel de madurez de la organización, permitiendo obtener información de los patrones de consumo de agua en los medidores, lo cual permitirá controlar las pérdidas y clasificar a los usuarios para elaborar nuevas estrategias de facturación y recuperación de cartera vencida.

## Referencias bibliográficas

- Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. (2022). <https://www.adafruit.com/>
- Adedeji, K. B., & Hamam, Y. (2020). Cyber-physical systems for water supply network management: Basics, challenges, and roadmap. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su12229555>
- Agencia de Regulacion y Control del Agua | ARCA – Ecuador. (n.d.). Retrieved October 25, 2021, from <http://www.regulacionagua.gob.ec/>
- Amelia, A. C., Fernando, B., Iván, B., Vidal, C., & Prólogo De José, T. (2021). *Aplicaciones de IoT industriales*.
- Arduino/esp32/TTGO\_LoRa32\_OLED at master · CaptIgmu/Arduino · GitHub.* (n.d.). Retrieved February 6, 2022, from [https://github.com/CaptIgmu/Arduino/tree/master/esp32/TTGO\\_LoRa32\\_OLED](https://github.com/CaptIgmu/Arduino/tree/master/esp32/TTGO_LoRa32_OLED)
- Baca Valladares, R. L., & Jácome Pruna, F. P. (2019). *Software para la gestión integral de la junta de agua potable del barrio Pichaló*. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.
- Calvo, D. (2019, March 23). *Aprendizaje supervisado*. <https://www.diegocalvo.es/aprendizaje-supervisado/>
- Cambium Networks. (n.d.). *LINKPlanner*. Retrieved November 24, 2021, from <https://www.cambiumnetworks.com/products/software-tools/linkplanner/>
- Campoverde-Molina, M. A., & Iñamagua-Robles, L. B. (2018). Sistema de información para la administración de los procesos de las Juntas de Agua Potable. *Polo Del Conocimiento*, 5(01), 23–47. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1211>
- Carrión Jiménez, R. D., & Ladino Pinto, E. S. (2017). *Análisis, diseño e implementación de un software para la gestión administrativa de las juntas comunitarias de agua de consumo humano en las provincias de Pichincha e Imbabura*.
- Castillo Talavera, A. (2005). *Modelado del efecto de las acciones climáticas en la cantidad de agua en estado líquido del hormigón para la estimación de la corrosión de la armadura*.
- Conde Chicaiza. (2019). SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LAS JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE (JAAP). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*, 131.
- CSA GROUP. (2017). *REAPING THE BENEFITS OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIoT)*. [www.csagroup.org](http://www.csagroup.org)

Cunalata Paredes, D. Y. (2020). *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua potable mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT en una vivienda del sector San Vicente de Picaihua Cantón Ambato.*

del Valle, J. (2018). *Tecnologías LPWAN Aplicaciones IoT Tecnologías LPWAN para aplicaciones IoT.*

LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Ley, 1 Registro Oficial Suplemento 305 de 06 de agosto -2014 1 (2014).  
[www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Endress+Hauser. (n.d.-a). *Caudalímetro electromagnético Proline Promag D 10.* Retrieved November 21, 2021, from <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/Proline-Promag-D-10-5dbb?t.tabId=product-overview>

Endress+Hauser. (n.d.-b). *Liquiphant FTL51B-point level switch.* Retrieved November 21, 2021, from <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/liquiphant-flt51b?g.filters=%5B%22endress%3Abusiness-area%22%5D&t.tabId=product-overview>

Endress+Hauser. (n.d.-c). *Memosens CPS16E digital combined pH/ORP sensor.* Retrieved November 21, 2021, from <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/digital-combined-pH-ORP-sensor-Memosens-CPS16E?t.tabId=product-overview>

Endress+Hauser. (n.d.-d). *Sensor de cloro libre digital Memosens CCS51D.* Retrieved November 21, 2021, from <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/sensor-cloro-libre-digital-ccs51d?g.filters=%5B%22endress%3Abusiness-area%22%2C%22endress%3Ameasuring-application-task%22%5D&t.tabId=product-overview>

Endress+Hauser. (n.d.-e). *Sensor de turbidez inteligente para agua potable y proceso de agua.* Retrieved November 21, 2021, from <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/sensor-turbidez-agua-CUS52D?t.tabId=product-overview>

Fadel, A. A., & Shujaa, M. I. (2020). Water Quality Monitoring System Based on IOT Platform. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/3/032054>

García, Ó. (2021a). *Business Intelligence.*

García, Ó. (2021b). Técnicas de Inteligencia Artificial. In *Máster en Industria 4.0.*

Gonçalves, R., Soares, J. J. M., & Lima, R. M. F. (2020). An IoT-based framework for smartwater supply systems management. *Future Internet*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/FI12070114>

HBM. (n.d.). *Sensor óptico de deformación FS62*. Retrieved December 11, 2021, from <https://www.hbm.com/es/8120/newlight-fs62-sensor-optico-de-deformacion/#f91503s>

Inen. (1997). CÓDIGO DE PRACTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 50.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). Norma - INEN-1108-2011-Agua Potable. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 21.

JAAP. (2021). *Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento de los barrios Cascajo, Virgenpamba, Cajas, Amable María, La Isla*. <https://aguavirgenpamba.org/>

JAAP. (2022a). *IO - JAAP*. <https://io.adafruit.com/hsamaniego/dashboards/jaap>

JAAP. (2022b). *MQTT JAAP*. <https://komunicate.cloud.shiftr.io/>

Lin, S.-W., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., Amine, C., Robert, M., Brett, M., & Crawford, M. (2017). The Industrial Internet of Things Volume G1 : Reference Architecture. *Industrial Internet Consortium White Paper, Version 1.*, 58 Seiten.

