

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE
INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS UPAS DE LA REGIÓN SABANA
OCCIDENTE A PARTIR DE UNA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA SOSTENIBLE
BASADA EN UN PROTOTIPO DE SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO
“MÓDULO APLICACIÓN LOCAL”**

Juan Diego Pachón Poveda

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sistemas

Facatativá, abril 2024

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE
INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS UPAS DE LA REGIÓN SABANA
OCCIDENTE A PARTIR DE UNA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA SOSTENIBLE
BASADA EN UN PROTOTIPO DE SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO
“MÓDULO APLICACIÓN LOCAL”**

Juan Diego Pachón Poveda

Director: Ing. Jaime Eduardo Andrade Ramírez, Especialista en Ingeniería electrónica, Magister
en Sistemas Automáticos de Producción

GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS Y TECNOLOGÍA DE FACATATIVÁ
(GISTFA)

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sistemas

Facatativá, agosto de 2024

Dedicatoria

Con profunda gratitud y cariño, dedico este trabajo:

A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser el pilar fundamental en cada paso de mi camino académico. Su paciencia durante las largas noches de estudio y su fe inquebrantable en mis capacidades han sido mi mayor motivación.

A mis profesores y mentores de la universidad, quienes con sabiduría y dedicación compartieron su conocimiento y me inspiraron a buscar la excelencia. Sus enseñanzas van más allá de lo académico y han moldeado mi perspectiva profesional.

A mis compañeros de estudio, por los momentos compartidos, las discusiones enriquecedoras y el apoyo mutuo en los desafíos que enfrentamos. Las experiencias vividas juntos han forjado amistades que trascienden las aulas.

A todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron con su tiempo, consejo y experiencia en la realización de este proyecto. Sus aportes, grandes o pequeños, han sido invaluable.

Este trabajo representa no solo un logro personal, sino el resultado de una red de apoyo que me ha sostenido durante toda mi formación profesional.

Con sincero agradecimiento.

Agradecimiento

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a Dios por guiarme a lo largo de este camino académico, brindándome fortaleza, sabiduría y perseverancia para superar cada desafío.

Extiendo mi profunda gratitud al Ingeniero Jaime Andrade, director de este trabajo de grado, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación. Sus consejos certeros y su apoyo constante fueron fundamentales para llevar este proyecto a buen término.

A la Universidad Universidad de Cundinamarca especialmente a la Facultad de Ingeniería y al programa de Ingeniería de Sistemas, por proporcionarme una formación integral y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional. Cada docente que contribuyó a mi educación merece mi reconocimiento y admiración.

Agradezco especialmente a los evaluadores de este trabajo, quienes con sus observaciones y sugerencias enriquecieron significativamente el resultado final.

A mis compañeros de estudio, con quienes compartí innumerables horas de trabajo, debate y aprendizaje. Las experiencias vividas y los conocimientos intercambiados han sido invaluable para mi crecimiento personal y profesional.

A mi familia, mi más grande tesoro, por su amor incondicional, comprensión y apoyo. A mis padres, por inculcarme valores sólidos y enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi padre, madre y hermana, por su paciencia durante los largos días de estudio y trabajo, y por ser mi motivación constante.

Finalmente, a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo, mi sincero agradecimiento.

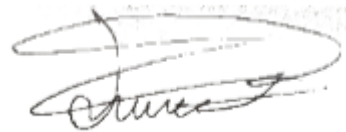
Este logro no es solo mío, sino de todos quienes formaron parte de este significativo proceso.

Compromiso del autor

Yo, Juan Diego Pachón Poveda con célula de identidad No.1073428394 y con cód. 461216150 estudiante del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca, declaro que:

El contenido del presente documento es un reflejo de mi trabajo personal y manifiesto que, ante cualquier notificación de plagio, copia o falta a la fuente original, soy responsable directo legal, económico y administrativo sin afectar al director del trabajo, a la Universidad y a cuantas instituciones hayan colaborado en dicho trabajo, asumiendo las consecuencias derivadas de tales prácticas.

Firma:



Resumen

En la región Sabana de Occidente, la falta de trazabilidad en los procesos productivos agrícolas y acuícolas tradicionales, genera con frecuencia pérdidas significativas en la producción debida a la ausencia de registros sistemáticos y monitoreo continuo de variables críticas. Es por ello, que en este trabajo se propuso desarrollar una aplicación de escritorio local para la gestión, registro y control de los procesos de producción de un prototipo de sistema acuapónico llamado LESTOMA (en la Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá), de tal manera que se tuviera una herramienta de software que facilitara la toma de decisiones informadas en sistemas acuapónicos, permitiendo intervenciones oportunas ante desviaciones en parámetros críticos y mejorando el uso de recursos como agua y energía, además de garantizar significativamente la supervivencia de organismos acuáticos y plantas en estos sistemas productivos integrados y sobre todo, servir como referente para ser escalada a otras unidades de producción. La aplicación fue desarrollada siguiendo la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar). Durante la fase inicial de concepción, se realizó un exhaustivo análisis de requerimientos que permitió identificar las variables críticas a monitorear, como temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, turbidez, nivel y otras referentes al entorno. En la etapa de diseño, se elaboraron diagramas UML, se modeló una base de datos relacional normalizada y se estructuró una arquitectura N-Capas que separa claramente las responsabilidades del sistema. se Implementó además un sistema de comunicación entre los dispositivos electrónicos (MTU-RTU) basado en serialización JSON, facilitando la integración eficiente entre hardware y software. La fase de implementación incluyó el desarrollo de un servicio en Python para capturar datos de los sensores, una API REST para su procesamiento y almacenamiento, y una interfaz gráfica en Windows Forms que permitió visualizar la información en tiempo real, generar alertas automáticas y elaborar reportes históricos personalizables. Finalmente, se logró la integración e implementación de los sistemas hardware y software en LESTOMA y se realizó el acompañamiento en muchas de las actividades de operación del laboratorio.

Abstract

In the Sabana de Occidente region, the lack of traceability in traditional agricultural and aquaculture production processes often generates significant losses in production due to the absence of systematic records and continuous monitoring of critical variables. For this reason, this work proposed the development of a local desktop application for the management, registration and control of the production processes of a prototype aquaponic system called LESTOMA (at the University of Cundinamarca, Facatativá extension), in order to have a software tool that would facilitate informed decision making in aquaponic systems, allowing timely interventions in case of deviations in critical parameters and improving the use of resources such as water and energy, in addition to significantly guaranteeing the survival of aquatic organisms and plants in these integrated production systems and, above all, serving as a reference to be scaled to other production units. The application was developed following the CDIO (Conceive, Design, Implement and Operate) methodology. During the initial conception phase, an exhaustive requirements analysis was conducted to identify the critical variables to be monitored, such as water temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity, level, and others related to the environment. In the design stage, UML diagrams were developed, a standardized relational database was modeled, and a standardized database was structured to monitor the water temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity, level, and other environmental variables.

Contenido

| | |
|--|----|
| Dedicatoria..... | 3 |
| Agradecimiento | 4 |
| Compromiso del autor | 5 |
| Resumen | 6 |
| Abstract..... | 7 |
| Índice de tablas | 11 |
| Índice de figuras | 12 |
| Introducción | 14 |
| I. Informe de investigación | 16 |
| 1.1 Estado del arte | 16 |
| 1.2 Línea de Investigación (Pendiente por confirmar) | 38 |
| 1.3 Planteamiento del problema y pregunta de investigación | 38 |
| 1.4 Objetivo general y objetivos específicos | 39 |
| 1.5 Alcance e impacto del proyecto | 40 |
| 1.6 Metodología | 41 |
| 1.7 Marcos de referencia | 43 |
| 1.8 Marco legal..... | 46 |
| 1.8.1 Normativa para sistemas acuapónicos y uso del agua | 46 |
| 1.8.2 Normativa para protección de datos y software | 48 |
| 1.8.3 Estándares técnicos aplicables..... | 48 |
| 1.8.4 Licencias de Tecnologías Utilizadas..... | 49 |
| II. Documentación del Software | 52 |
| 2.1 Plan de proyecto | 52 |
| 2.2 Determinar requerimiento..... | 53 |
| 2.2.1 Introducción..... | 53 |
| 2.2.1.2 Alcance..... | 54 |
| 2.2.2 Descripción General | 55 |
| 2.2.2.6 Requerimientos futuros | 58 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.2.3 | Requerimientos específicos..... | 59 |
| 2.2.3.1 | Interfaz usuario | 59 |
| 2.2.4 | Requisitos de rendimiento | 66 |
| 2.2.5 | Restricciones de diseño | 66 |
| 2.2.6 | Atributos del sistema | 66 |
| 2.2.7 | Requisitos no funcionales | 66 |
| 2.3 | ESPECIFICACIÓN DEL DISEÑO | 67 |
| 2.3.1 | Modelo entidad Relación | 67 |
| 2.3.1.1 | Diagramas de caso de uso | 69 |
| 2.3.2 | Diagramas de secuencia | 85 |
| 2.3.3 | Diagramas de Actividades | 90 |
| 2.4 | Casos de prueba | 95 |
| 2.5 | Estimación de recursos..... | 100 |
| 2.6 | Resultados | 102 |
| 2.6.2 | Caracterización del sistema acuapónico LESTOMA..... | 102 |
| 2.6.3 | Variables operativas del sistema acuapónico | 103 |
| 2.6.4 | Resultados del diseño del software | 104 |
| 2.6.5 | Modelo de datos..... | 108 |
| 2.6.6 | Solución: Modelo Más Escalable..... | 113 |
| 2.6.7 | Diseño de interfaces de usuario | 122 |
| 2.6.8 | Elementos de visualización de datos | 123 |
| 2.7 | Diseño de la integración hardware-software | 123 |
| 2.8 | Resultados de la construcción e implementación | 125 |
| 2.8.1 | Componentes de software desarrollados | 125 |
| 2.8.2 | Integración con hardware..... | 127 |
| 2.8.3 | Implementación de infraestructura virtualizada en PROXMOX | 133 |
| 2.8.4 | Base de datos..... | 137 |
| 2.9 | Asesorías y transferencia de conocimiento | 139 |
| 2.9.1 | Asesorías y validación con expertos | 139 |

| | | |
|--------|--|--------------------------------------|
| 2.9.2 | Asesorías metodológicas a grupos de investigación | 140 |
| 2.10 | Actividades complementarias y pruebas de campo | 143 |
| 2.10.1 | Pruebas iniciales con la estación meteorológica en la Unidad Agroambiental El Vergel | 143 |
| 2.10.2 | Introducción de truchas en la Finca La Reserva | 145 |
| 2.10.3 | Implementación y utilización de impresora 3D Ender | 147 |
| 2.10.4 | Divulgación científica y eventos académicos | 150 |
| 2.10.5 | Contribución a la construcción del Laboratorio LESTOMA | 152 |
| 2.11 | Conclusiones y recomendaciones..... | 154 |
| 2.12 | Bibliografía | 156 |
| 2.13 | Anexos | ¡Error! Marcador no definido. |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla 1 Definicion</i> | 54 |
| <i>Tabla 2 Funciones de la plataforma RF1</i> | 59 |
| <i>Tabla 3 Funciones de la plataforma RF2</i> | 60 |
| <i>Tabla 4 Funciones de la plataforma RF3</i> | 60 |
| <i>Tabla 5 Funciones de la plataforma RF4</i> | 61 |
| <i>Tabla 6 Funciones de la plataforma RF5</i> | 61 |
| <i>Tabla 7 Funciones de la plataforma RF6</i> | 61 |
| <i>Tabla 8 Funciones de la plataforma RF7</i> | 62 |
| <i>Tabla 9 Funciones de la plataforma RF8</i> | 62 |
| <i>Tabla 10 Funciones de la plataforma RF9</i> | 62 |
| <i>Tabla 11 Funciones de la plataforma RF10</i> | 63 |
| <i>Tabla 12 Funciones de la plataforma RF11</i> | 63 |
| <i>Tabla 13 Funciones de la plataforma RF12</i> | 64 |
| <i>Tabla 14 Funciones de la plataforma RF13</i> | 64 |
| <i>Tabla 15 Funciones de la plataforma RF14</i> | 65 |
| <i>Tabla 16 Funciones de la plataforma RF15</i> | 65 |
| <i>Tabla 17 Funciones de la plataforma RF17</i> | 65 |
| <i>Tabla 18 Integración Hardware</i> | 70 |
| <i>Tabla 19 Monitoreo de variables</i> | 71 |
| <i>Tabla 20 Notificaciones de alerta</i> | 73 |
| <i>Tabla 21 Actualización de perfil</i> | 75 |
| <i>Tabla 22 Reportes</i> | 77 |
| <i>Tabla 23 Inicio de sesión</i> | 78 |
| <i>Tabla 24 Activación o desactivación de actividades</i> | 80 |
| <i>Tabla 25 Auditoria</i> | 81 |
| <i>Tabla 26 Visualización de variables</i> | 83 |
| <i>Tabla 27. Descripción integración hardware</i> | 84 |
| <i>Tabla 28 Variables Críticas</i> | 103 |
| <i>Tabla 29 Comparativa</i> | 116 |
| <i>Tabla 30 Descripción dispositivos</i> | 130 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1 Plan del proyecto Fuente: Auto, (2022) | 52 |
| Figura 2 Plan del proyecto Fuente: Auto, (2022) | 53 |
| Figura 3 Plan del proyecto Fuente: Auto, (2022) | 53 |
| Figura 4 Diagrama MER | 68 |
| Figura 5 CU01 Datos en tiempo real | 69 |
| Figura 6 CU02 Monitoreo de variables | 71 |
| Figura 7 Notificación de alertas (AUTOR) | 72 |
| Figura 8 Actualización perfil (AUTOR) | 74 |
| Figura 9 Reportes (AUTOR) | 76 |
| Figura 10 Inicio de sesión (AUTOR) | 78 |
| Figura 11 Actividades (AUTOR) | 79 |
| Figura 12 Auditoria (AUTOR) | 81 |
| Figura 13 Visualización de variables | 82 |
| Figura 14 Integración Hardware (AUTOR) | 84 |
| Figura 15 DS Datos en tiempo real (AUTOR) | 86 |
| Figura 16 DS Monitoreo de variables (AUTOR) | 86 |
| Figura 17 DS Notificaciones (AUTOR) | 87 |
| Figura 18 DS Reportes (AUTOR) | 87 |
| Figura 19 DS Inicio de sesión (AUTOR) | 88 |
| Figura 20 DS Modificar Actividades (AUTOR) | 88 |
| Figura 21 DS Auditoria (AUTOR) | 89 |
| Figura 22 DS Grafica de datos (AUTOR) | 89 |
| Figura 23 DS integración Hardware (AUTOR) | 90 |
| Figura 24 DA01 Datos en tiempo real | 90 |
| Figura 25 DA02 Envío de datos | 91 |
| Figura 26 DA03 Inicio de sesión | 91 |
| Figura 27 DA04 Notificación de alertas | 92 |
| Figura 28 DA05 Actualización de datos | 92 |
| Figura 29 DA06 Generar reportes | 93 |
| Figura 30 DA07 Control de actividades | 94 |
| Figura 31 DA08 Integración con Hardware | 95 |
| Figura 32 Modelo de Negocio (Super administrador 2023) | 105 |
| Figura 33 Flujo de datos (Jaime Andrade) | 107 |
| Figura 34 Modelo relacional obsoleto (AUTOR) | 108 |
| Figura 35 Ejemplo de código problemático | 110 |
| Figura 36 Ejemplo de código | 111 |
| Figura 37 Consulta BD | 112 |
| Figura 38 Nuevo modelo | 113 |
| Figura 39 Unificación de mediciones | 114 |
| Figura 40 Gestión de estados y eventos | 115 |
| Figura 41 Mantenimiento y evolución | 116 |
| Figura 42 Modelo relacional (AUTOR) | 118 |
| Figura 43 Mockups (AUTOR) | 122 |
| Figura 44 JSON comunicación serial (AUTOR) | 124 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 45 Comunicación MTU y RTU (PROGRAMARFACIL.COM)</i> | 127 |
| <i>Figura 46 RTU Estación Meteorológica (Foto autor)</i> | 128 |
| <i>Figura 47 DF MTU</i> | 129 |
| <i>Figura 48 DF RTU</i> | 129 |
| <i>Figura 49 Diagrama de conexión eléctrica (AUTOR)</i> | 132 |
| <i>Figura 50 Plano de conexión solar (AUTOR)</i> | 132 |
| <i>Figura 51 Foto sistema eléctrico (FOTO LESTOMA)</i> | 133 |
| <i>Figura 52 Diagrama de red LESTOMA (AUTOR)</i> | 135 |
| <i>Figura 53 Interfaz PROXMOX (CAPTURACIÓN DE PANTALLA)</i> | 136 |
| <i>Figura 54 Interfaz de Máquina Virtual (CAPTURACIÓN DE PANTALLA)</i> | 137 |
| <i>Figura 55 Implementación de base de datos (autor)</i> | 138 |
| <i>Figura 56 Web LESTOMA (AUTOR)</i> | 139 |
| <i>Figura 57. Asesoría API</i> | 140 |
| <i>Figura 58. Asesoría base de datos (AUTOR)</i> | 141 |
| <i>Figura 59 Asesoría con tutor (AUTOR)</i> | 142 |
| <i>Figura 60 Instalación de estación meteorológica (FOTO AUTOR)</i> | 144 |
| <i>Figura 61 Instalación de estación meteorológica (FOTO AUTOR)</i> | 144 |
| <i>Figura 62 Interfase hecha en LabVIEW (Jaime Andrade)</i> | 145 |
| <i>Figura 63 Temperatura del agua (AUTOR)</i> | 146 |
| <i>Figura 64. Truchas en estanque (Foto Autor)</i> | 147 |
| <i>Figura 65. Piezas impresoras (Foto autor)</i> | 148 |
| <i>Figura 66. Armado de impresora 3d (Foto archivo)</i> | 149 |
| <i>Figura 67. Impresión de piezas (foto autor)</i> | 150 |
| <i>Figura 68. Certificación de participación (ESCAR)</i> | 151 |
| <i>Figura 69. Certificado de participación (ESUFA)</i> | 152 |
| <i>Figura 70 Construcción laboratorio</i> | 153 |

Introducción

El panorama agrícola global enfrenta desafíos sin precedentes en el siglo XXI, donde la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la optimización de recursos han pasado a ser prioridades fundamentales para el desarrollo regional. En este contexto, la región de Cundinamarca, y particularmente Facatativá, se posiciona como un territorio con gran potencial para implementar tecnologías innovadoras que transformen los sistemas productivos tradicionales hacia modelos más eficientes y sostenibles.