Liu, P., Wang, J., Sangaiah, A., Xie, Y., & Yin, X. (2019). Analysis and Prediction of Water Quality Using LSTM Deep Neural Networks in IoT Environment. *Sustainability*, 11(7), 2058. <https://doi.org/10.3390/su11072058>

Nordquist Thomas. (n.d.). *MQTT Explorer | An all-round MQTT client that provides a structured topic overview*. Retrieved February 1, 2022, from <https://mqtt-explorer.com/>

Ortiz, J. (2018). Acceso y consumo de agua potable para todos. *El Universo*, 1.

Peña Rojas, A., & Flores del Pino, L. (2014). Redes neuronales para el tratamiento de agua potable en zona de altitud del Perú. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 108. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd18-35.rnta>

Rubio-Aparicio, J., Cerdan-Cartagena, F., Suardiaz-Muro, J., & Ybarra-Moreno, J. (2019). Design and implementation of a mixed IoT LPWAN network architecture. *Sensors (Switzerland)*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/s19030675>

Ruiz Gorrindo, F., Martí Colom, P., & Llorens Garcia, A. (2018). Análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes = Cost-benefit analysis of intelligent structures. *Anales de Edificación*, 4(2), 9. <https://doi.org/10.20868/ade.2018.3773>

Semtech. (2021). *LoRaWAN Standard / LoRa*. <https://www.semtech.com/lora/lorawan-standard>

Sternenbauer GmbH. (2022). *shiftr.io*. <https://www.shiftr.io/>

*TTGO LoRa32 SX1276 OLED con Arduino IDE*. (n.d.). Retrieved December 22, 2021, from <https://randomnerdtutorials.com/ttgo-lora32-sx1276-arduino-ide/>

Tuptuk, N., Hazell, P., Watson, J., & Hailes, S. (2021). A systematic review of the state of cyber-security in water systems. *Water (Switzerland)*, 13(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/w13010081>

Yobero, C. (2018, February 1). *K-Means Clustering Tutorial*. <https://rpubs.com/cyobero/k-means>

## Anexo A. Especificaciones técnicas de los sensores

### Sensor de caudal electromagnético

**Marca:** Endress + Hauser

**Modelo:** Proline Promag D 10 – 5DBB (Endress+Hauser, n.d.-a)

- **Error de medición máx:** Caudal volumétrico (estándar):  $\pm 0,5\%$  lect.  $\pm 1\text{ mm/s}$  ( $0,04\text{ in/s}$ )
- **Rango de medición:**  $9\text{ dm}^3/\text{min}$  a  $162.000\text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,5\text{ gal/min}$  a  $100.000\text{ gal/min}$ )
- **Rango de temperatura:** del medio Material del revestimiento interior de goma dura:  $0$  a  $+80\text{ }^\circ\text{C}$  ( $+32$  a  $+176\text{ }^\circ\text{F}$ ) Material del revestimiento interior de poliuretano:  $-20$  a  $+50\text{ }^\circ\text{C}$  ( $-4$  a  $+122\text{ }^\circ\text{F}$ ) Material del revestimiento interior de PTFE:  $-20$  a  $+90\text{ }^\circ\text{C}$  ( $-4$  a  $+160\text{ }^\circ\text{F}$ )
- **Máx. presión de proceso:** PN 40, Clase 300, 20 K
- **Materiales húmedos:** Material del revestimiento interior de goma dura:  $0$  a  $+80\text{ }^\circ\text{C}$  ( $+32$  a  $+176\text{ }^\circ\text{F}$ ) Material del revestimiento interior de poliuretano:  $-20$  a  $+50\text{ }^\circ\text{C}$  ( $-4$  a  $+122\text{ }^\circ\text{F}$ ) Material del revestimiento interior de PTFE:  $-20$  a  $+90\text{ }^\circ\text{C}$  ( $-4$  a  $+160\text{ }^\circ\text{F}$ )
- **Electrodos:** 1.4435 (316L); aleación C22, 2.4602 (UNS N06022)

### Sensor digital combinado de pH/ORP

**Marca:** Endress + Hauser

**Modelo:** Memosens CPS16E(Endress+Hauser, n.d.-c)

- **Rango de medición Redox:**  $-1.500$  a  $1.500\text{ mV}$  Aplicación A: pH: 1 a 12; Aplicación B: pH: 0 a 14.
- **Temperatura del proceso** Aplicación A:  $-15$  a  $80\text{ }^\circ\text{C}$  ( $5$  a  $176\text{ }^\circ\text{F}$ ); Aplicación B:  $0$  a  $135\text{ }^\circ\text{C}$  ( $32$  a  $275\text{ }^\circ\text{F}$ ).
- **Presión de proceso**  $0,8$  a  $17\text{ bar}$  ( $11,6$  a  $246,5\text{ psi}$ ) absoluta.

### Sensor de turbidez

**Marca:** Endress + Hauser

**Modelo:** Turbimax CUS52D(Endress+Hauser, n.d.-e)

- **Rango de medición**  $0,000$  a  $4000\text{ FNU (NTU)}$

- **Temperatura del proceso**, versión de acero inoxidable: -20 a 85 °C (0 a 185 °F); versión de plástico: -20 a 60 °C (-4 a 140 °F).
- **Presión de proceso**, versión de acero inoxidable: 0,5 a 10 bar abs (7,3 a 145 psi abs); versión de plástico: 0,5 a 6 bar abs (7,3 a 87 psi abs)

### Sensor de nivel de agua

**Marca:** Endress + Hauser

**Modelo:** Liquiphant FTL51B (Endress+Hauser, n.d.-b)

- **Temperatura del proceso** -50 °C +150 °C (-58 °F +302 °F)
- **Presión de proceso absoluta** / límite de sobrepresión máx. Vacío...100 bar  
Vacío...1450 psi
- **Densidad min.** del medio 0,5 g/cm<sup>3</sup> (0,4 g/cm<sup>3</sup> opcional)

### Sensor de cloro residual

**Marca:** Endress + Hauser

**Modelo:** Memosens CCS51D (Endress+Hauser, n.d.-d)

- **Rango de medición** Trazas: 0 a 5 mg/l de HOCl Estándar: 0 a 20 mg/l de HOCl Alta: 0 a 200 mg/l de HOCl.
- **Temperatura del proceso** 0 a 55°C (32 a 130°F), sin congelación.
- **Presión de proceso** Máx. 1 bar (máx. 14,5 psi).
- **Método de medición** Célula de medición cerrada y recubierta por una membrana Reducción del cloro libre en el cátodo.