El presente proyecto de investigación surge como respuesta a las problemáticas identificadas en la producción agropecuaria de la región Sabana Occidente, donde la falta de trazabilidad, registro y control de variables críticas en sistemas productivos como la acuaponía resulta en pérdidas significativas. Esta investigación se alinea con las políticas institucionales de la Universidad de Cundinamarca en materia de ciencia, tecnología e innovación, así como con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con aquellos relacionados con la seguridad alimentaria, la gestión sostenible del agua y la innovación en infraestructura. El desarrollo de esta aplicación local constituye un paso significativo hacia la transformación tecnológica del sector agropecuario en la región Sabana Occidente, contribuyendo a su competitividad y sostenibilidad.

Específicamente, el proyecto aborda el desarrollo de una aplicación de escritorio local para la gestión del sistema acuapónico LESTOMA, establecido en la Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá. La investigación se ha estructurado siguiendo la estrategia CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), un enfoque que ha demostrado su eficacia en el desarrollo de soluciones tecnológicas complejas. El objetivo principal es diseñar e implementar una aplicación que permita monitorear y controlar en tiempo real las variables críticas del sistema acuapónico, como temperatura, pH y oxígeno disuelto, facilitando intervenciones oportunas que reduzcan la mortalidad de organismos y optimicen el uso de recursos. La acuaponía, como sistema que integra la acuicultura con la hidroponía, ofrece un modelo productivo sostenible que optimiza el uso del agua y reduce la necesidad de insumos externos. Sin embargo, su implementación efectiva en la región de Facatativá

enfrenta limitaciones significativas, entre ellas la ausencia de herramientas tecnológicas para el monitoreo preciso y continuo de las variables críticas que determinan la salud del ecosistema acuapónico. La solución tecnológica propuesta integra hardware especializado (sensores y actuadores) con un software de gestión que permite no solo registrar y visualizar datos en tiempo real, sino también generar alertas ante desviaciones significativas de los parámetros óptimos y facilitar la toma de decisiones informadas. El desarrollo se ha realizado considerando los requerimientos específicos del laboratorio LESTOMA y las características particulares de los sistemas acuapónicos implementados.

Este documento se estructura en seis secciones principales. Tras este apartado introductorio, el capítulo 3 presenta el marco teórico que fundamenta los conceptos de acuicultura, sistemas acuapónicos y monitoreo de sistemas. El capítulo 4 detalla la metodología empleada, describiendo el enfoque metodológico, la arquitectura del software, las fases del proyecto y las herramientas utilizadas. El capítulo 5 expone los resultados obtenidos, incluyendo los hallazgos del análisis de requerimientos, el diseño del software, la construcción e implementación, así como las actividades complementarias realizadas. Finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones del proyecto, resaltando las lecciones aprendidas y las perspectivas futuras.

I. Informe de investigación

1.1 Estado del arte

La agricultura es la columna vertebral de la economía para la mayoría de los países en desarrollo. La mayoría de estos países sufren de una producción agrícola insuficiente. La disponibilidad de información en tiempo real, confiable y específica de la granja puede contribuir significativamente a una producción más suficiente y sostenida. Por lo general, dicha información suele estar fragmentada y, a menudo, encaja individualmente con la finca o la parcela de la finca. Las herramientas de recopilación y difusión de datos automatizadas, precisas y asequibles son vitales para llevar dicha información a estos niveles. Las herramientas deben abordar los detalles de la variabilidad espacial y temporal. El Internet de las cosas (IoT) y las redes de sensores inalámbricos (WSN) son tecnologías útiles en este sentido. Este documento investiga la usabilidad de IoT y WSN para aplicaciones de agricultura en pequeña escala. Se llevó a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo en profundidad del trabajo relevante durante la última década. Exploramos el tipo y el propósito de los parámetros agrícolas, estudiamos y describimos los recursos disponibles, las habilidades necesarias y los requisitos tecnológicos que permiten el despliegue sostenido de la tecnología IoT y WSN. Nuestros hallazgos revelan brechas significativas en la utilización de la tecnología en el contexto de las prácticas agrícolas de los pequeños propietarios causadas por barreras sociales, económicas, tecnológicas y de infraestructura. También identificamos una importante oportunidad futura para diseñar e implementar herramientas y marcos de adquisición de datos asequibles y confiables, con una posible integración de la ciencia ciudadana. (Zelalem et al., 2022)

El crecimiento de la población mundial junto con la disminución de los recursos naturales, las tierras de cultivo y el aumento de las condiciones ambientales impredecibles conduce a que la seguridad alimentaria se esté convirtiendo en una preocupación importante para todas las naciones del mundo. Estos problemas son los motivadores que están impulsando a la industria agrícola a hacer la transición a la agricultura inteligente con la aplicación de Internet de las cosas (IoT) y soluciones de big data para mejorar la eficiencia operativa y la productividad. El IoT integra una serie de soluciones y tecnologías de vanguardia existentes, como redes de

sensores inalámbricos, redes ad hoc de radio cognitiva, computación en la nube, big data y aplicaciones de usuario final. Este estudio presenta una encuesta de soluciones de IoT y demuestra cómo se puede integrar IoT en el sector de la agricultura inteligente. Para lograr este objetivo, discutimos la visión de los ecosistemas de agricultura inteligente habilitados para IoT mediante la evaluación de su arquitectura (dispositivos IoT, tecnologías de comunicación, almacenamiento y procesamiento de big data), sus aplicaciones y el cronograma de investigación. Además, discutimos las tendencias y oportunidades de las aplicaciones de IoT para la agricultura inteligente y también indicamos los problemas abiertos y los desafíos de la aplicación de IoT en la agricultura inteligente. Esperamos que los hallazgos de este estudio constituyan lineamientos importantes en la investigación y promoción de soluciones IoT con el objetivo de mejorar la productividad y la calidad del sector agrícola, así como facilitar la transición hacia un futuro entorno sostenible con un enfoque agroecológico. (Quy et al., 2022)

La agricultura juega un papel importante en los aspectos económicos en la mayoría de los países como India. Numerosos problemas asociados a la agricultura están afectando continuamente las acciones que se están dando en el país. Una solución potencial para la erradicación de tales problemas, se deben combinar los avances tecnológicos con las prácticas agrícolas actuales en curso. Las buenas prácticas agrícolas aumentarán la productividad de los cultivos y reducirán el uso no deseado de agua. Muchos autores han realizado investigaciones sobre sistemas controlados por temperatura, nutrición y pH. Pero nadie se concentró en los mensajes de alerta enviados al teléfono móvil. El objetivo principal del sistema propuesto mide varios aspectos naturales que utilizan un módulo de sistema global para comunicación móvil (GSM) que está conectado a un Arduino para transferir los datos que obtienen los sensores a una interfaz de programación de aplicaciones de Internet de las cosas (IoT). (API), que es un tipo de computación en la nube de los datos obtenidos, estos datos se pueden analizar si es necesario, y se envía un servicio de mensajes cortos (SMS) de alerta al teléfono celular/teléfono móvil. El mensaje de alerta se puede realizar mediante inteligencia artificial conversacional (CAI). Es el conjunto de tecnologías detrás de la activación del mensaje que se enviará automáticamente al móvil como un SMS si alguno de los valores del sensor que se están generando no está por debajo de los valores de umbral ya especificados. (Edwin et al., 2022)

Este trabajo desarrolla un sistema de monitoreo ambiental distribuido para la combinación de hidroponía y acuicultura basado en la tecnología de internet de las cosas, que incluye principalmente la capa de percepción de información, la capa de transmisión de información y la arquitectura del sistema. El sistema ha empleado múltiples terminales de sensores para la adquisición en tiempo real, incluidas las temperaturas del aire y del agua, el oxígeno disuelto, etc. El protocolo LoRa es adecuado para enviar datos pequeños y se empleó 4G para recopilar datos y enviarlos a la plataforma en la nube. Java se utiliza para desarrollar aplicaciones en segundo plano, para acceder a plataformas en la nube y procesamiento de datos locales. Sobre la base de la recopilación y el procesamiento de datos ambientales y la plataforma de servicios en la nube, se han desarrollado el cliente del programa de aplicaciones móviles y el escritorio de inicio de sesión remoto. Se implementó y probó en Tongzhou, Beijing durante 3 meses en 2020. Los resultados mostraron la estabilidad del sistema de monitoreo propuesto para la operación general y la transmisión de datos de precisión, que puede respaldar la gestión real de la producción hidropónica y acuícola. Después del análisis de los datos de monitoreo recopilados del sistema de monitoreo desarrollado, la temperatura del aire y del agua en interiores tiene una correlación obvia con la presión atmosférica (0,7 y 0,9) y la temperatura exterior (1,0 y 0,9), respectivamente.(Zhang et al., 2022)

La hidroponía es una de las soluciones de los métodos de jardinería que utilizan el agua como medio de nutrición. Por lo general, mantener la calidad de las plantas hidropónicas y los nutrientes del agua se realiza manualmente y requiere esfuerzos humanos, como el grado de acidez o humedad (pH), TDS (sólidos disueltos totales) y la temperatura de los nutrientes. Con la tecnología de Internet de las cosas, podemos automatizar el control hidropónico midiendo los valores de TDS, pH y temperatura de los nutrientes y controlando la nutrición del agua mediante las necesidades de nutrición de la bomba para las plantas hidropónicas. Esta investigación utiliza la NFT (Nutrient Film Technique) para el sistema hidropónico y utiliza la lechuga como parámetro de nutrición. Los parámetros de la lechuga son pH, TDS y temperatura del agua iguales al sensor que usamos en el sistema IoT propuesto. La condición tiene 27 clasificaciones, y usamos esta clasificación como referencia en la toma de decisiones,

utilizando el algoritmo K-Nearest Neighbor (KNN) para activar el actuador. Mejoramos el actuador simultáneo de investigaciones anteriores con intervalos y duración específicos para lograr condiciones nutricionales ideales. La otra mejora es que recopilamos más datos y más tiempos de prueba. La precisión fue del 91,2 %, con $k = 3$. A partir de los resultados de la evaluación, la precisión de KNN es bastante alta y tiene una ventaja, que tiene mejor precisión que los otros algoritmos y puede activar el actuador simultáneamente. Concluimos que el sistema de automatización de nutrientes hidropónicos que utiliza el método de Internet de las Cosas está listo para el uso de plantación real con esta mejora. (Adidrana et al., 2022)

Internet de las cosas (IoT) es una tecnología que está creciendo rápidamente, el futuro de IoT es ilimitado ya que los flujos de datos se han cuadruplicado a lo largo de los años. Los mercados futuros van a pasar de las técnicas tradicionales de procesamiento de datos a Big Data Analytics y Cloud Computing, ya que las empresas de todo el mundo están cambiando a enfoques de trabajo basados en la nube, lo que se vio impulsado en gran medida por la pandemia de Covid-19. Se sabe que los peces son muy sensibles al medio ambiente, por lo que requieren el cuidado y la atención adecuados por parte de sus dueños. Muchas veces se olvidan de alimentar a los peces, cambiar el agua, verificar los niveles de pH, etc. Estos problemas parecen simples, pero cuando se trata de rastrear cientos de peces puede ser difícil, estos problemas se pueden resolver fácilmente mediante el uso de IoT. Es necesario un sistema IoT que pueda ser muy beneficioso para acuarios de pequeña a gran escala, p. Acuario de Dubái (donde se monitorean constantemente cientos de peces). El sistema se puede utilizar para crear las condiciones ideales requeridas para un alto rendimiento. El sector de la acuicultura va a desempeñar un papel crucial en la economía futura, ya que los peces escasean en todo el mundo. Se deben tomar medidas para agilizar los procesos y aumentar la eficiencia al mismo tiempo que se mejora la salud de los peces. Los acuarios basados en IoT pueden salvar la vida silvestre del océano mediante la construcción de sistemas confiables que sean capaces de procesar datos en tiempo real. Se pueden construir tanques masivos para especies en peligro de extinción en lugares remotos, aumentando aún más la biodiversidad y construyendo un ecosistema equilibrado. Los peces más grandes se pueden monitorear usando tecnologías como RFID, transmisores, etc., ya que puede ser difícil monitorearlos en tanques grandes. Los datos

recibidos de los sensores pueden almacenarse en alguna plataforma en la nube y analizarse para predicciones futuras y almacenamiento redundante, todo tipo de dispositivos inteligentes pueden comunicarse entre sí independientemente del hardware y el sistema operativo utilizado. El dispositivo de monitoreo de acuarios basado en IoT es capaz de capturar los niveles de agua dentro del acuario y notifica al usuario por correo electrónico cuando está bajo. Puede encender/apagar las luces del acuario, controlar el uso del alimentador automático y registrar las lecturas de temperatura y humedad de la habitación con la ayuda de tecnologías AWS. El comedero para peces lo controla el usuario mediante una aplicación de voz o una interfaz web/aplicación. Los parámetros utilizados en este proyecto son la temperatura ambiente, la humedad, el nivel del agua, el estado del LED y el estado del alimentador. La adquisición del sensor se realiza mediante ESP-32, también se utiliza como dispositivo de procesamiento de datos y como servidor/controlador local. El usuario puede monitorear las condiciones del acuario de forma local o remota desde cualquier parte del mundo siempre que tenga una conexión a Internet, ya que los datos se procesan a través de AWS Lambda, se almacenan en DynamoDB y se alojan en la API de AWS.(Kodali & Sabu, 2022)

Raspberry Pi es una de las placas de creación de prototipos electrónicos más populares que se utilizan para crear prototipos de aplicaciones como el hogar, la industria, la investigación, la agricultura, etc. Este documento proporciona un resumen de la adopción de Raspberry Pi en la agricultura para ayudar a los investigadores en su trabajo de detección remota, control y automatización. Las pruebas de calidad del suelo, la selección de cultivos, la fertilidad del suelo y la detección de la productividad, el control del clima, la detección del rendimiento de los cultivos, el control del crecimiento de las plantas y la pulverización automática de fertilizantes y pesticidas son algunas de las aplicaciones de Raspberry Pi que van desde soluciones simples hasta dispositivos personalizados dedicados. La atención se centró en diferentes aplicaciones agrícolas en las que se recopila y procesa información para brindar asesoramiento a los agricultores para que tomen las decisiones correctas en el momento adecuado con un gasto óptimo. También se presentan los desafíos de investigación, las limitaciones y las tendencias futuras asociadas con el desarrollo de aplicaciones automatizadas utilizando Raspberry Pi.(Ellison Mathe et al., 2022)

Esta investigación propone mejorar el entorno del acuario para el cultivo de peces ornamentales para pequeñas empresas que crían peces ornamentales para la venta durante la pandemia de COVID-19 con un sistema de acuario automático capaz de pronosticar el entorno óptimo para los peces utilizando la red neuronal de perceptrón multicapa. Dado que la cantidad de datos recopilados era limitada, también se empleó para ajustar el conjunto de datos desequilibrados mediante la aplicación de la técnica de sobre muestreo de minorías sintéticas para aumentar la precisión del pronóstico. Posteriormente, el sistema desarrollado se basa en dispositivos de Internet de las Cosas en conjunto con sensores para medir los indicadores que afectan el ambiente del acuario, incluyendo temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, potencial de iones de hidrógeno, oxígeno disuelto e iones de nitrato. Además, se desarrolló la aplicación móvil y se colaboró con sensores y dispositivos para facilitar a los empresarios el seguimiento y control de este sistema automático. Los resultados mostraron que la precisión del modelo de pronóstico del entorno acuático desarrollado fue del 97,31 % y proporcionó el nivel más alto de eficiencia de automatización. Por lo tanto, el sistema de acuario automatizado desarrollado podría aplicarse para reducir la mortalidad de los peces y mantener las condiciones ambientales para crecer adecuadamente durante la vida útil de los peces.(Nuanmeesri & Poomhira, 2022)

Cuando el Internet de las Cosas se aplica al hogar, transforma un hogar simple en un hogar inteligente, más seguro y automatizado. El objetivo de este documento es crear una aplicación para el hogar controlada por voz/texto que permita a los usuarios operar sus electrodomésticos desde lejos. Los usuarios pueden simplemente enviar comandos de voz o mensajes de texto para encender o apagar los electrodomésticos según sus necesidades. Cuando los usuarios no están físicamente presentes en el área, pueden programar el estado del equipo. También se les dará información sobre horarios pasados y podrán encender los electrodomésticos durante un período de tiempo determinado. Para las funcionalidades de la aplicación que se integra con un dispositivo IoT se emplea la Tecnología Node-RED (NodeMCU). La cuenta de flujo de diálogo es donde se implementa esta aplicación desarrollada. El NodeMCU está vinculado a electrodomésticos comunes. El NodeMCU controla los electrodomésticos en función de los

parámetros que recibe de la nube. Debido a que se utiliza tecnología de alto rendimiento y bajo costo, los costos de implementación de la aplicación son muy bajos. Este programa es extremadamente confiable y eficiente para personas mayores y con capacidades diferentes que no pueden alcanzar el interruptor para encender o apagar el dispositivo. (Kaiborta & Samal, 2022)

Actualmente, la evaluación de la calidad del agua se basa en procedimientos de laboratorio costosos y que requieren mucho tiempo, y en el despliegue de numerosos sensores fisicoquímicos costosos. En respuesta a la tendencia de minimización de dispositivos y reducción de gastos en el monitoreo acuapónico sostenible del agua, en este documento se presenta la integración de la acuaponía y la inteligencia computacional. Este estudio utilizó la combinación de sensores de temperatura, pH y conductividad eléctrica para predecir la concentración de macronutrientes primarios en el crecimiento del cultivo (nitrato, fosfato y potasio (NPK)), lo que limitó la cantidad de sensores desplegados. Se alteró la temperatura de un total de 220 muestras de agua recolectadas de un estanque acuapónico artificial al aire libre de 16 a 36 °C con incrementos de 2 °C para imitar el rango ambiental, que varía la estructura de composición del agua. Se aplicó acuaponía en regiones espectrales de ultravioleta, luz visible e infrarrojo cercano, de 100 a 1 000 nm, para determinar los compuestos NPK. El análisis de componentes principales enfatizó la dinámica de los nutrientes a través de la selección de bandas de absorción de agua altamente correlacionadas que dieron como resultado 250 nm, 840 nm y 765 nm para nitrato, fosfato y potasio, respectivamente. Estas bandas de agua activada se utilizaron como protocolos de longitud de onda para medir espectrofotométricamente las concentraciones de macronutrientes. Los experimentos han demostrado que la programación genética de regresión simbólica multigénica (MSRGP) obtuvo el rendimiento óptimo en la parametrización y predicción de las concentraciones de nitrato, fosfato y potasio en función de las propiedades físicas del agua con una precisión del 87,63 %, 88,73 % y 99,91 %, respectivamente. Los resultados han mostrado que el mapa de dinámica de nutrientes de 4 dimensiones establecido revela que la temperatura fortalece significativamente el nitrato y el potasio por encima de los 30 °C y el fosfato por debajo de los 25 °C con un pH y una conductividad eléctrica que oscilan entre 7 y 8 y entre 0,1 y 0,2 mS

cm⁻¹, respectivamente. Este enfoque novedoso de desarrollar un modelo de estimación fisicoquímico predijo las concentraciones de macronutrientes en tiempo real utilizando sensores limnológicos físicos con una reducción del 50 % del consumo de energía. Este mismo enfoque puede extenderse para medir macronutrientes y micronutrientes secundarios.(Concepcion II et al., 2022)

Con la riqueza cada vez mayor de los recursos sociales, la cantidad de dispositivos que utilizan Internet de las cosas también está aumentando. Actualmente, muchas personas tienen mascotas como peces en sus hogares y deben cuidarse con cuidado. En particular, es necesario crear un ambiente seguro y cómodo para ellos y mantener este ambiente continuamente. Un entorno adverso puede afectar el crecimiento de los peces e incluso provocar su muerte. Este estudio utilizó el módulo LinkIt 7697 y el editor BlocklyDuino para producir un sistema de control para un acuario inteligente. El propósito de este sistema es monitorear la temperatura, la intensidad de la luz y el nivel del agua en un acuario, así como alertar sobre la presencia de intrusos; por lo tanto, se utilizan módulos de detección de temperatura, luz, ultrasonidos e infrarrojos. El sistema ha establecido umbrales ambientales del acuario y procesa las señales obtenidas por los sensores para controlar y optimizar las salidas a las cargas mediante cálculos de fusión de datos para que el acuario tenga el ambiente más cómodo para los peces. También se incluye un alimentador automático en el sistema, y este utiliza un servomotor. Los datos del sistema se cargan en una computadora de back-end a través del sistema Wi-Fi integrado del módulo LinkIt 7697. La plataforma Cloud Sandbox se utiliza para mostrar los resultados en tiempo real, logrando el propósito de monitoreo remoto de la red.(Sung et al., 2022)

Hoy en día, las tecnologías de red se están desarrollando muy rápidamente. El creciente volumen de información transmitida (video, datos, VoIP, etc.), el crecimiento físico de las redes y el tráfico entre redes están obligando a los fabricantes a producir dispositivos más potentes e "inteligentes" que utilizan nuevos métodos de transferencia y clasificación de datos. Dichos dispositivos inteligentes conectados (IoT) se utilizan en el tráfico controlado de forma inteligente para vehículos autónomos en Vehicle Adhoc Networks (VANET), en electricidad y agua en ciudades inteligentes y en la automatización del hogar en hogares inteligentes. Estos

tipos de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) conectados se utilizan para aprovechar diferentes tipos de estructuras de red. Dichos dispositivos de sensores IoT se pueden implementar como una red de sensores inalámbricos (WSN) en una topología de malla. Tanto las WSN como las redes inalámbricas en malla (WMN) son fáciles de organizar y de implementar. En este caso, hay muchas razones para combinar estos diferentes tipos de redes. En particular, las capacidades sensoriales detalladas de las redes de sensores pueden mejorarse aumentando el ancho de banda, la confiabilidad y el consumo de energía en la topología de malla. Sin embargo, actualmente solo hay un puñado de estudios dedicados a integrar estos dos tipos diferentes de redes. Además, no existe una revisión sistemática de los métodos de interconexión existentes. Es por eso que en este artículo exploramos los métodos existentes de estas dos redes y brindamos una base analítica para su relación. Presentamos la definición de WSN y WMN y luego analizamos algunos casos de estudio. Luego, presentamos varios desafíos y oportunidades en el área de la red de sensores de malla inalámbrica combinada (WMSN), seguidos de una discusión sobre esta interconexión a través de una revisión de la literatura y esperamos que este documento atraiga la atención de la comunidad e inspire más investigaciones en esta dirección.(Nurlan et al., 2022)

Hoy en día, los dispositivos de Internet industrial de las cosas (IIoT) se utilizan con mucha frecuencia para recopilar datos del proceso de fabricación. La integración de datos industriales está siendo promovida cada vez más por Open Platform Communications United Architecture (OPC UA). Sin embargo, los dispositivos IIoT disponibles están limitados por las características que brindan; por ello, decidimos diseñar un dispositivo IIoT aprovechando las ventajas derivadas de OPC UA. El procedimiento de diseño se basó en la creación de secuencias de pasos que dieron como resultado un flujo de trabajo que se transformó en un modelo de máquina de estados finitos (FSM). El modelo FSM se transformó en un objeto OPC UA, que se implementó en el IIoT propuesto. El objeto OPC UA permite monitorear eventos y proporcionar información importante según los criterios de un cliente. El resultado fue el diseño y la implementación de un dispositivo IIoT que proporciona un mejor monitoreo y adquisición de datos, lo que permite un mejor control del proceso de fabricación.(Vaclavova et al., 2022)

Con cada año que pasa, hay un aumento exponencial de la población humana. Debido a esto, el desafío de no tener suficiente tierra cultivable se está convirtiendo en un problema creciente. También se pronostica que la mayoría de la población mundial que actualmente vive en áreas rurales se habrá mudado a ciudades urbanas. Esto conducirá a un aumento de la urbanización y una mayor reducción de las tierras cultivables para fines agrícolas. Como solución a estos problemas, este artículo propone la idea de cultivo vertical e hidroponía en específico. La hidroponía usa una fracción del espacio requerido para la agricultura tradicional, usa un 90% menos de agua y puede cosechar productos prácticamente orgánicos durante todo el año. Este artículo revisa el proceso de agricultura vertical, sus beneficios y sus diferentes tipos. Se ha sugerido una metodología detallada que se puede adoptar para crear un sistema hidropónico. En este documento, la lechuga, la albahaca y la col rizada se han utilizado como ejemplos principales.(Edwin et al., 2022)

El Internet de las cosas (IoT) es un paradigma en evolución que busca conectar diferentes componentes físicos inteligentes para la modernización de múltiples dominios. Para administrar y rastrear automáticamente las tierras agrícolas con una mínima intervención humana, se han introducido numerosos marcos basados en IoT. Este documento presenta una discusión rigurosa sobre los componentes principales, las nuevas tecnologías, los problemas de seguridad, los desafíos y las tendencias futuras involucradas en el dominio de la agricultura. En este documento se ha cubierto un informe detallado sobre los avances recientes. El objetivo de esta encuesta es ayudar a los investigadores potenciales a detectar problemas relevantes de IoT y, en función de los requisitos de la aplicación, adoptar tecnologías adecuadas. Además, se destacó la importancia de IoT y Data Analytics para la agricultura inteligente.(Sinha & Dhanalakshmi, 2022)

A medida que la población mundial continúa aumentando, varios desafíos, entre los que se encuentran la variación climática, la degradación del suelo y la escasez de agua, continúan afectando la productividad agrícola. Estos desafíos dan lugar a la falta de acceso a fuentes de

agua para diferentes actividades, como el riego de vegetales con el cultivo de peces, lo que impacta negativamente en la seguridad alimentaria. La solución a este último se puede proporcionar a través de la acuaponía. Este artículo propone un sistema de acuaponía que ahorra agua a través de la circulación y la utilización del amoníaco liberado por los peces para producir minerales como nitritos y nitratos para plantas en un tanque de acuario. El sistema utiliza sensores, actuadores y microcontroladores para monitorear y controlar la calidad del agua. Los sensores se utilizan para recopilar datos y los datos se transmiten con la ayuda de un módulo Wi-Fi a una plataforma en la nube de IoT llamada Thingspeak y se aplican actuadores para resolver las anomalías detectadas por el sensor. Los resultados experimentales muestran que la calidad y la circulación del agua estaban bien conservadas. Estos se presentan en este documento a través de análisis de regresión lineal y gráficos de R-cuadrado que mostraron una fuerte relación entre los días y la altura de la planta, así como el peso de los peces. El sistema reduce el desperdicio de agua y aumenta el rendimiento de la acuaponía. (Ntulo et al., 2021)

La acuaponía es un sistema de cultivo mutuamente beneficioso en el que el agua de la pecera se puede utilizar como nutriente y fertilizante para el crecimiento de las plantas. En la práctica, el propietario del sistema acuapónico debe realizar un control estricto del agua, como el volumen del agua, el valor de pH, el valor de TDS y la humedad para mantener la sostenibilidad de la vida de los peces y la planta. Se puede proponer Internet de las cosas (IoT) para ayudar en ese proceso. En esta investigación, se construye un prototipo basado en IoT para ayudar al propietario del sistema acuapónico a monitorear el sistema acuapónico y realizar ajustes de pH y humedad, llenado de agua y configuración de la bomba de agua y aire automáticamente. El propietario también puede monitorear este sistema en cualquier lugar con la ayuda de la plataforma web y el chatbot de Telegram. Los resultados son sensores DHT22, DS18B20, HC-SR04, pH y TDS que han podido recopilar datos con bastante precisión, luego los procesa el dispositivo Raspberry Pi para ejecutar el proceso de automatización y luego los envía al servidor web para almacenarlos. Aparecerá una notificación de telegrama cuando los datos superen el umbral. El sitio web creado también ha logrado mostrar datos y cambiar los valores de los parámetros. (Wijayanto et al., 2021)

La agricultura es la columna vertebral de la economía para la mayoría de los países en desarrollo. La mayoría de estos países sufren de una producción agrícola insuficiente. La disponibilidad de información en tiempo real, confiable y específica de la granja puede contribuir significativamente a una producción más suficiente y sostenida. Por lo general, dicha información suele estar fragmentada y, a menudo, encaja individualmente con la finca o la parcela de la finca. Las herramientas de recopilación y difusión de datos automatizadas, precisas y asequibles son vitales para llevar dicha información a estos niveles. Las herramientas deben abordar los detalles de la variabilidad espacial y temporal. El Internet de las cosas (IoT) y las redes de sensores inalámbricos (WSN) son tecnologías útiles en este sentido. Este documento investiga la usabilidad de IoT y WSN para aplicaciones de agricultura en pequeña escala. Se llevó a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo en profundidad del trabajo relevante durante la última década. Exploramos el tipo y el propósito de los parámetros agrícolas, estudiamos y describimos los recursos disponibles, las habilidades necesarias y los requisitos tecnológicos que permiten el despliegue sostenido de la tecnología IoT y WSN. Nuestros hallazgos revelan brechas significativas en la utilización de la tecnología en el contexto de las prácticas agrícolas de los pequeños propietarios causadas por barreras sociales, económicas, tecnológicas y de infraestructura. También identificamos una importante oportunidad futura para diseñar e implementar herramientas y marcos de adquisición de datos asequibles y confiables, con una posible integración de la ciencia ciudadana. (Zelalem et al., 2022)

El crecimiento de la población mundial junto con la disminución de los recursos naturales, las tierras de cultivo y el aumento de las condiciones ambientales impredecibles conduce a que la seguridad alimentaria se esté convirtiendo en una preocupación importante para todas las naciones del mundo. Estos problemas son los motivadores que están impulsando a la industria agrícola a hacer la transición a la agricultura inteligente con la aplicación de Internet de las cosas (IoT) y soluciones de big data para mejorar la eficiencia operativa y la productividad. El IoT integra una serie de soluciones y tecnologías de vanguardia existentes, como redes de sensores inalámbricos, redes ad hoc de radio cognitiva, computación en la nube, big data y aplicaciones de usuario final. Este estudio presenta una encuesta de soluciones de IoT y

demuestra cómo se puede integrar IoT en el sector de la agricultura inteligente. Para lograr este objetivo, discutimos la visión de los ecosistemas de agricultura inteligente habilitados para IoT mediante la evaluación de su arquitectura (dispositivos IoT, tecnologías de comunicación, almacenamiento y procesamiento de big data), sus aplicaciones y el cronograma de investigación. Además, discutimos las tendencias y oportunidades de las aplicaciones de IoT para la agricultura inteligente y también indicamos los problemas abiertos y los desafíos de la aplicación de IoT en la agricultura inteligente. Esperamos que los hallazgos de este estudio constituyan lineamientos importantes en la investigación y promoción de soluciones IoT con el objetivo de mejorar la productividad y la calidad del sector agrícola, así como facilitar la transición hacia un futuro entorno sostenible con un enfoque agroecológico. (Quy et al., 2022)

La agricultura juega un papel importante en los aspectos económicos en la mayoría de los países como India. Numerosos problemas asociados a la agricultura están afectando continuamente las acciones que se están dando en el país. Una solución potencial para la erradicación de tales problemas, se deben combinar los avances tecnológicos con las prácticas agrícolas actuales en curso. Las buenas prácticas agrícolas aumentarán la productividad de los cultivos y reducirán el uso no deseado de agua. Muchos autores han realizado investigaciones sobre sistemas controlados por temperatura, nutrición y pH. Pero nadie se concentró en los mensajes de alerta enviados al teléfono móvil. El objetivo principal del sistema propuesto mide varios aspectos naturales que utilizan un módulo de sistema global para comunicación móvil (GSM) que está conectado a un Arduino para transferir los datos que obtienen los sensores a una interfaz de programación de aplicaciones de Internet de las cosas (IoT). (API), que es un tipo de computación en la nube de los datos obtenidos, estos datos se pueden analizar si es necesario, y se envía un servicio de mensajes cortos (SMS) de alerta al teléfono celular/teléfono móvil. El mensaje de alerta se puede realizar mediante inteligencia artificial conversacional (CAI). Es el conjunto de tecnologías detrás de la activación del mensaje que se enviará automáticamente al móvil como un SMS si alguno de los valores del sensor que se están generando no está por debajo de los valores de umbral ya especificados. (Edwin et al., 2022)