### Sensor de deformación

**Marca:** newLight

**Modelo:** FS62CSS (HBM, n.d.)

- **Rango de medición:** ±5000 µm/m o 0.5%
- **Resolución:** 0.5 µm/m
- **Radio de curvatura:** > 1000 mm
- **Longitud de onda de Bragg:** 1500 a 1600 nm (±0.5)

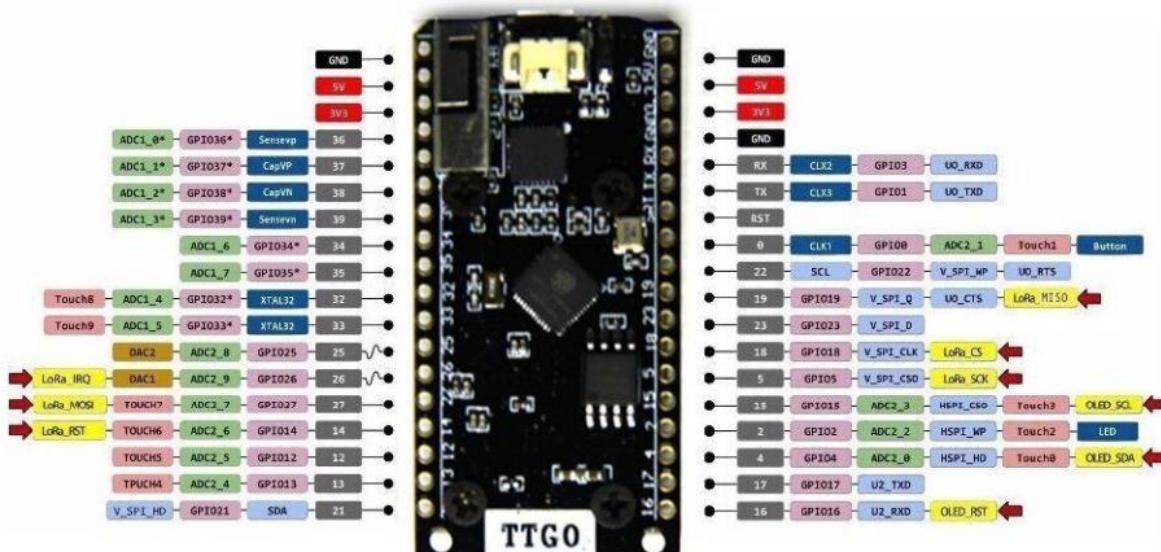
## Anexo B. Especificaciones técnicas de los equipos de comunicación

### TTGO LoRa32 OLED V1

TTGO LORA32 V1. 0/ V2. 0/ V2. 1_1.6 Version			
	TTGO LORA32 V1. 0	TTGO LORA32 V2. 0	TTGO LORA32 V2. 1_1.6
ESPchip	ESP32-DOWDQ6	ESP32 PICO-D4	ESP32 PICO-D4
flash	4M bytes	4M bytes	4M bytes
USB-TO-UART IC	CP2102	CP2104	CP2104
Antenna	3D Antenna	3D Antenna	3D Antenna
MicroSD Card Slot	NO	YES	YES
Battery powered switch	NO	YES	YES
Battery charging	YES	YES	YES
LORA Shielded cover	NO	YES	YES
flash light	I015	I022	I023
LORA antenna	IPX	IPX	SMA
LORA PIN	26, 14, 18, 5, 27, 19	26, 9, 18, 5, 27, 19	26, 23, 18, 5, 27, 19

### Especificaciones Técnicas

Fuente: (*Arduino/Esp32/TTGO\_LoRa32\_OLED at Master · CaptIgmu/Arduino · GitHub*, n.d.)



Pin Out TTGO LoRa32 OLED V1

Fuente: (*Arduino/Esp32/TTGO\_LoRa32\_OLED at Master · CaptIgmu/Arduino · GitHub*, n.d.)