Este trabajo desarrolla un sistema de monitoreo ambiental distribuido para la combinación de hidroponía y acuicultura basado en la tecnología de internet de las cosas, que incluye principalmente la capa de percepción de información, la capa de transmisión de información y la arquitectura del sistema. El sistema ha empleado múltiples terminales de sensores para la adquisición en tiempo real, incluidas las temperaturas del aire y del agua, el oxígeno disuelto, etc. El protocolo LoRa es adecuado para enviar datos pequeños y se empleó 4G para recopilar datos y enviarlos a la plataforma en la nube. Java se utiliza para desarrollar aplicaciones en segundo plano, para acceder a plataformas en la nube y procesamiento de datos locales. Sobre la base de la recopilación y el procesamiento de datos ambientales y la plataforma de servicios en la nube, se han desarrollado el cliente del programa de aplicaciones móviles y el escritorio de inicio de sesión remoto. Se implementó y probó en Tongzhou, Beijing durante 3 meses en 2020. Los resultados mostraron la estabilidad del sistema de monitoreo propuesto para la operación general y la transmisión de datos de precisión, que puede respaldar la gestión real de la producción hidropónica y acuícola. Después del análisis de los datos de monitoreo recopilados del sistema de monitoreo desarrollado, la temperatura del aire y del agua en interiores tiene una correlación obvia con la presión atmosférica (0,7 y 0,9) y la temperatura exterior (1,0 y 0,9), respectivamente.(Zhang et al., 2022)

La hidroponía es una de las soluciones de los métodos de jardinería que utilizan el agua como medio de nutrición. Por lo general, mantener la calidad de las plantas hidropónicas y los nutrientes del agua se realiza manualmente y requiere esfuerzos humanos, como el grado de acidez o humedad (pH), TDS (sólidos disueltos totales) y la temperatura de los nutrientes. Con la tecnología de Internet de las cosas, podemos automatizar el control hidropónico midiendo los valores de TDS, pH y temperatura de los nutrientes y controlando la nutrición del agua mediante las necesidades de nutrición de la bomba para las plantas hidropónicas. Esta investigación utiliza la NFT (Nutrient Film Technique) para el sistema hidropónico y utiliza la lechuga como parámetro de nutrición. Los parámetros de la lechuga son pH, TDS y temperatura del agua iguales al sensor que usamos en el sistema IoT propuesto. La condición tiene 27 clasificaciones, y usamos esta clasificación como referencia en la toma de decisiones, utilizando el algoritmo K-Nearest Neighbor (KNN) para activar el actuador. Mejoramos el

actuador simultáneo de investigaciones anteriores con intervalos y duración específicos para lograr condiciones nutricionales ideales. La otra mejora es que recopilamos más datos y más tiempos de prueba. La precisión fue del 91,2 %, con $k = 3$. A partir de los resultados de la evaluación, la precisión de KNN es bastante alta y tiene una ventaja, que tiene mejor precisión que los otros algoritmos y puede activar el actuador simultáneamente. Concluimos que el sistema de automatización de nutrientes hidropónicos que utiliza el método de Internet de las Cosas está listo para el uso de plantación real con esta mejora. (Adidrana et al., 2022)

Internet de las cosas (IoT) es una tecnología que está creciendo rápidamente, el futuro de IoT es ilimitado ya que los flujos de datos se han cuadruplicado a lo largo de los años. Los mercados futuros van a pasar de las técnicas tradicionales de procesamiento de datos a Big Data Analytics y Cloud Computing, ya que las empresas de todo el mundo están cambiando a enfoques de trabajo basados en la nube, lo que se vio impulsado en gran medida por la pandemia de Covid-19. Se sabe que los peces son muy sensibles al medio ambiente, por lo que requieren el cuidado y la atención adecuados por parte de sus dueños. Muchas veces se olvidan de alimentar a los peces, cambiar el agua, verificar los niveles de pH, etc. Estos problemas parecen simples, pero cuando se trata de rastrear cientos de peces puede ser difícil, estos problemas se pueden resolver fácilmente mediante el uso de IoT. Es necesario un sistema IoT que pueda ser muy beneficioso para acuarios de pequeña a gran escala, p. Acuario de Dubái (donde se monitorean constantemente cientos de peces). El sistema se puede utilizar para crear las condiciones ideales requeridas para un alto rendimiento. El sector de la acuicultura va a desempeñar un papel crucial en la economía futura, ya que los peces escasean en todo el mundo. Se deben tomar medidas para agilizar los procesos y aumentar la eficiencia al mismo tiempo que se mejora la salud de los peces. Los acuarios basados en IoT pueden salvar la vida silvestre del océano mediante la construcción de sistemas confiables que sean capaces de procesar datos en tiempo real. Se pueden construir tanques masivos para especies en peligro de extinción en lugares remotos, aumentando aún más la biodiversidad y construyendo un ecosistema equilibrado. Los peces más grandes se pueden monitorear usando tecnologías como RFID, transmisores, etc., ya que puede ser difícil monitorearlos en tanques grandes. Los datos recibidos de los sensores pueden almacenarse en alguna plataforma en la nube y analizarse

para predicciones futuras y almacenamiento redundante, todo tipo de dispositivos inteligentes pueden comunicarse entre sí independientemente del hardware y el sistema operativo utilizado. El dispositivo de monitoreo de acuarios basado en IoT es capaz de capturar los niveles de agua dentro del acuario y notifica al usuario por correo electrónico cuando está bajo. Puede encender/apagar las luces del acuario, controlar el uso del alimentador automático y registrar las lecturas de temperatura y humedad de la habitación con la ayuda de tecnologías AWS. El comedero para peces lo controla el usuario mediante una aplicación de voz o una interfaz web/aplicación. Los parámetros utilizados en este proyecto son la temperatura ambiente, la humedad, el nivel del agua, el estado del LED y el estado del alimentador. La adquisición del sensor se realiza mediante ESP-32, también se utiliza como dispositivo de procesamiento de datos y como servidor/controlador local. El usuario puede monitorear las condiciones del acuario de forma local o remota desde cualquier parte del mundo siempre que tenga una conexión a Internet, ya que los datos se procesan a través de AWS Lambda, se almacenan en DynamoDB y se alojan en la API de AWS.(Kodali & Sabu, 2022)

Raspberry Pi es una de las placas de creación de prototipos electrónicos más populares que se utilizan para crear prototipos de aplicaciones como el hogar, la industria, la investigación, la agricultura, etc. Este documento proporciona un resumen de la adopción de Raspberry Pi en la agricultura para ayudar a los investigadores en su trabajo de detección remota, control y automatización. Las pruebas de calidad del suelo, la selección de cultivos, la fertilidad del suelo y la detección de la productividad, el control del clima, la detección del rendimiento de los cultivos, el control del crecimiento de las plantas y la pulverización automática de fertilizantes y pesticidas son algunas de las aplicaciones de Raspberry Pi que van desde soluciones simples hasta dispositivos personalizados dedicados. La atención se centró en diferentes aplicaciones agrícolas en las que se recopila y procesa información para brindar asesoramiento a los agricultores para que tomen las decisiones correctas en el momento adecuado con un gasto óptimo. También se presentan los desafíos de investigación, las limitaciones y las tendencias futuras asociadas con el desarrollo de aplicaciones automatizadas utilizando Raspberry Pi.(Ellison Mathe et al., 2022)

Esta investigación propone mejorar el entorno del acuario para el cultivo de peces ornamentales para pequeñas empresas que crían peces ornamentales para la venta durante la pandemia de COVID-19 con un sistema de acuario automático capaz de pronosticar el entorno óptimo para los peces utilizando la red neuronal de perceptrón multicapa. Dado que la cantidad de datos recopilados era limitada, también se empleó para ajustar el conjunto de datos desequilibrados mediante la aplicación de la técnica de sobre muestreo de minorías sintéticas para aumentar la precisión del pronóstico. Posteriormente, el sistema desarrollado se basa en dispositivos de Internet de las Cosas en conjunto con sensores para medir los indicadores que afectan el ambiente del acuario, incluyendo temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, potencial de iones de hidrógeno, oxígeno disuelto e iones de nitrato. Además, se desarrolló la aplicación móvil y se colaboró con sensores y dispositivos para facilitar a los empresarios el seguimiento y control de este sistema automático. Los resultados mostraron que la precisión del modelo de pronóstico del entorno acuático desarrollado fue del 97,31 % y proporcionó el nivel más alto de eficiencia de automatización. Por lo tanto, el sistema de acuario automatizado desarrollado podría aplicarse para reducir la mortalidad de los peces y mantener las condiciones ambientales para crecer adecuadamente durante la vida útil de los peces.(Nuanmeesri & Poomhiran, 2022)

Cuando el Internet de las Cosas se aplica al hogar, transforma un hogar simple en un hogar inteligente, más seguro y automatizado. El objetivo de este documento es crear una aplicación para el hogar controlada por voz/texto que permita a los usuarios operar sus electrodomésticos desde lejos. Los usuarios pueden simplemente enviar comandos de voz o mensajes de texto para encender o apagar los electrodomésticos según sus necesidades. Cuando los usuarios no están físicamente presentes en el área, pueden programar el estado del equipo. También se les dará información sobre horarios pasados y podrán encender los electrodomésticos durante un período de tiempo determinado. Para las funcionalidades de la aplicación que se integra con un dispositivo IoT se emplea la Tecnología Node-RED (NodeMCU). La cuenta de flujo de diálogo es donde se implementa esta aplicación desarrollada. El NodeMCU está vinculado a electrodomésticos comunes. El NodeMCU controla los electrodomésticos en función de los parámetros que recibe de la nube. Debido a que se utiliza tecnología de alto rendimiento y bajo

costo, los costos de implementación de la aplicación son muy bajos. Este programa es extremadamente confiable y eficiente para personas mayores y con capacidades diferentes que no pueden alcanzar el interruptor para encender o apagar el dispositivo. (Kaiborta & Samal, 2022)

Actualmente, la evaluación de la calidad del agua se basa en procedimientos de laboratorio costosos y que requieren mucho tiempo, y en el despliegue de numerosos sensores fisicoquímicos costosos. En respuesta a la tendencia de minimización de dispositivos y reducción de gastos en el monitoreo acuapónico sostenible del agua, en este documento se presenta la integración de la acuaponía y la inteligencia computacional. Este estudio utilizó la combinación de sensores de temperatura, pH y conductividad eléctrica para predecir la concentración de macronutrientes primarios en el crecimiento del cultivo (nitrato, fosfato y potasio (NPK)), lo que limitó la cantidad de sensores desplegados. Se alteró la temperatura de un total de 220 muestras de agua recolectadas de un estanque acuapónico artificial al aire libre de 16 a 36 °C con incrementos de 2 °C para imitar el rango ambiental, que varía la estructura de composición del agua. Se aplicó acuaponía en regiones espectrales de ultravioleta, luz visible e infrarrojo cercano, de 100 a 1 000 nm, para determinar los compuestos NPK. El análisis de componentes principales enfatizó la dinámica de los nutrientes a través de la selección de bandas de absorción de agua altamente correlacionadas que dieron como resultado 250 nm, 840 nm y 765 nm para nitrato, fosfato y potasio, respectivamente. Estas bandas de agua activada se utilizaron como protocolos de longitud de onda para medir espectrofotométricamente las concentraciones de macronutrientes. Los experimentos han demostrado que la programación genética de regresión simbólica multigénica (MSRGP) obtuvo el rendimiento óptimo en la parametrización y predicción de las concentraciones de nitrato, fosfato y potasio en función de las propiedades físicas del agua con una precisión del 87,63 %, 88,73 % y 99,91 %, respectivamente. Los resultados han mostrado que el mapa de dinámica de nutrientes de 4 dimensiones establecido revela que la temperatura fortalece significativamente el nitrato y el potasio por encima de los 30 °C y el fosfato por debajo de los 25 °C con un pH y una conductividad eléctrica que oscilan entre 7 y 8 y entre 0,1 y 0,2 mS cm⁻¹, respectivamente. Este enfoque novedoso de desarrollar un modelo de estimación

fisicoquímico predijo las concentraciones de macronutrientes en tiempo real utilizando sensores limnológicos físicos con una reducción del 50 % del consumo de energía. Este mismo enfoque puede extenderse para medir macronutrientes y micronutrientes secundarios.(Concepcion II et al., 2022)

Con la riqueza cada vez mayor de los recursos sociales, la cantidad de dispositivos que utilizan Internet de las cosas también está aumentando. Actualmente, muchas personas tienen mascotas como peces en sus hogares y deben cuidarse con cuidado. En particular, es necesario crear un ambiente seguro y cómodo para ellos y mantener este ambiente continuamente. Un entorno adverso puede afectar el crecimiento de los peces e incluso provocar su muerte. Este estudio utilizó el módulo LinkIt 7697 y el editor BlocklyDuino para producir un sistema de control para un acuario inteligente. El propósito de este sistema es monitorear la temperatura, la intensidad de la luz y el nivel del agua en un acuario, así como alertar sobre la presencia de intrusos; por lo tanto, se utilizan módulos de detección de temperatura, luz, ultrasonidos e infrarrojos. El sistema ha establecido umbrales ambientales del acuario y procesa las señales obtenidas por los sensores para controlar y optimizar las salidas a las cargas mediante cálculos de fusión de datos para que el acuario tenga el ambiente más cómodo para los peces. También se incluye un alimentador automático en el sistema, y este utiliza un servomotor. Los datos del sistema se cargan en una computadora de back-end a través del sistema Wi-Fi integrado del módulo LinkIt 7697. La plataforma Cloud Sandbox se utiliza para mostrar los resultados en tiempo real, logrando el propósito de monitoreo remoto de la red.(Sung et al., 2022)

Hoy en día, las tecnologías de red se están desarrollando muy rápidamente. El creciente volumen de información transmitida (video, datos, VoIP, etc.), el crecimiento físico de las redes y el tráfico entre redes están obligando a los fabricantes a producir dispositivos más potentes e "inteligentes" que utilizan nuevos métodos de transferencia y clasificación de datos. Dichos dispositivos inteligentes conectados (IoT) se utilizan en el tráfico controlado de forma inteligente para vehículos autónomos en Vehicle Adhoc Networks (VANET), en electricidad y agua en ciudades inteligentes y en la automatización del hogar en hogares inteligentes. Estos tipos de dispositivos de Internet de las cosas (IoT) conectados se utilizan para aprovechar

diferentes tipos de estructuras de red. Dichos dispositivos de sensores IoT se pueden implementar como una red de sensores inalámbricos (WSN) en una topología de malla. Tanto las WSN como las redes inalámbricas en malla (WMN) son fáciles de organizar y de implementar. En este caso, hay muchas razones para combinar estos diferentes tipos de redes. En particular, las capacidades sensoriales detalladas de las redes de sensores pueden mejorarse aumentando el ancho de banda, la confiabilidad y el consumo de energía en la topología de malla. Sin embargo, actualmente solo hay un puñado de estudios dedicados a integrar estos dos tipos diferentes de redes. Además, no existe una revisión sistemática de los métodos de interconexión existentes. Es por eso que en este artículo exploramos los métodos existentes de estas dos redes y brindamos una base analítica para su relación. Presentamos la definición de WSN y WMN y luego analizamos algunos casos de estudio. Luego, presentamos varios desafíos y oportunidades en el área de la red de sensores de malla inalámbrica combinada (WMSN), seguidos de una discusión sobre esta interconexión a través de una revisión de la literatura y esperamos que este documento atraiga la atención de la comunidad e inspire más investigaciones en esta dirección.(Nurlan et al., 2022)

Hoy en día, los dispositivos de Internet industrial de las cosas (IIoT) se utilizan con mucha frecuencia para recopilar datos del proceso de fabricación. La integración de datos industriales está siendo promovida cada vez más por Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA). Sin embargo, los dispositivos IIoT disponibles están limitados por las características que brindan; por ello, decidimos diseñar un dispositivo IIoT aprovechando las ventajas derivadas de OPC UA. El procedimiento de diseño se basó en la creación de secuencias de pasos que dieron como resultado un flujo de trabajo que se transformó en un modelo de máquina de estados finitos (FSM). El modelo FSM se transformó en un objeto OPC UA, que se implementó en el IIoT propuesto. El objeto OPC UA permite monitorear eventos y proporcionar información importante según los criterios de un cliente. El resultado fue el diseño y la implementación de un dispositivo IIoT que proporciona un mejor monitoreo y adquisición de datos, lo que permite un mejor control del proceso de fabricación.(Vaclavova et al., 2022)