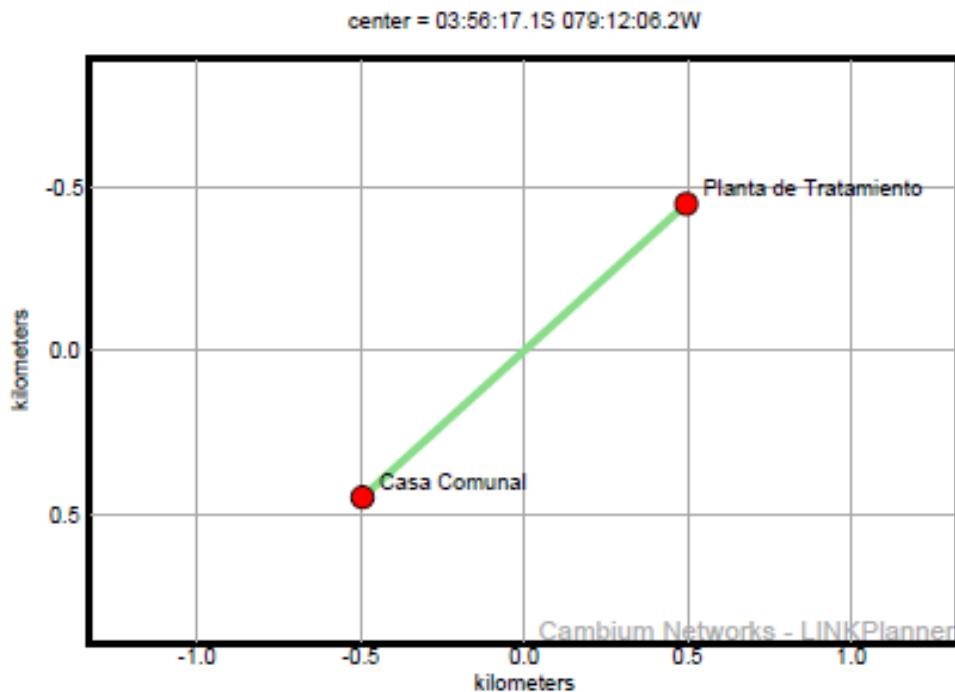
# Project Untitled 1

## Casa Comunal to Planta de Tratamiento

### LINKPlanner PTP Proposal Report

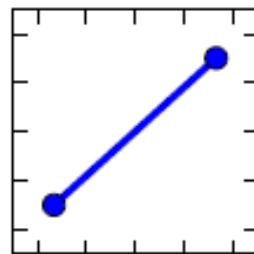
25 November 2021

Hernán Samaniego Armijos  
Organization: Komunicate  
Phone: +593984618428  
Email: hsamaniego@komunicate.net





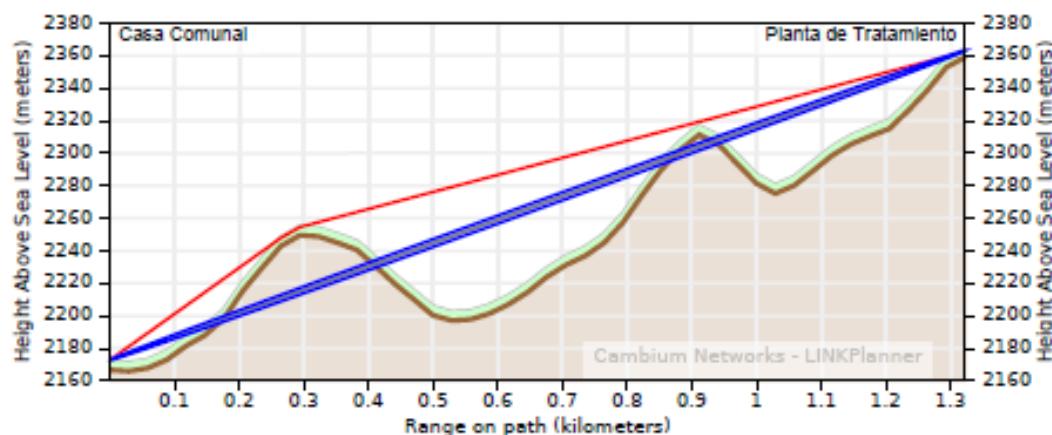
## Casa Comunal to Planta de Tratamiento



Equipment: Cambium Networks ePMP Force 200 Integrated

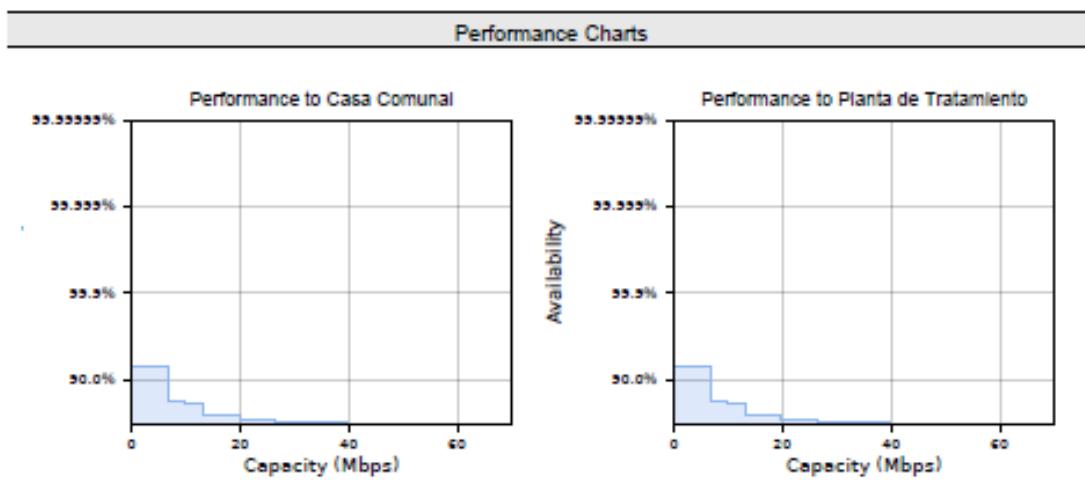
Cambium Networks ePMP Force 200 @ 6 m

Cambium Networks ePMP Force 200 @ 4 m



	Performance to Casa Comunal	Performance to Planta de Tratamiento
Mean IP	14.58 Mbps	14.50 Mbps
IP Availability	95.3660 % for 2.0 Mbps	95.3660 % for 2.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	1.323 km	System Gain Margin	5.71 dB
Band	5.8 GHz	Mean Aggregate Data Rate	29.08 Mbps
Regulation	Ecuador	Annual Link Availability	95.3660 %
Modulation	Adaptive	Annual Link Unavailability	16.9 days/year
Bandwidth	20 MHz	Frame Size	1518 Bytes
Total Path Loss	157.39 dB	Prediction Model	ITU-R P.530-17
System Gain	163.10 dB		



Climatic Factors, Losses and Standards			
dN/dH not exceeded for 1% of time	-112.33 N units/km	Gaseous Absorption Loss	0.01 dB
Area roughness 110x110km	745.13 metre	Link Type	Non Line-of-Sight
Geoclimatic factor	3.80e-06	Excess Path Loss	47.26 dB
Fade Occurrence Factor (P0)	5.32e-11	Atmospheric Gasses	ITU-R P.676-12, ITU-R P.835-6
Path inclination	143.81 mr	Diffraction Loss	ITU-R P.526-15
Value of K Exceeded for 99.99% (ke)	0.40	Propagation	ITU-R P.530-17
Excess Path Loss at ke	47.27 dB	Rain Rate	ITU-R P.837-7
0.01% Rain rate	44.90 mm/hr	Refractivity Index	ITU-R P.453-14
Free Space Path Loss	110.13 dB		

Bill of Materials			
Part Number	Qty	Description	
C000000L065	2	Gigabit Surge Suppressor (30V)	
C050900C161	2	ePMP 1000: 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (ROW) (US cord). Kit includes radio with antenna, power supply, line cord and mounting bracket	
EW-E2EPF200-WW	2	ePMP Force 200 Extended Warranty, 2 Addl Years	

Cambium Networks assumes no responsibility for the accuracy of the information produced by the Cambium LINKPlanner. Reference to products or services which are not provided by Cambium Networks is for information purposes only and constitutes neither an endorsement nor a recommendation. All information provided by the Cambium LINKPlanner is provided without warranty of any kind, either expressed or implied.

All product or service names are the property of their respective owners. © Cambium Networks. 2021



Cambium Networks™

## Project Untitled 1, Link Casa Comunal to Planta de Tratamiento

### LINKPlanner Installation Report

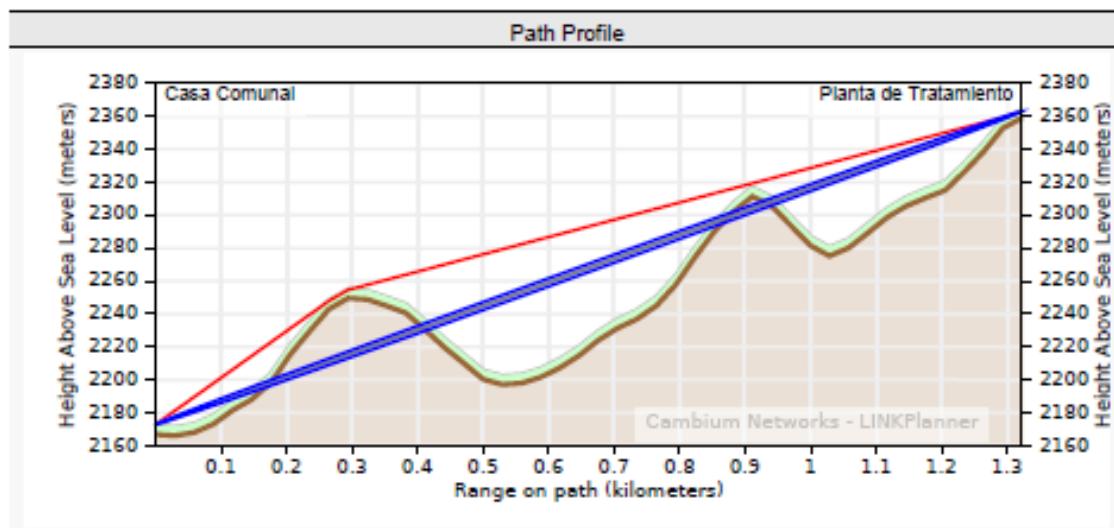
25 November 2021

Hernán Samaniego Armijos  
Organization: Komunicate  
Phone: +593984618428  
Email: hsamaniego@komunicate.net



Summary	
Link Name	Casa Comunal to Planta de Tratamiento
Customer Company Name	Hernán Samaniego Armijos
Profile Type	Non Line-of-Sight
Equipment Type	ePMP Force 200
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	1.323 kilometers
Free Space Path Loss	110.13 dB
Excess Path Loss	47.26 dB
User IP Throughput Expectation Aggregate	Aggregate 29.08 Mbps assuming ePMP Force 200 Series running the 4.6 software
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	20 MHz

Project Untitled 1 - Link Casa Comunal to Planta de Tratamiento      LINKPlanner version 5.5.0 Installation Report



Link Configuration	
ePMP PTP Mode	PTP
Bandwidth	20 MHz
DL/UL Ratio	50/50
Frame Period	5 ms
Maximum Mod Mode	MCS15 (64QAM 0.83)
Master	Casa Comunal
Slave	Planta de Tratamiento

Bill of Materials		
Part Number	Qty	Description
C000000L065	2	Gigabit Surge Suppressor (30V)
C050900C161	2	ePMP 1000: 5 GHz Force 200AR5-25 High Gain Radio (ROW) (US cord). Kit includes radio with antenna, power supply, line cord and mounting bracket
EW-E2EPF200-WW	2	ePMP Force 200 Extended Warranty, 2 Addl Years

Physical Installation Notes for Casa Comunal	
Link Name	Casa Comunal to Planta de Tratamiento
Latitude	03:56:31.6S
Longitude	079:12:22.1W
Site Elevation	2173 meters AMSL
Equipment Type	ePMP Force 200
Platform Variant	Integrated Antenna
Antenna Type	Cambium Networks ePMP Force 200
Antenna Beamwidth	7.0°
Antenna Gain	24.55 dBi
Antenna Height	6.0 meters AGL



Physical Installation Notes for Casa Comunal (continued)	
Antenna Tilt Angle	15.8° (uptilt)
Bearing to Planta de Tratamiento	47.84° from True North 50.80° from Magnetic North
Magnetic Declination	2.96° W ±0.32° changing by 0.18° W per year