Con cada año que pasa, hay un aumento exponencial de la población humana. Debido a esto, el desafío de no tener suficiente tierra cultivable se está convirtiendo en un problema creciente. También se pronostica que la mayoría de la población mundial que actualmente vive en áreas rurales se habrá mudado a ciudades urbanas. Esto conducirá a un aumento de la urbanización y una mayor reducción de las tierras cultivables para fines agrícolas. Como solución a estos problemas, este artículo propone la idea de cultivo vertical e hidroponía en específico. La hidroponía usa una fracción del espacio requerido para la agricultura tradicional, usa un 90% menos de agua y puede cosechar productos prácticamente orgánicos durante todo el año. Este artículo revisa el proceso de agricultura vertical, sus beneficios y sus diferentes tipos. Se ha sugerido una metodología detallada que se puede adoptar para crear un sistema hidropónico. En este documento, la lechuga, la albahaca y la col rizada se han utilizado como ejemplos principales.(Edwin et al., 2022)

El Internet de las cosas (IoT) es un paradigma en evolución que busca conectar diferentes componentes físicos inteligentes para la modernización de múltiples dominios. Para administrar y rastrear automáticamente las tierras agrícolas con una mínima intervención humana, se han introducido numerosos marcos basados en IoT. Este documento presenta una discusión rigurosa sobre los componentes principales, las nuevas tecnologías, los problemas de seguridad, los desafíos y las tendencias futuras involucradas en el dominio de la agricultura. En este documento se ha cubierto un informe detallado sobre los avances recientes. El objetivo de esta encuesta es ayudar a los investigadores potenciales a detectar problemas relevantes de IoT y, en función de los requisitos de la aplicación, adoptar tecnologías adecuadas. Además, se destacó la importancia de IoT y Data Analytics para la agricultura inteligente.(Sinha & Dhanalakshmi, 2022)

A medida que la población mundial continúa aumentando, varios desafíos, entre los que se encuentran la variación climática, la degradación del suelo y la escasez de agua, continúan afectando la productividad agrícola. Estos desafíos dan lugar a la falta de acceso a fuentes de agua para diferentes actividades, como el riego de vegetales con el cultivo de peces, lo que impacta negativamente en la seguridad alimentaria. La solución a este último se puede

proporcionar a través de la acuaponía. Este artículo propone un sistema de acuaponía que ahorra agua a través de la circulación y la utilización del amoníaco liberado por los peces para producir minerales como nitritos y nitratos para plantas en un tanque de acuario. El sistema utiliza sensores, actuadores y microcontroladores para monitorear y controlar la calidad del agua. Los sensores se utilizan para recopilar datos y los datos se transmiten con la ayuda de un módulo Wi-Fi a una plataforma en la nube de IoT llamada Thingspeak y se aplican actuadores para resolver las anomalías detectadas por el sensor. Los resultados experimentales muestran que la calidad y la circulación del agua estaban bien conservadas. Estos se presentan en este documento a través de análisis de regresión lineal y gráficos de R-cuadrado que mostraron una fuerte relación entre los días y la altura de la planta, así como el peso de los peces. El sistema reduce el desperdicio de agua y aumenta el rendimiento de la acuaponía. (Ntulo et al., 2021)

La acuaponía es un sistema de cultivo mutuamente beneficioso en el que el agua de la pecera se puede utilizar como nutriente y fertilizante para el crecimiento de las plantas. En la práctica, el propietario del sistema acuapónico debe realizar un control estricto del agua, como el volumen del agua, el valor de pH, el valor de TDS y la humedad para mantener la sostenibilidad de la vida de los peces y la planta. Se puede proponer Internet de las cosas (IoT) para ayudar en ese proceso. En esta investigación, se construye un prototipo basado en IoT para ayudar al propietario del sistema acuapónico a monitorear el sistema acuapónico y realizar ajustes de pH y humedad, llenado de agua y configuración de la bomba de agua y aire automáticamente. El propietario también puede monitorear este sistema en cualquier lugar con la ayuda de la plataforma web y el chatbot de Telegram. Los resultados son sensores DHT22, DS18B20, HC-SR04, pH y TDS que han podido recopilar datos con bastante precisión, luego los procesa el dispositivo Raspberry Pi para ejecutar el proceso de automatización y luego los envía al servidor web para almacenarlos. Aparecerá una notificación de telegrama cuando los datos superen el umbral. El sitio web creado también ha logrado mostrar datos y cambiar los valores de los parámetros. (Wijayanto et al., 2021)

1.2 Línea de Investigación

Software, Sistemas emergentes y nuevas tecnologías

Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS): 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación

Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

Meta 9.b Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.

Meta 9.c Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020.

1.3 Planteamiento del problema y pregunta de investigación

Para la producción y generación de cultivos de alimentos tradicionales se requiere tener una amplia extensión de terreno; llevando a realizar la producción en la periferia de las ciudades o en sectores rurales, adicionalmente las condiciones climáticas cambiantes e inesperadas generan una producción variada para un mismo producto, afectando el costo de este. Los fenómenos climatológicos adversos, tales como las sequías prolongadas, nevadas, inundaciones y heladas afectan los terrenos limitando por períodos prolongados la posibilidad de producción constante de los cultivos, generando precios variables cambios en los índices de oferta y demanda. (Barrera Chaparro & Arías Niño, 2018)

Es por ello por lo que una alternativa de producción de alimentos en entornos controlados es la acuaponía, la cual es un sistema de producción cerrado que integra técnicas hidropónicas

en simbiosis con la acuicultura y la proliferación de bacterias nitrificantes sin suelo, utilizando como medio común el "agua". Las plantas y los peces crean una sinergia, ya que las plantas utilizan los desechos metabólicos de los peces como nutrientes para el crecimiento, mientras que las plantas purifican el agua y eliminan los compuestos que son tóxicos para los humanos. Sin embargo, este sistema también incluye microorganismos que afectan la mineralización y la nitrificación; Principalmente bacterias nitrificantes. Este sistema de producción sostenible e intensivo requiere condiciones ideales para la interacción de peces, microorganismos y plantas.

Por lo tanto, se requieren sistemas de control electrónico y de software que realicen monitoreos constantes de las variables que afectan los sistemas acuapónicos tales como: la oxigenación del agua, el pH, La conductividad eléctrica, la temperatura, la humedad, entre otras. Teniendo en cuenta que a partir de esta información se toman las decisiones en el manejo del sistema acuapónico, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible utilizar una herramienta de software que no dependa de la conexión a internet en los procesos de acuaponía para gestionar y controlar la producción de peces y o plantas en el sistema acuapónico de la unidad agroambiental El Vergel extensión Facatativá?

1.4 Objetivo general y objetivos específicos

Objetivos generales y específicos

Desarrollar un software local como apoyo a la gestión y control del laboratorio "LESTOMA" de la universidad de Cundinamarca extensión Facatativá

Objetivos Específicos

1. Establecer las variables y características de operación del sistema acuapónico LESTOMA para elaboración de los requerimientos.
2. Diseñar el prototipo de software para gestionar, controlar y presentar los datos de producción utilizando el Lenguaje Unificado de Modelado (UML)
3. Construir e implementar el prototipo de software para el laboratorio LESTOMA e integrarlo con los componentes de hardware existentes.

4. Validar la operación del software en el proceso de producción acuapónica y la gestión de los datos.

1.5 Alcance e impacto del proyecto

El proyecto de software para el sistema acuapónico LESTOMA constituye una pieza fundamental para optimizar la productividad de las UPAs en la región Sabana Occidente. El impacto de esta iniciativa resulta determinante para el entorno rural en el que se implementa, evidenciando cómo la sinergia entre innovación tecnológica y prácticas agrícolas tradicionales puede transformar los modelos productivos actuales. La integración de esta aplicación local dentro del ecosistema LESTOMA permite reducir significativamente la complejidad operativa de los procesos de monitoreo y control, facilitando la toma de decisiones basadas en datos concretos y actualizados.

Los habitantes de la región donde se ubica este proyecto experimentan beneficios tangibles con la incorporación de esta solución tecnológica, manifestando una clara evidencia de transformación digital en el ámbito rural. Desde una perspectiva amplia, la complementariedad entre el software desarrollado y los componentes físicos del sistema acuapónico genera múltiples ventajas, entre las que destacan: una gestión más eficiente de la información generada por el sistema, optimizando su almacenamiento, consulta y análisis; un notable perfeccionamiento en la comunicación en tiempo real entre los sensores y la interfaz de usuario; y la posibilidad de acceso remoto a través de las interfaces web implementadas, demostrando el valor estratégico que el software aporta a sistemas productivos de esta naturaleza. La implementación realizada evidencia cómo estas herramientas tecnológicas resultan esenciales para optimizar operaciones que tradicionalmente requerían intervención manual intensiva, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos.

Este desarrollo se alinea directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9, orientado a "Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación", contribuyendo específicamente a las siguientes metas:

Meta 9.4: De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

Meta 9.b: Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.

Meta 9.c: Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020.

1.6 Metodología

Para la fase investigativa del proyecto se trabajó con la metodología de investigación mixta la cual correspondió a un proceso en el cual se recolectó e interpretó información de manera cuantitativa y cualitativa. El método de investigación cuantitativa permitió recolectar información estadística mediante el monitoreo de variables críticas como temperatura, pH y oxígeno disuelto en el sistema acuapónico, estableciendo así parámetros medibles que determinaron el óptimo funcionamiento del sistema. La contribución de esta metodología se vio reflejada al momento de establecer las bases de la aplicación local y la meta que se quería alcanzar, permitiendo obtener claridad para definir los parámetros de control y las funcionalidades necesarias.

Con respecto a la metodología cualitativa, esta se refirió a un método de investigación que sirvió de respaldo cuando la información necesitó ser analizada de manera más detallada, siendo necesario identificar cuál fue su comportamiento en contextos específicos. Para este caso, este enfoque permitió comprender las necesidades particulares del laboratorio LESTOMA, las experiencias de los usuarios con sistemas de monitoreo y las expectativas sobre la aplicación a desarrollar. Como resultado del uso de esta metodología se obtuvieron resultados más descriptivos que predictivos, enriqueciendo la comprensión del problema. En conclusión, se observó cómo cada método de investigación ofreció diferentes perspectivas,

complementándose para cumplir con el objetivo de recolectar y brindar información completa para el desarrollo del proyecto.

Para la etapa de desarrollo se implementó la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), la cual fue utilizada en proyectos que requirieron un enfoque sistemático desde la concepción hasta la operación. Esta metodología resultó particularmente adecuada para proyectos que involucraron componentes de hardware y software integrados, como fue el caso del sistema acuapónico automatizado. Durante la fase de Concebir, se identificaron las necesidades específicas del laboratorio LESTOMA, definiendo claramente los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación. En la fase de Diseñar, se elaboraron los diagramas UML, se diseñó la arquitectura N-Capas y se modeló la base de datos relacional. Para la fase de Implementar, se desarrolló el servicio de comunicación serial en Python, la API REST y la interfaz de usuario en Windows Forms. Finalmente, la fase de Operar involucró la validación del sistema en un entorno controlado.

La implementación de CDIO brindó importantes ventajas como la clara separación entre fases, facilitando la detección temprana de problemas, especialmente en el diseño de la base de datos, donde se pudieron corregir falencias conceptuales antes de avanzar a la implementación. Además, este enfoque permitió trabajar de manera iterativa, validando cada componente antes de su integración final. Para el manejo del proyecto se establecieron roles y responsabilidades claras, realizando reuniones periódicas para evaluar avances y ajustar prioridades según las necesidades emergentes. La planificación detallada de cada fase permitió administrar eficientemente los recursos disponibles, adaptándose a las limitaciones presupuestarias que surgieron durante el desarrollo. Esta metodología demostró ser efectiva para el proyecto, permitiendo desarrollar una solución robusta a pesar de los desafíos enfrentados durante el proceso.

1.7 Marcos de referencia

1.7.1.1 Marco teórico

1.7.1.2 Acuicultura:

La acuicultura consiste en el proceso de cultivar especies hidrobiológicas con ayuda de técnicas apropiadas en ambientes naturales o artificiales generalmente bajo control e intervención humana, hoy en día este proceso representa el crecimiento económico y social para los sectores que se dedican a esto, por lo que resulta ser un factor que genera posibilidades de empleo y producción de alimentos para consumo humano, siendo así mundialmente reconocida con gran importancia pues provee de alimentos ayudando a erradicar el hambre, esto según Martin Excel.(Noticias ONU, 2024.)

En 1995, FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) Aprobó el código de Conducta para la Pesca y Acuicultura responsable se en donde se establecieron bases para los principios y normas internacionales para llevar a cabo practicas responsables con el fin de garantizar la conservación, ordenación y desarrollo eficaz de los recursos acuáticos vivos (UNACH, 2013.). En Colombia, con el fin de repoblar las lagunas de aguas frías surgió la acuicultura, introduciendo la trucha arco iris, esto 26aproximadamente en la década 30 del siglo XX. En los años posteriores fue necesario el uso de diferentes especies, tales como: Tilapias y Cachamas blancas, gracias a la evolución de este proceso fue posible hablar de exportación de los productos obtenidos, en el año 2008 las exportaciones se intensificaron exponencialmente siendo el Camarón la producción estrella para Colombia.(Vincent, 2020)

1.7.1.3 Sistema Acuapónico

Los sistemas acuapónicos representan un cultivo combinado de peces y plantas en un sistema de recirculación implementado (Felipe & Zambrano, 2017), estos sistemas se caracterizan por sus propiedades y beneficios debido a su diseño basado en tanques, en los cuales los nutrientes son generados por plantas y estas crecen gracias a los residuos los cuales se derivan de la alimentación de los peces. Esta clase de sistemas se considera como un método sostenible para producir alimentos basándose en la optimización de los recursos que se emplean para el cultivo de los peces y la plantas los cuales ayudad a reducir considerablemente la contaminación(Intagri

S.C., 2023), este método consiste en emplear el agua en el sistema para que de esta forma los desechos metabólicos de los peces y los alimentos que estos no consuman se transforman, gracias a una comunidad bacteriana, en nutrientes de fácil asimilación, nutrientes los cuales ayudan al crecimiento de la plantas. Después de que la plantas extraigan los nutrientes necesarios el agua puede ser devuelta a los tanques mediante el uso de sistemas de recirculación.

1.7.1.4 Monitoreo de Sistemas

El monitoreo de sistemas se convierte en una herramienta de ayuda para operar, administrar y monitorear sistemas de formas centralizadas, estos sistemas son los encargados de alimentar y proveer información sobre el respectivo sistema al cual se le está haciendo su correspondiente seguimiento. Son de gran importancia para ciertos sistemas que requieren mediciones de magnitudes constantemente, algunos ejemplos de monitoreo de sistemas son:

- SCADA: es un sistema de monitoreo y control el cual permite supervisar y controlar el intercambio de datos entre diferentes componentes todo esto llevándolo a una automatización del sistema (*What Is SCADA? Supervisory Control and Data Acquisition*, n.d.)
- SUHISSA: es un sistema de monitoreo vía web Server, el cual es capaz de analizar y monitorear los datos recolectados a través de los diferentes tipos de equipos de instrumentación (SUHISSA, 2020.)
- SIMTCO: es un sistema de recolección de datos a través de sensores y equipos de procesos toda esta información recolectada se procesa directamente en la nube y se almacena para de esta forma crear estadísticas y recolectar datos (SUHISSA, 2020.)

1.7.1.5 Arquitectura N-Capas

La arquitectura N-Capas representó un patrón de diseño en el desarrollo de software que organizó el sistema en capas con responsabilidades específicas. Esta arquitectura permitió la separación de preocupaciones, facilitando el mantenimiento, escalabilidad y prueba del sistema.

En el contexto del proyecto, se implementó una arquitectura de cuatro capas:

- **Capa de Presentación:** Encargada de la interacción con el usuario final, mostrando información y capturando datos a través de interfaces gráficas.

- **Capa de Lógica de Negocio:** Responsable de implementar las reglas del negocio, procesar datos y coordinar acciones entre componentes.
- **Capa de Acceso a Datos:** Encargada de la comunicación con el sistema de gestión de base de datos, abstrayendo la complejidad de las operaciones de persistencia.
- **Capa de Integración/Servicios:** Estableció la comunicación con sistemas externos, como los dispositivos hardware del sistema acuapónico.

1.7.1.6 Comunicación MTU-RTU

El modelo de comunicación MTU-RTU (Master Terminal Unit - Remote Terminal Unit) constituyó un paradigma fundamental en sistemas de control distribuido y telemetría. Este modelo se basó en una unidad central (MTU) que coordinó y administró múltiples unidades remotas (RTUs) distribuidas estratégicamente para capturar datos y ejecutar acciones.

En el sistema implementado, la comunicación entre estos componentes se realizó mediante serialización JSON (JavaScript Object Notation), un formato ligero de intercambio de datos que facilitó la integración entre dispositivos con capacidades de procesamiento limitadas.