Physical Installation Notes for Planta de Tratamiento	
Link Name	Casa Comunal to Planta de Tratamiento
Latitude	03:56:02.7S
Longitude	079:11:50.3W
Site Elevation	2363 meters AMSL
Equipment Type	ePMP Force 200
Platform Variant	Integrated Antenna
Antenna Type	Cambium Networks ePMP Force 200
Antenna Beamwidth	7.0°
Antenna Gain	24.55 dBi
Antenna Height	4.0 meters AGL
Antenna Tilt Angle	-8.0° (downtilt)
Bearing to Casa Comunal	227.84° from True North 230.81° from Magnetic North
Magnetic Declination	2.97° W ±0.32° changing by 0.18° W per year

Radio Commissioning Notes for Casa Comunal	
Radio Mode	Access Point
Driver Mode	TDD PTP
Country	Ecuador
Range Unit	kilometers
AP SSID	Casa Comunal
Max Range	2 kilometers
Channel Bandwidth	20 MHz
Transmitter Output Power	28.0 dBm
Antenna Gain	24.6 dBi
Subscriber Module Target Receive Level	-80 dBm
Downlink/Uplink Ratio	50/50
Guard Interval	Short
Downlink Max Rate	MCS15 (64QAM 0.83)
Frame Size	5 ms
Device Latitude (degrees)	03.94211S
Device Longitude (degrees)	079.20614W
Device Height (meters)	2172.9 m AMSL
Predicted Receive Power	-80 dBm ± 21 dB
Predicted Link Loss	157.39 dB ± 21.18 dB



Radio Commissioning Notes for Planta de Tratamiento	
Radio Mode	Subscriber Module
Driver Mode	TDD
Country	Ecuador
Length Unit	kilometers
Tx Power Manual Limit	Max Tx Output Power
Transmitter Output Power	28.00 dBm
Antenna Gain	24.6 dBi
Device Name	Planta de Tratamiento
Device Latitude (degrees)	03.93408S
Device Longitude (degrees)	079.19731W
Device Height (meters)	2363.1 m AMSL
Predicted Receive Power	-80 dBm ± 21 dB
Predicted Link Loss	157.39 dB ± 21.18 dB

Regulatory Conditions	
Country	Ecuador
Band	5.8 GHz
Max EIRP	52.5 dBm
Output Power	28.0 dBm

#### Installation Instruction

Perform the following checks during the installation (Check the deployment guide and the User Guide.)

1. Check with a GPS that you are installing at the correct location.
2. Check carefully the direction to the other end of the link. Either use a corrected compass or use the GPS waypoint feature about 300 meters from the installation location.
3. When aligning antennas, it is important to find the centre of the main beam. This is done by adjusting the antenna at each end of the link in turn and monitoring the receive level until the peak is found. Once the peak level is found, it should be checked against the predicted receive power to ensure that the antennas have not been aligned on a side lobe.
4. An hour after disarm check that the mean value for the link loss is as predicted (157.39 dB ± 21.18 dB). Also check that the received power is not greater than -54dBm.

Casa Comunal Performance *	
Frame Size	1518 Bytes
Mean IP Throughput Predicted	14.58 Mbps
Mean IP Throughput Required	5.00 Mbps
Minimum IP Throughput Required	2.00 Mbps
Minimum IP Throughput Availability Predicted	95.3660% (unavailable for 16.9 days/year)

Planta de Tratamiento Performance *	
Frame Size	1518 Bytes
Mean IP Throughput Predicted	14.50 Mbps
Mean IP Throughput Required	5.00 Mbps



Planta de Tratamiento Performance * (continued)								
Minimum IP Throughput Required	2.00 Mbps							
Minimum IP Throughput Availability Predicted	95.3660% (unavailable for 16.9 days/year)							

\* Multipath availability calculated using ITU-R P.530-17

Mode	Max Aggregate User IP Throughput (Mbps)	Max User IP Throughput in Either Direction (Mbps)	Casa Comunal			Planta de Tratamiento		
			Fade Margin (dB)	IP Throughput Availability (%) *	Receive time in Mode (%)	Fade Margin (dB)	IP Throughput Availability (%) *	Receive time in Mode (%)
MCS15 (64QAM 0.83)	132.15	66.21	-18.29	0.0000	0.0000	-18.29	0.0000	0.0000
MCS14 (64QAM 0.75)	118.97	59.63	-12.29	0.0000	0.0000	-12.29	0.0000	0.0000
MCS13 (64QAM 0.67)	105.77	53.02	-9.29	0.0123	0.0123	-9.29	0.0123	0.0123
MCS12 (16QAM 0.75)	79.35	39.78	-5.29	2.6968	2.6845	-5.29	2.6968	2.6845
MCS11 (16QAM 0.5)	52.90	26.52	-2.29	15.2843	12.5875	-2.29	15.2843	12.5875
MCS10 (QPSK 0.75)	39.66	19.89	0.71	35.8112	20.5269	0.71	35.8112	20.5269
MCS9 (QPSK 0.5)	26.45	13.26	3.71	54.4767	18.6654	3.71	54.4767	18.6654
MCS7 (64QAM 0.83)	66.11	33.15	-15.29	0.0000	0.0000	-15.29	0.0000	0.0000
MCS6 (64QAM 0.75)	59.51	29.85	-10.29	0.0000	0.0000	-10.29	0.0000	0.0000
MCS5 (64QAM 0.67)	52.90	26.52	-7.29	0.0002	0.0002	-7.29	0.0002	0.0002
MCS4 (16QAM 0.75)	39.66	19.89	-3.29	0.8080	0.8078	-3.29	0.8080	0.8078
MCS3 (16QAM 0.5)	26.45	13.26	0.71	9.3990	8.5910	0.71	9.3990	8.5910
MCS2 (QPSK 0.75)	19.82	9.93	4.71	16.1097	6.7108	4.71	16.1097	6.7108
MCS1 (QPSK 0.5)	13.21	6.63	5.71	95.3660	24.7796	5.71	95.3660	24.7796