1.7.1.7 Bases de Datos Relacionales

Las bases de datos relacionales conformaron el fundamento para el almacenamiento estructurado de información en el sistema. Basadas en el modelo relacional propuesto por E.F. Codd, estas bases de datos organizaron la información en tablas (relaciones) con filas (tuplas) y columnas (atributos), estableciendo relaciones entre ellas mediante claves primarias y foráneas.

Para el proyecto se implementó un proceso de normalización que evolucionó el modelo inicial hacia uno más escalable y flexible. La normalización permitió reducir la redundancia de datos, mejorar la integridad referencial y optimizar el rendimiento de consultas complejas.

1.7.1.8 Metodología CDIO

La metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar) surgió como un marco educativo para la formación en ingeniería, pero se adaptó eficazmente como metodología de desarrollo para proyectos tecnológicos complejos. Desarrollada inicialmente por el MIT, esta metodología enfatizó la relación entre teoría y práctica a través de un ciclo completo desde la concepción hasta la operación.

En el contexto del proyecto, esta metodología proporcionó un enfoque estructurado que permitió:

- **Concebir:** Definir claramente el problema y establecer los requerimientos del sistema.
- **Diseñar:** Crear la arquitectura y diseño detallado de los componentes.
- **Implementar:** Transformar el diseño en producto funcional.
- **Operar:** Utilizar el producto implementado para proporcionar el valor esperado.

Esta metodología resultó particularmente adecuada para el desarrollo de sistemas que integraron hardware y software, como fue el caso del sistema acuapónico automatizado LESTOMA.

1.8 Marco legal

El desarrollo e implementación de sistemas acuapónicos en Colombia se encuentra regulado por un conjunto de normativas que abarcan aspectos relacionados con la acuicultura, el uso del agua, el manejo ambiental y la producción sostenible. Adicionalmente, al tratarse de un sistema que incorpora un componente de software, es necesario considerar la normativa relacionada con protección de datos y estándares técnicos. Este marco normativo establece las condiciones legales bajo las cuales debe operar el proyecto LESTOMA.

1.8.1 Normativa para sistemas acuapónicos y uso del agua

La Ley 13 de 1990, conocida como el "Estatuto General de Pesca", constituye uno de los pilares normativos fundamentales, ya que regula el manejo integral y la explotación racional de los recursos pesqueros con el fin de asegurar su aprovechamiento sostenido ("Ley 13 de 1990 – Estatuto General de Pesca", n.d.). Esta ley establece que el Estado debe procurar el mantenimiento y la protección de los cuerpos de agua, aspecto directamente relacionado con los sistemas acuapónicos que dependen de la calidad del agua para su funcionamiento óptimo.

En materia de administración y fomento de la acuicultura, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), creada mediante el Decreto 4181 de 2011 como sucesora del INPA, juega un papel crucial en la regulación y promoción de las actividades acuícolas. A través de la Resolución 1480 de 2022, la AUNAP estableció la proporción de oportunidad productiva en acuicultura para embalses en el territorio nacional (Resolución 1480 de 2022 Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP, 2022.) normativa relevante para proyectos que contemplan la implementación de sistemas acuapónicos.

El Decreto 1076 de 2015, conocido como el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, compila y racionaliza las normas de carácter reglamentario que rigen el sector ambiental ("Decreto Reglamentario 1076 de 2015", n.d.). Este decreto abarca aspectos fundamentales para los sistemas acuapónicos como la biodiversidad, aguas no marítimas, vertimientos y calidad del agua, proporcionando el marco regulatorio ambiental dentro del cual debe operar cualquier proyecto de acuaponía.

En lo referente a la calidad del agua, el Decreto 1575 de 2007 establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, definiendo los criterios que deben cumplirse para garantizar su aptitud para consumo humano y otros usos (Decreto 1575 de 2007 - Gestor Normativo - Función Pública, 2007.) Para los sistemas acuapónicos, resulta especialmente relevante comprender las categorías de calidad del agua y los conceptos sanitarios que establece esta normativa.

La Resolución 0631 de 2015, por su parte, establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público (Decreto 1575 de 2007 - Gestor Normativo - Función Pública, n.d.). Esta resolución resulta fundamental para determinar las condiciones de manejo del agua en sistemas acuapónicos, especialmente en lo relacionado con los efluentes y su eventual reincorporación a cuerpos de agua naturales.

Adicionalmente, es importante considerar la Ley 2268 de 2022, que establece normas para garantizar beneficios sociales focalizados a los pescadores artesanales comerciales y de subsistencia. Esta ley designa a la AUNAP como la autoridad responsable del fomento de la

pesca artesanal y del mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de los pescadores.(RESOLUCION 1585 DE 2023, 2023.)

1.8.2 Normativa para protección de datos y software

En lo referente al componente de software del sistema acuapónico automatizado, el proyecto debe cumplir con la normativa vigente en materia de protección de datos personales y propiedad intelectual:

La Ley 1581 de 2012 establece el régimen general de protección de datos personales en Colombia (*Ley 1581 de 2012 - Gestor Normativo - Función Pública*, n.d.). Esta ley regula el derecho constitucional de habeas data, permitiendo a los titulares de la información conocer, actualizar y rectificar los datos que se hayan recolectado sobre ellos en bases de datos o archivos. Para el sistema LESTOMA, esta normativa resulta relevante en cuanto al manejo de información de usuarios, investigadores y responsables del sistema, estableciendo obligaciones específicas sobre el tratamiento de datos personales.

En materia de propiedad intelectual del software, Colombia cuenta con un marco normativo compuesto principalmente por la Ley 23 de 1982 sobre derechos de autor y el Decreto 1360 de 1989 (Garnica Estrada et al., 2023). Estas normas protegen el software como obra literaria, otorgando derechos exclusivos a los autores para reproducir, modificar y distribuir sus creaciones, aspecto fundamental para el componente de software desarrollado en el proyecto LESTOMA.

A nivel de la Comunidad Andina, la Decisión 351 de 1993 establece el régimen común sobre derecho de autor y derechos conexos, mientras que la Decisión 486 de 2000 regula el régimen común de propiedad industrial(Decisión 486 Del 2000, 2000.). Estas normativas proporcionan un marco supranacional para la protección de las creaciones intelectuales, incluido el software, en los países miembros de la CAN.

1.8.3 Estándares técnicos aplicables

Adicionalmente, el desarrollo del software para el sistema acuapónico LESTOMA debe considerar el cumplimiento de estándares técnicos que garanticen su calidad y accesibilidad:

La Norma Técnica Colombiana NTC 5854 establece los requisitos de accesibilidad que deben implementarse en las páginas web (Norma Técnica NTC5854 Accesibilidad Web, n.d.). Aunque está orientada principalmente a sitios web, sus principios son aplicables a interfaces de usuario en general, lo que resulta relevante para la interfaz del sistema de monitoreo y control del proyecto LESTOMA, garantizando que sea accesible para personas con diferentes tipos de discapacidades.

La familia de normas ISO/IEC 25000, conocida como SQuaRE (System and Software Quality Requirements and Evaluation), proporciona un marco de trabajo común para evaluar la calidad del producto software (*NORMAS ISO 25000*, n.d.). Estas normas, que evolucionaron a partir de ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598, establecen criterios para la especificación de requisitos de calidad, métricas y evaluación del software, aspectos fundamentales para asegurar la robustez y confiabilidad del componente software del sistema acuapónico.

Particularmente relevante es la norma ISO 25010, que define características de calidad como funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad, portabilidad, compatibilidad y seguridad (*ISO 25010*, n.d.). El cumplimiento de estos estándares contribuye a garantizar que el software desarrollado para el sistema LESTOMA cumpla con los más altos niveles de calidad, facilitando su mantenimiento y evolución futura.

El cumplimiento de este marco normativo no solo garantiza la legalidad del proyecto LESTOMA, sino que también contribuye a asegurar la sostenibilidad ambiental y social de las prácticas acuapónicas implementadas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y las políticas nacionales de producción limpia y eficiente. Asimismo, asegura que el componente de software del sistema cumple con estándares de calidad y protección de datos, aspectos esenciales para su correcto funcionamiento y aceptación por parte de los usuarios.

1.8.4 Licencias de Tecnologías Utilizadas

El proyecto LESTOMA utiliza diversas tecnologías y herramientas de software para su desarrollo e implementación, cada una con sus propias implicaciones legales y modelos de licenciamiento que deben ser considerados para su uso adecuado:

1.8.4.1 Microsoft SQL Server

Para la gestión de bases de datos, el proyecto utiliza Microsoft SQL Server, una plataforma que cuenta con diversas opciones de licenciamiento según las necesidades específicas (*Licencias de SQL Server | Programa de Licencias Por Volumen de Microsoft*, n.d.). SQL Server se ofrece principalmente en dos ediciones:

- **SQL Server Enterprise Edition:** Diseñada para aplicaciones críticas que requieren alto rendimiento, seguridad y alta disponibilidad.
- **SQL Server Standard Edition:** Ofrece funcionalidades básicas de gestión de bases de datos para aplicaciones de nivel medio.

Para entornos de desarrollo y pruebas, Microsoft proporciona la **SQL Server Developer Edition**, una versión con todas las características de la edición Enterprise disponible de forma gratuita, pero limitada a usos que no sean de producción (*Comprenda Las Licencias de SQL Server - AWS Guía Prescriptiva*, n.d.). Esta edición es particularmente adecuada para las etapas de desarrollo y pruebas del proyecto LESTOMA.

Para la implementación en producción, será necesario adquirir las licencias correspondientes según el modelo elegido, ya sea por núcleo o por servidor + CAL (Licencias de Acceso de Cliente). Es importante considerar que las licencias de SQL Server Enterprise no están disponibles en el modelo de servidor + CAL para versiones recientes (*Licencias de SQL Server | Programa de Licencias Por Volumen de Microsoft*, n.d.).

1.8.4.2 .NET, C# y Blazor WebAssembly

El framework de desarrollo utilizado en el proyecto incluye .NET, C# y Blazor WebAssembly, tecnologías que forman parte del ecosistema de desarrollo de Microsoft. A diferencia de SQL Server, estas tecnologías se distribuyen bajo licencias de código abierto:

.NET, C# y Blazor están disponibles bajo la licencia MIT, una licencia de código abierto permisiva que permite su uso, modificación y distribución tanto en proyectos comerciales como no comerciales sin restricciones significativas (“Página Principal de Blazor,” 2023.). Esta

licencia requiere únicamente que se mantenga el aviso de copyright y de licencia en todas las copias o porciones sustanciales del software.

Blazor, como parte del proyecto ASP.NET, es un framework de código abierto que permite crear aplicaciones web utilizando C#, HTML y CSS en lugar de JavaScript (*Blazor | Build Client Web Apps with C# | .NET*, n.d.). Blazor WebAssembly permite ejecutar código C# directamente en el navegador a través de WebAssembly, sin necesidad de plugins adicionales (*ASP.NET Core Blazor | Microsoft Learn*, n.d.)

La licencia MIT bajo la cual se distribuyen estas tecnologías otorga libertad para:

1. Utilizar el software sin restricciones
2. Modificar el código fuente según las necesidades específicas del proyecto
3. Distribuir copias del software original o modificado
4. Incluir el software en productos comerciales

La única obligación es incluir el aviso de copyright y la licencia MIT en cualquier copia o porción sustancial del software.

1.8.4.3 Implicaciones legales para el proyecto LESTOMA

Para el desarrollo e implementación del proyecto LESTOMA, estas licencias implican que:

1. Para SQL Server:
 - En la fase de desarrollo, es posible utilizar SQL Server Developer Edition sin costo adicional.
 - Para la implementación en producción, será necesario adquirir las licencias correspondientes de SQL Server Standard o Enterprise, según los requerimientos específicos del sistema.
2. Para .NET, C# y Blazor WebAssembly:
 - El uso de estas tecnologías no implica un costo de licenciamiento adicional.
 - Es posible modificar y adaptar estas tecnologías según las necesidades del proyecto.

2.2.1.2 Alcance

Estas especificaciones de requerimientos están dirigidas al grupo (GISTFA) de la Universidad de Cundinamarca, adjunto también se crean para el posterior mantenimiento o actualizaciones del software.

2.2.1.3 Ámbito del sistema

Hoy en día el software representan una parte esencial para una gran cantidad de proyectos tecnológicos, uno de sus principales características es brindar acceso a la información, al igual que pueden brindar apoyo a la hora de administrar y controlar esta información a otros dispositivos, el objetivo de este software local es generar un sistema el cual logre gestión y administración para el laboratorio por medio de funcionalidades que le permitan cumplir los objetivos mencionados anteriormente, se planea que este aplicativo sea el puente entre el usuario y el laboratorio para lograr una interfaz hombre máquina.

2.2.1.4 Definiciones, acrónimos y abreviaturas

Tabla 1

Definición

| Nombre | Descripción |
|----------------|--|
| Acuicultura | Conjunto de técnicas y procedimientos con el fin de producir y comercializar organismos acuáticos, animales o vegetales. |
| Acuaponía | Sistema de producción cerrado el cual integra la técnica de la acuicultura junto con la hidroponía. |
| Software Local | Corresponde a herramientas que los usuarios pueden utilizar desde el computador. |

2.2.1.5 Referencias

| Título del Documento | Referencia |
|--|---|
| Standard IEEE 830 - 2008 | IEEE |
| ¿Qué es la Acuicultura? Importancia. Clasificación y Tipos de Cultivos | https://www.bialarblog.com/acuicultura/ |

2.2.2 Descripción General

El software local proporciona accesibilidad a los módulos de control y administración permitiendo un control de algunas funciones en particular del sistema LESTOMA para ser más específicas funciones tales como: alarmas, recirculación del agua, alimentación, oxígeno, generación de reportes y trazabilidad. Proporcionando también una trazabilidad en la información recolectada del sistema, en específico de variables como: pH, temperatura y nivel del agua, la temperatura ambiente, tiempo de alimentación y recirculación del agua. Todo esto para tener una vigilancia constante y rigurosa del sistema. Implementando una interfaz agradable y accesible a cualquier tipo de usuario.

2.2.2.1 Perspectiva del producto

El software estará disponible para el sistema acuapónico ya implementado y ubicado en la finca Vergel, el cual presenta la necesidad de implementar un software local en donde, mediante el manejo de roles se podrán asignar tareas las cuales cada persona puede cumplir y realizar permitiendo así una gestión, administración, supervisión y control adecuado de las variables del sistema en tiempo real, y una buena distribución de las funciones de cada usuario.

2.2.2.2 Funcionalidad del producto

Las funciones presentes en nuestro software local corresponden a:

- Captura de las diferentes variables que se desean mostrar en nuestro software local.
- Monitoreo de los valores suministrados por el sistema acuapónico.
- Creación y visualización de reportes con la información obtenida del sistema.

- Manipulación (acceso al comportamiento) de algunas varias funciones presentes en el sistema acuapónico tales como, alarmas, recirculación del agua, alimentación y oxígeno.

2.2.2.3 Características de los usuarios

En el diseño e implementación del sistema acuapónico LESTOMA, se ha adoptado un enfoque innovador en cuanto a la gestión de usuarios y asignación de permisos, alineado con los principios de seguridad Zero Trust.

Modelo de gestión de usuarios

A diferencia de los sistemas tradicionales que implementan roles predefinidos con conjuntos fijos de permisos, la aplicación LESTOMA utiliza un modelo basado en actividades asignadas individualmente. Esta decisión proviene directamente de las directrices establecidas por el grupo superadministrador, con el objetivo de implementar políticas de seguridad Zero Trust de manera efectiva.

El modelo Zero Trust parte de la premisa "nunca confiar, siempre verificar", lo que implica que ningún usuario tiene acceso inherente a recursos o funcionalidades por defecto. En lugar de asignar roles genéricos con amplios conjuntos de permisos, cada usuario recibe permisos específicos y granulares solo para las actividades que necesita realizar, siguiendo el principio de privilegio mínimo.

Asignación de actividades

El sistema implementa un mecanismo donde el superadministrador tiene la capacidad de asignar actividades específicas a cada usuario según sus responsabilidades concretas. Esto permite:

1. **Control granular de acceso:** Cada usuario solo puede acceder a las funcionalidades específicas que le han sido explícitamente asignadas.
2. **Reducción de la superficie de ataque:** Al limitar los permisos a lo estrictamente necesario, se minimiza el potencial impacto de una cuenta comprometida.

3. **Auditoría precisa:** El sistema puede rastrear con exactitud qué actividades específicas puede realizar cada usuario y cuáles ha ejecutado efectivamente.
4. **Flexibilidad operativa:** Los permisos pueden ajustarse dinámicamente según cambien las responsabilidades del usuario, sin necesidad de cambiar entre roles predefinidos que podrían otorgar permisos excesivos o insuficientes.

Proceso de autenticación y autorización

Para mantener la integridad del modelo Zero Trust, el sistema implementa:

1. **Autenticación robusta:** Cada usuario debe validar su identidad mediante credenciales seguras antes de acceder al sistema.
2. **Verificación continua:** El sistema no solo verifica la identidad al inicio de sesión, sino que valida los permisos en cada intento de acceso a una funcionalidad específica.
3. **Registro detallado:** Todas las acciones y actividades realizadas por los usuarios son registradas para posibilitar auditorías de seguridad posteriores.