\* Multipath availability calculated using ITU-R P.530-17

## Anexo C. Código Arduino para los nodos sensores y Gateway LoRa

```
*****
```

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER UNIR MÁSTER EN INDUSTRIA 4.0 2022

Nombre : Lora\_Gateway

Autor : Hernán Samaniego Armijos

e-mail: : hsamaniego@komunicate.net

Proyecto : IIoT JAAP

Fecha : Febrero 2022

Estructura : sensores -> Nodo -> LoRa -> Gateway -WiFi-> MQTT broker

Placa : TTGO LoRa32 SX1276 OLED Nodo

Version : 1.0

```
******/
```

```
*****
```

\*\*\*\*\*LIBRERÍAS\*\*\*\*\*

```
******/
```

//LIBRERIAS

//Librerias para la pantalla OLED

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

//Librerias LoRa

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <LoRa.h>
```

//Libreria WiFi

```
#include <WiFi.h>
```

```
//Librería MQTT

##include <PubSubClient.h>

#include <MQTT.h>

/*********************DEFINICIONES*******************/

//Pines del transceiver LoRa

#define SCK 5      // GPIO5 -- SX1276's SCK
#define MISO 19    // GPIO19 -- SX1276's MISO
#define MOSI 27    // GPIO27 -- SX1276's MOSI
#define SS 18       // GPIO18 -- SX1276's radio chip select
#define RST 14     // GPIO14 -- SX1276's RESET
#define DIO0 26    // GPIO26 -- SX1276's IRQ(Interrupt Request)

//Bandas de frecuencia para LoRa

//433E6 for Asia
//866E6 for Europe
//915E6 for North America

#define BAND 866E6

//Pines de la pantalla OLED

#define OLED_SDA 4
#define OLED_SCL 15
#define OLED_RST 16

#define SCREEN_WIDTH 128 // Ancho de la pantalla OLED en pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // Altura de la pantalla OLED en pixels
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RST); // Activa la pantalla

/*********************OBJETOS*******************/

WiFiClient LoRa_Gateway;          // Inicializa el cliente WiFi para MQTT
MQTTClient client;                // Inicializa el cliente MQTT
```

```
*****
*****VARIABLES GLOBALES*****
*****/



String LoRaData;           //Paquete LoRa recibido
char msg[25];              //arreglo para convertir string de LoRa en char para publicar en MQTT
const char* mqtt_server = "io.adafruit.com"; //endpoint del broker MQTT
const char* topico = "JAAP/calidad/turbidez"; //tópico


// Credenciales del router WiFi
const char* ssid    = "KOMUNICATE"; //SSID del router WiFi
const char* password = "@072575232@"; //contraseña del WiFi


*****
*****FUNCIONES*****
*****



//Pantalla OLED
void setup_display() {
    //limpieza de la pantalla OLED via software
    pinMode(OLED_RST, OUTPUT);
    digitalWrite(OLED_RST, LOW);
    delay(20);
    digitalWrite(OLED_RST, HIGH);

    //inicializar la pantalla OLED
    Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { // Dirección 0x3C para 128x32
        Serial.println(F("Error de pantalla"));
        for(;); // Don't proceed, loop forever
    }
}
```

```
//Mostrar en pantalla
display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
display.print("GATEWAY LORA ");
display.display();
}

//Protocolo LoRa
void setup_LoRa() {
    //pines SPI LoRa
    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);

    //configuracion del transceiver LoRa
    LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println("sin conexión LoRa!");
        while (1);
    }
    //mostrar en pantalla
    Serial.println("LoRa OK!");
    display.setCursor(0,10);
    display.println("LoRa OK!");
    display.display();
}

// Protocolo WiFi
```

```
void setup_wifi() {
    Serial.print("Conectando a ");
    Serial.println(ssid);
```

```
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado!");

Serial.print("dirección IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

Serial.print("Dirección MAC: ");
Serial.println(WiFi.macAddress());

Serial.print("Máscara de Subred: ");
Serial.println(WiFi.subnetMask());

Serial.print("Gateway IP: ");
Serial.println(WiFi.gatewayIP());

Serial.print("DNS: ");
Serial.println(WiFi.dnsIP());

Serial.println("WiFi OK!");

display.setCursor(0,20);
display.println("WiFi OK!");

display.display();

}

void connectMQTT() {
    Serial.println("Conectando al broker MQTT");
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    Serial.println("MQTT OK!");
    display.setCursor(0,30);
    display.println("MQTT OK!");
    display.display();
}
```

```
// Reconectar el TTGO al broker MQTT

void reconnect() {
    // Repite hasta conectar
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Intentando conexión MQTT ...");
        // Intentando conectar
        if (client.connect("LoRa_Gateway", "hsamaniego", "aio_lvRP04s9iSUV6JL8gdIagbDQU5N8")) {
            Serial.println("conectado MQTT");
        } else {
            Serial.print("fallo de conexión MQTT, rc=");
            //Serial.print(client.state());
            Serial.println(" intentando nuevamente en 5 segundos");
            // Esperar 5 segundos antes de intentar
            delay(5000);
        }
    }
}

/*****
*****SETUP*****
*****/

void setup() {

    setup_display();          //configurar pantalla OLED
    Serial.begin(115200);     //inicializar monitor serial
    Serial.println("GATEWAY LORA"); //Mostrar en monitor serie
    setup_LoRa();             //connectar LoRa
    setup_wifi();              //conectar WiFi
    client.begin(mqtt_server, LoRa_Gateway); //configurar cliente MQTT
    connectMQTT();            //conectar MQTT
}

/*****
```

```
*****LOOP*****
```

```
*****/
```

```
void loop() {  
    // analizar el paquete LoRa recibido  
    int packetSize = LoRa.parsePacket();  
  
    if (packetSize) {  
        Serial.print("Paquete recibido ");  
  