Ventajas del modelo adoptado

La implementación de este enfoque basado en actividades en lugar de roles tradicionales proporciona varias ventajas:

1. **Seguridad mejorada:** Al implementar el principio de privilegio mínimo, se reduce significativamente el riesgo de accesos no autorizados.
2. **Configuración personalizada:** Cada usuario puede tener un conjunto de permisos exactamente adaptado a sus necesidades específicas.
3. **Escalabilidad del modelo de seguridad:** El sistema puede evolucionar fácilmente para incorporar nuevas funcionalidades sin necesidad de redefinir estructuras de roles complejas.
4. **Cumplimiento normativo:** Este enfoque facilita el cumplimiento de regulaciones que exigen control de acceso estricto a información sensible.

Este modelo de gestión de usuarios, aunque más complejo de administrar inicialmente que un sistema tradicional basado en roles, proporciona un nivel de seguridad y flexibilidad significativamente superior, alineándose perfectamente con los principios de Zero Trust y las necesidades específicas del sistema acuapónico LESTOMA.

2.2.2.4 Restricciones

- El software local funcionara sin conexión a internet continua.
- El software local será desarrollado en C#, con el Framework .Net.
- El software local debe contar con roles a los cuales se les asignara determinadas funciones.
- El software local debe contar con una conexión en el sistema acuapónico para la recepción de información brindada por este. De lo contrario debe sincronizar la información con el servidor del proyecto.

2.2.2.5 Suposiciones y dependencias

- El servidor debe soportar el gestor de base de datos SQL Server.
- El aplicativo debe tener un complemento que permita la toma de los valores en tiempo real.
- El servidor debe soportar y ejecutar el framework .Net.

2.2.2.6 Requerimientos futuros

- Técnicas de inteligencia artificial para llevar registro y trazabilidad de crecimiento, peso, talla, color, forma en los peces y las plantas.
- Analítica de las variables controladas.
- Monitoreo del sistema en forma de audio y video.

2.2.3 Requerimientos específicos

2.2.3.1 Interfaz usuario

- La interfaz debe cargar las actividades dependiendo de los usuarios que accederán al aplicativo, esto con el fin de conseguir una adecuada interacción con la aplicación. Que sea parametrizable e intuitiva.
- Los reportes de la aplicación serán claros para todo tipo de usuario permitiendo así un entendimiento de estos.

2.2.3.2 Interfaz de hardware

- Mínima velocidad de procesamiento 1.2 GHz.
- Mínima capacidad de memoria RAM 1 GB.
- Mínima capacidad de disco duro 6 GB.
- Disposición de puertos USB (COM).

2.2.3.3 Interfaz de software

- Se debe tener los servidores correspondientes, las bases de datos en SQL Server, los usuarios y la interfaz del software local deben ir conectados entre sí para brindar un correcto funcionamiento.
- Debe contar con un servidor web para el uso de la web sin inconveniente

2.2.3.4 Funciones

Tabla 2

Funciones de la plataforma RF1

| | |
|---|----------|
| Identificación del requerimiento | RF1 |
| Nombre del requerimiento | Registro |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Descripción del requerimiento | El sistema debe contar con un apartado de registro donde los usuarios diligencien la información solicitada y se haga su posterior registro. |
|--------------------------------------|--|

Tabla 3

Funciones de la plataforma RF2

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF2 |
| Nombre del requerimiento | Login |
| Descripción del requerimiento | El sistema debe contar con un apartado de ingreso donde los usuarios accedan con sus datos correspondientes. |

Tabla 4

Funciones de la plataforma RF3

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF3 |
| Nombre del requerimiento | Conexión en tiempo real |
| Descripción del requerimiento | El sistema debe contar con una conexión en tiempo real la cual permita la toma de las variables en el momento en el que se actualizan se ve algún cambio reflejado en ellas. |

Tabla 5

Funciones de la plataforma RF4

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF4 |
| Nombre del requerimiento | Monitoreo de las variables controladas |
| Descripción del requerimiento | Los usuarios podrán monitorear desde el software local las variables de control correspondientes que arroja el sistema propio de cada unidad productiva. |

Tabla 6

Funciones de la plataforma RF5

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF5 |
| Nombre del requerimiento | Notificaciones del software local |
| Descripción del requerimiento | El software local deberá mostrar notificaciones y alertas cuando las variables controladas se encuentren fuera de su rango normal por medio de correo electrónico |

Tabla 7

Funciones de la plataforma RF6

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF6 |
| Nombre del requerimiento | Perfil usuario |
| Descripción del requerimiento | El aplicativo deberá permitir al usuario correspondiente modificar e incluir información característica de su perfil. |

Tabla 8

Funciones de la plataforma RF7

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF7 |
| Nombre del requerimiento | Generar reportes. |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá generar los reportes correspondientes a la información recolectada de las variables controladas y acciones realizadas en el sistema. Teniendo en cuenta el rango de tiempo y el tipo de variable que determine el usuario. |

Tabla 9

Funciones de la plataforma RF8

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF8 |
| Nombre del requerimiento | Roles de usuarios |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá permitir registrar y acceder a dos tipos de roles a los cuales se les asignará permisos y actividades distintas (Algunas en común). Siendo el rol Administrador el principal. |

Tabla 10

Funciones de la plataforma RF9

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF9 |
| Nombre del requerimiento | Permitir control de algunas actividades |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá permitir al administrador activar o desactivar algunas funciones (Alarmas, alimentadores, recirculación del agua y oxígeno) del sistema acuapónico. El administrador deberá conceder acceso y permiso a esta función al usuario que el determine |

Tabla 11

Funciones de la plataforma RF10

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF10 |
| Nombre del requerimiento | Control y reportes de la información |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá contar con un apartado en donde se encuentre agrupada en forma de información las acciones realizadas y las variables obtenidas. |

Tabla 12

Funciones de la plataforma RF11

| | |
|---|------|
| Identificación del requerimiento | RF11 |
|---|------|

| | |
|--------------------------------------|--|
| Nombre del requerimiento | Visualización grafica |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá mostrar la información de las variables medidas en forma gráfica dinámica, en un plano cartesiano. |

Tabla 13

Funciones de la plataforma RF12

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF12 |
| Nombre del requerimiento | Conexión o integración con el hardware |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá establecer una conexión con el hardware y obtener la información suministrada por este. |

Tabla 14

Funciones de la plataforma RF13

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF13 |
| Nombre del requerimiento | Validar protocolos de comunicación LESTOMA |
| Descripción del requerimiento | El sistema deberá validar y cumplir los protocolos de comunicación estipulados y presentes en el laboratorio. |

Tabla 15

Funciones de la plataforma RF14

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF14 |
| Nombre del requerimiento | Recuperación de contraseña |
| Descripción del requerimiento | El software local deberá contar con una opción de recuperar contraseña, mediante un código de verificación enviado vía correo electrónico |

Tabla 16

Funciones de la plataforma RF15

| | |
|---|---|
| Identificación del requerimiento | RF15 |
| Nombre del requerimiento | Gestión de usuarios |
| Descripción del requerimiento | El software local deberá permitirle al administrador visualizar los usuarios registrados hasta el momento en el sistema |

Tabla 17

Funciones de la plataforma RF17

| | |
|---|--|
| Identificación del requerimiento | RF17 |
| Nombre del requerimiento | Notificaciones del usuario al administrador |
| Descripción del requerimiento | El software local deberá contar con un apartado donde permita al usuario generar notificaciones de irregularidades y observaciones |

| | |
|--|---|
| | encontradas en el sistema, para su posterior visualización en el rol de administrador |
|--|---|

2.2.4 Requisitos de rendimiento

La interfaz deber ser de carga rápida la cual permita la correcta interacción con el usuario, las variables que se muestran en tiempo real dependen del servidor y la conexión a la base de datos por eso debe tener una conexión constante con los servidores

2.2.5 Restricciones de diseño

El diseño del aplicativo será simple e intuitivo, esto con el fin de que el usuario tenga una experiencia agradable, la interfaz de este aplicativo se ajustará solamente a la versión de ordenador.

2.2.6 Atributos del sistema

El aplicativo contara con facilidades y controles los cuales permitirán el acceso a los datos que brindara el sistema, igualmente estos datos deberán ser confiables y precisos para su fácil acceso. El software local deberá permitir su ejecución desde cualquier sistema operativo (De ordenadores) desde del que se desee acceder.

2.2.7 Requisitos no funcionales

- El software local tendrá un apartador de autenticación para el administrador.
- En el software local el rol de administrador brindara acceso y permisos, actividades a el rol de usuario.
- El software local deberá identificar si hay usuarios repetidos antes de su registro.
- El software local permitirá el registro de un administrador y usuario enviando un correo mediante el cual se confirmará la creación de la cuenta.
- La aplicación deberá estar configurado en el alfabeto español.

- El aplicativo deberá permitirle al usuario buscar la información de su interés de manera ágil.
- El software local deberá tener un interfaz con un diseño intuitivo para los usuarios (Administrador y usuario).
- El software local deberá contar con las medidas de seguridad necesarias para que el personal no autorizado no pueda acceder a la información.
- El software local deberá controlar el acceso de los usuarios a través de un mecanismo de autenticación basado en un correo y contraseña únicos.

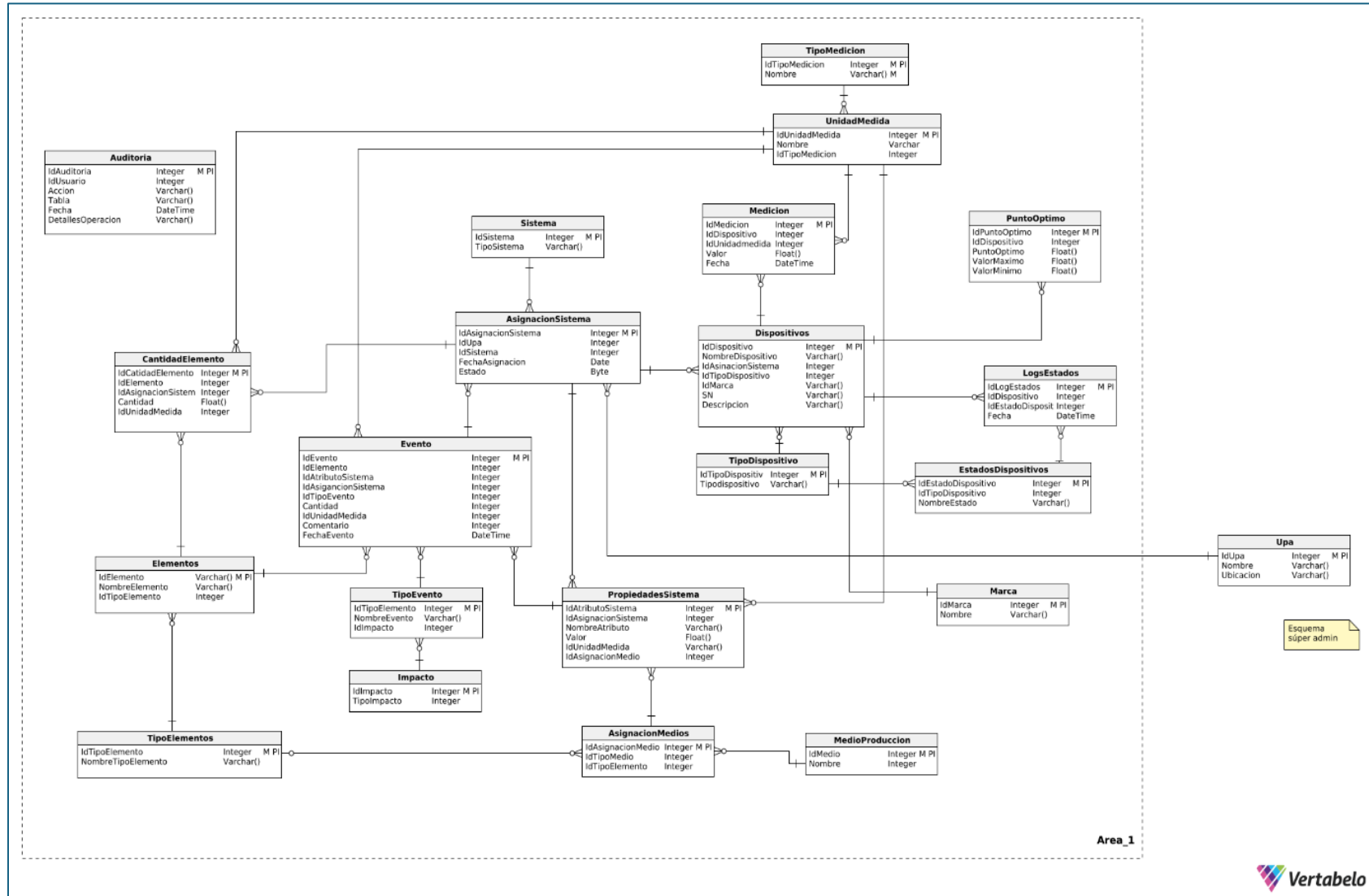
2.3 ESPECIFICACIÓN DEL DISEÑO

2.3.1 Modelo entidad Relación

El diagrama de Modelo Entidad Relación se encarga de la representación de las entidades con sus respectivas atributos y relaciones de una base de datos.

Figura 4

Diagrama MER

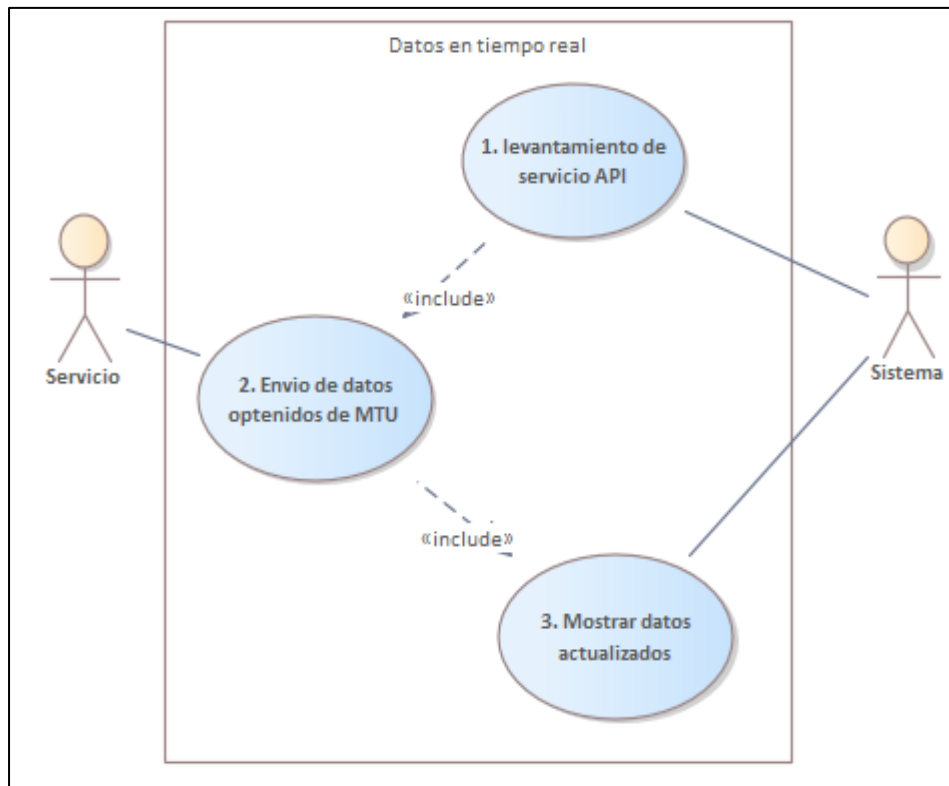


2.3.1.1 Diagramas de caso de uso

Los diagramas de casos son aquellos los encargados de mostrar la relación entre los usuarios y el sistema.

Figura 5

CU01 Datos en tiempo real



La figura 5 muestra el diagrama de como interactúa el servicio con el sistema para tener los datos en tiempo real para su posterior visualización en las diferentes interfaces de usuario.