        // leer el paquete LoRa  
        while (LoRa.available()) {  
            LoRaData = LoRa.readString();  
            Serial.print(LoRaData);  
        }  
  
        //RSSI del enlace  
        int rssi = LoRa.packetRssi();  
        Serial.print(" con RSSI ");  
        Serial.println(rssi);  
  
        //SNR del enlace  
        int snr = LoRa.packetSnr();  
        Serial.print(" y SNR ");  
        Serial.println(snr);  
  
        //publicar en MQTT  
        if (client.connected()){  
            LoRaData.toCharArray(msg,25);  
            Serial.print(" Publicando mensaje MQTT: ");  
            Serial.println(msg);  
            client.publish(topico, msg);  
        }  
    }  
}
```

```
client.loop(); //procesa cualquier mensaje que haya quedado en cola

// Mostrar información de pantalla OLED
display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.print("TFM UNIR 2022");
display.setCursor(0,20);
display.print("Paquete LoRa recibido.:");
display.setCursor(0,30);
display.print("Turbidez: " + LoRaData);
display.setCursor(0,40);
display.print("RSSI:");
display.setCursor(30,40);
display.print(rssi);
display.print(" dBm");
display.setCursor(0,50);
display.print("SNR:");
display.setCursor(30,50);
display.print(snr);
display.print(" dB");
display.display();

}

}
```

\*\*\*\*\*

## TRABAJO DE FIN DE MÁSTER UNIR MÁSTER EN INDUSTRIA 4.0 2022

Nombre : Nodo\_Sensor\_Turbidez

Autor : Hernán Samaniego Armijos

e-mail: : hsamaniego@komunicate.net

Proyecto : IIoT JAAP

Fecha : Febrero 2022

Estructura : sensor\_turbidez -> Nodo -> LoRa -> Gateway -WiFi-> MQTT broker

Placa : TTGO LoRa32 SX1276 OLED Nodo

Version : 1.0

\*\*\*\*\*\*/

\*\*\*\*\*

## \*\*\*\*\*LIBRERÍAS\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*\*/

//Librerias para LoRa

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <LoRa.h>
```

//Librerias para la pantalla OLED

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_GFX.h>
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

\*\*\*\*\*

## \*\*\*\*\*DEFINICIONES\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*\*/

//Pines usados por el transceiver LoRa

```
#define SCK 5      // GPIO5 -- SX1276's SCK
```

```
#define MISO 19    // GPIO19 -- SX1276's MISO
```

```
#define MOSI 27    // GPIO27 -- SX1276's MOSI
```

```
#define SS 18       // GPIO18 -- SX1276's radio chip select
```

```
#define RST 14     // GPIO14 -- SX1276's RESET
```

```
#define DIO0 26     // GPIO26 -- SX1276's IRQ(Interrupt Request)
```

```
//Banda de frecuencia para LoRa
//433E6 for Asia
//866E6 for Europe
//915E6 for North America
#define BAND 866E6

//Pines de la pantalla OLED
#define OLED_SDA 4
#define OLED_SCL 15
#define OLED_RST 16
#define SCREEN_WIDTH 128 // Ancho de la pantalla OLED en pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // Altura de la pantalla OLED en pixels
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RST);

/*********************VARIABLES GLOBALES********************/
const uint8_t sensor = 35;      //sensor de turbiedad conectado en el pin 35 GPIO con ADC
int turb = 0;                  //valor inicial de turbidez

/*********************FUNCIONES********************/
//Pantalla OLED
void setup_display() {
    //limpieza de la pantalla OLED via software
    pinMode(OLED_RST, OUTPUT);
    digitalWrite(OLED_RST, LOW);
    delay(20);
    digitalWrite(OLED_RST, HIGH);
```

```
//inicializar la pantalla OLED
Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);

if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c, false, false)) { // Dirección 0x3C para 128x32
    Serial.println(F("Error de pantalla"));

    //for(;;) // Don't proceed, loop forever
}

//Mostrar en pantalla
display.clearDisplay();
display.setTextColor(WHITE);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
display.print("NODO SENSOR ");
display.display();

}

void setup_LoRa() {
    //pines SPI LoRa
    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS);

    //configuracion del transceiver LoRa
    LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

    if (!LoRa.begin(BAND)) {
        Serial.println("sin conexión LoRa!");
        while (1);
    }
}

//mostrar en pantalla
Serial.println("LoRa OK!");
display.setCursor(0,10);
display.println("LoRa OK!");
display.display();

}
```

```
*****
*****SETUP*****
*****

void setup() {

    pinMode(sensor, INPUT);      //define el puerto del sensor como entrada

    setup_display();            //configurar pantalla OLED

    Serial.begin(115200);       //inicializar monitor serial

    Serial.println("NODO SENSOR"); //Mostrar en monitor serie

    SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS); //pines SPI LoRa

    setup_LoRa();               //connectar LoRa

}

*****LOOP*****
*****



void loop() {

    turb = analogRead(sensor);           // crea un objeto para medir el valor del sensor

    int turbidez = map(turb, 1300,2100, 100, 0); // mapea valor del sensor con NTU

    Serial.println(turb);                // Muestra el valor del sensor

    delay(500);

    //enviar paquete LoRa

    Serial.print("enviando turbidez: ");

    Serial.println(turbidez);

    LoRa.beginPacket();                //incia el paquete

    LoRa.print(turbidez);              //valor de turbidez

    LoRa.endPacket();                 //finaliza paquete

    // Mostrar información de pantalla OLED

    display.clearDisplay();

    display.setCursor(0,0);

    display.println("TFM UNIR 2080");

}
```

```
display.setCursor(0,20);
display.setTextSize(1);
display.print("Paquete LoRa enviado.");
display.setCursor(0,30);
display.print("Turbidez: ");
display.setCursor(60,30);
display.print(turbidez);
display.display();
delay(10000);
}
```