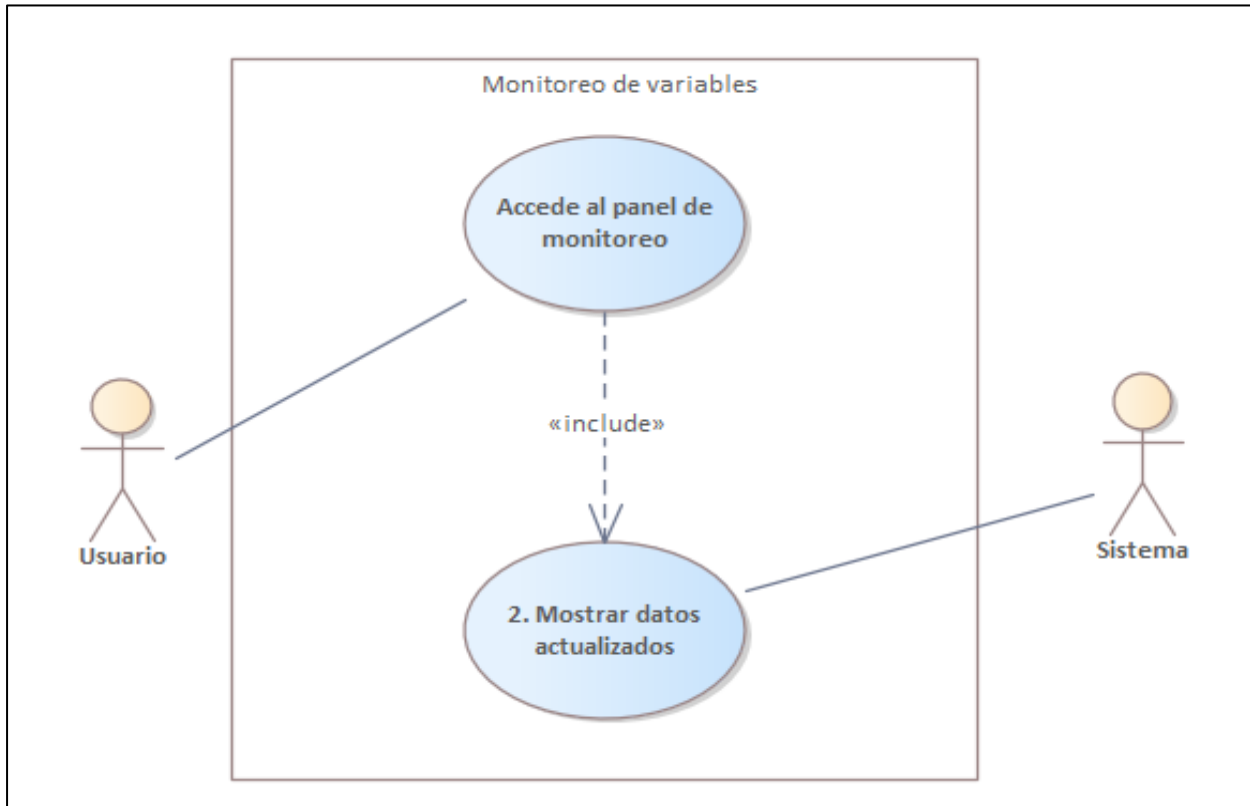
Tabla 18

Integración Hardware

| | |
|--|---|
| Nombre: | Integración con hardware |
| Autor: | Juan diego pachón poveda |
| Fecha: | 4/06/2023 |
| Descripción: | |
| Los datos llegan por el puerto serial para ello es necesario que establezca la comunicación y reciba los datos para enviarlos a los sistemas para su visualización | |
| Actores: | |
| Servicio, sistema | |
| Precondiciones: | |
| Pc encendido y servicios instalados | |
| Flujo normal: | |
| Servicio | Sistema |
| | 1. Servicio api disponible para peticiones http |
| 2. El servicio recibe los datos y los envía al api a través de una petición http post | |
| | 3. El api recibe la petición http y verifica la información y procede a guardar la información en base de datos |
| Postcondiciones: | |
| El servicio y el api mantendrán el envío de la información a través de peticiones al api | |

Figura 6

CU02 Monitoreo de variables



En la Figura 6 se observa cómo interactúan el usuario y el sistema para visualizar los datos desde la interfase de usuario.

Tabla 19

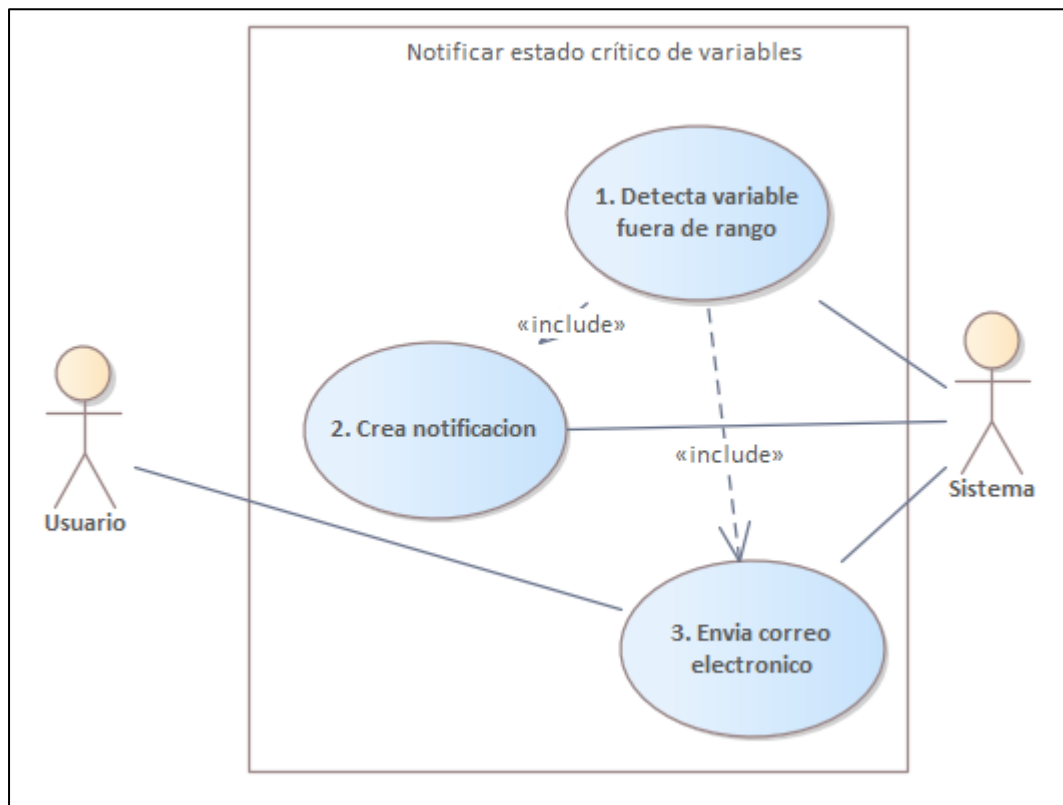
Monitoreo de variables

| | |
|---------------------|--|
| NOMBRE: | Monitoreo de variables |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | Visualización de las variables del sistema |
| ACTORES: | Sistema, Usuario |

| | |
|---|--|
| PRECONDICIONES: | |
| Pc encendido y servicios instalados | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| Accede al panel de monitoreo, dando clic en | |
| | Carga los datos de la base de datos en dashboard |
| Visualiza las variables | |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario puede continuar visualización mientras mantenga el dashboard abierto | |

Figura 7

Notificación de alertas (AUTOR)



El sistema al detectar que variables fuera de los rangos establecidos se debe realizar la notificación visual como la correspondiente notificación por correo, este comportamiento se puede visualizar en la figura 7.

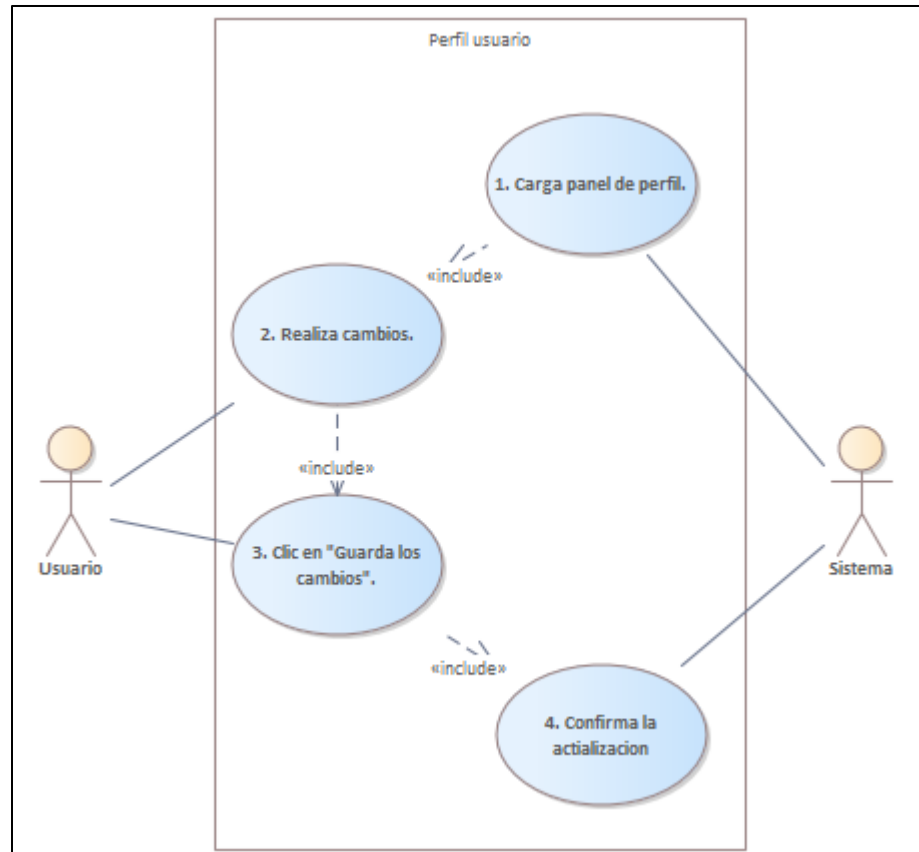
Tabla 20

Notificaciones de alerta

| | |
|---|--|
| NOMBRE: | Notificación estado crítico de variables |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| El sistema alerta al usuario de anomalías o de no cumplimiento de puntos óptimos en las variables | |
| ACTORES: | |
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Pc encendido y servicios instalados | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| | Valida las variables de entrada y compara con puntos óptimos |
| | Envía notificación al usuario |
| Visualización de notificación | |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario debe dar las instrucciones de corrección para que el sistema no comience a producir pérdidas | |

Figura 8

Actualización perfil (AUTOR)



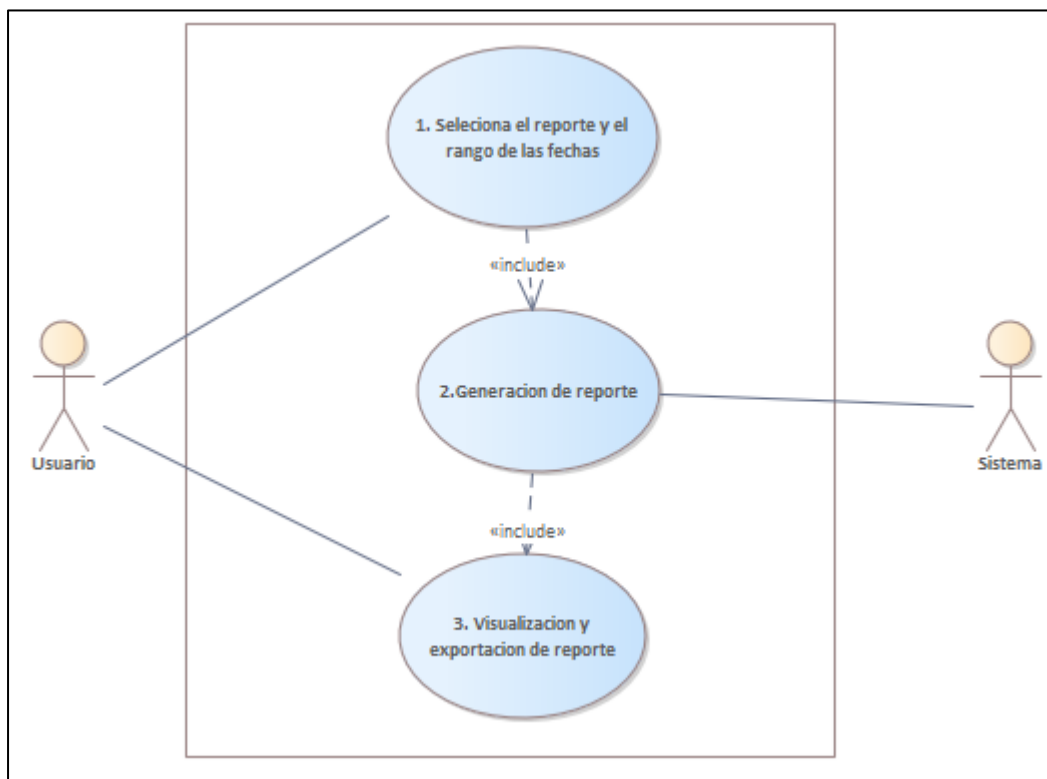
La actualización del perfil como se muestra en la figura 7 se tomó como requerimiento al iniciar, pero cabe recordar que esta acción la debe realizar el usuario con el superadministrador.

Tabla 21

Actualización de perfil

| | |
|--|-----------------------------------|
| NOMBRE: | Perfil de Usuario |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| El usuario podrá realizar la actualización de datos en la plataforma | |
| ACTORES: | |
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Usuario debe iniciar sección primero | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| | Carga panel de perfil del usuario |
| Realiza los cambios | |
| Clic en guardar cambios | |
| | Guarda los cambios y confirma |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario podrá verificar los datos en su panel de validación | |

Figura 9
Reportes (AUTOR)



A los reportes que genera el sistema se les debe especificar las fechas para obtener los datos que se desean, para ello deben ser específicos. Esta acción esta estipulada en la figura 9

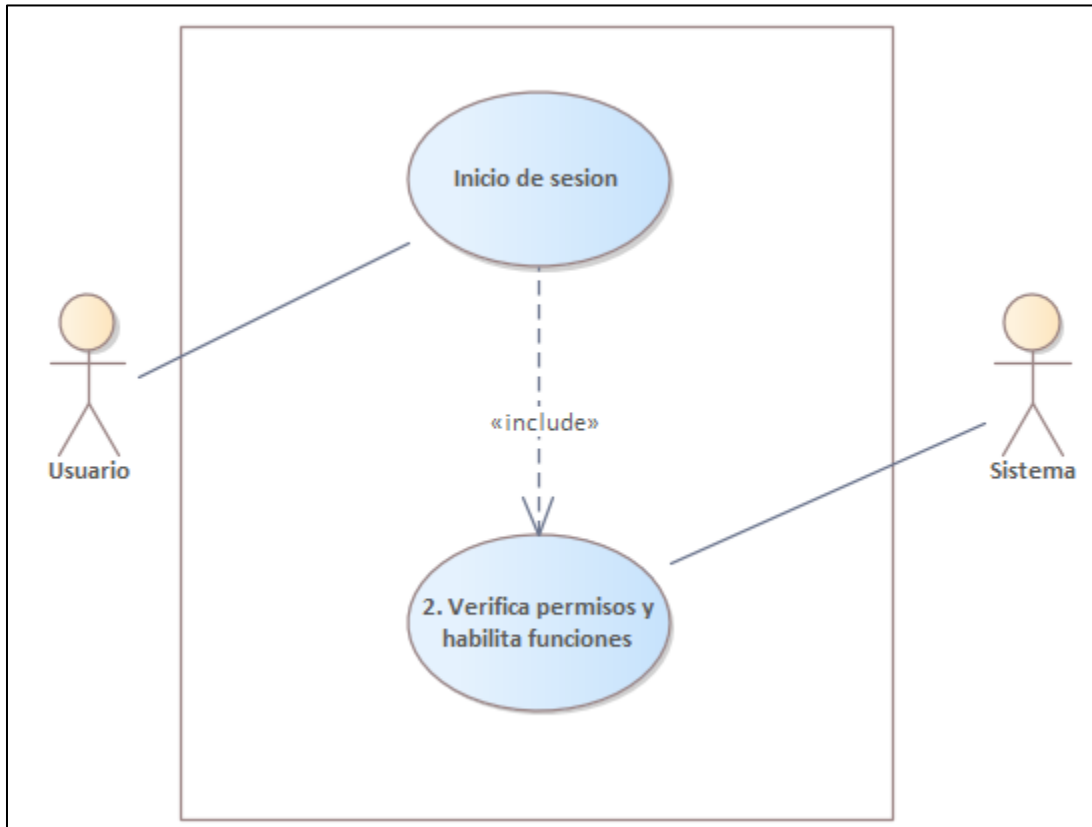
Tabla 22

Reportes

| | |
|--|---|
| NOMBRE: | Generación de reportes |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| Generar Reportes para visualización de datos de manera | |
| ACTORES: | |
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Usuario debe iniciar sección primero, y estar en apartado de mediciones | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| Usuario debe indicar las fechas del reporte | |
| | Realiza la consulta a base de datos y genera el reporte |
| Visualiza y puede extraer el reporte | |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario podrá realizar las acciones que necesite con el reporte, respetando la confidencialidad integridad y disponibilidad de la información | |

Figura 10

Inicio de sesión (AUTOR)



El usuario para realizar las diferentes actividades debe iniciar en el aplicativo como se observa en el diagrama de la figura 10.

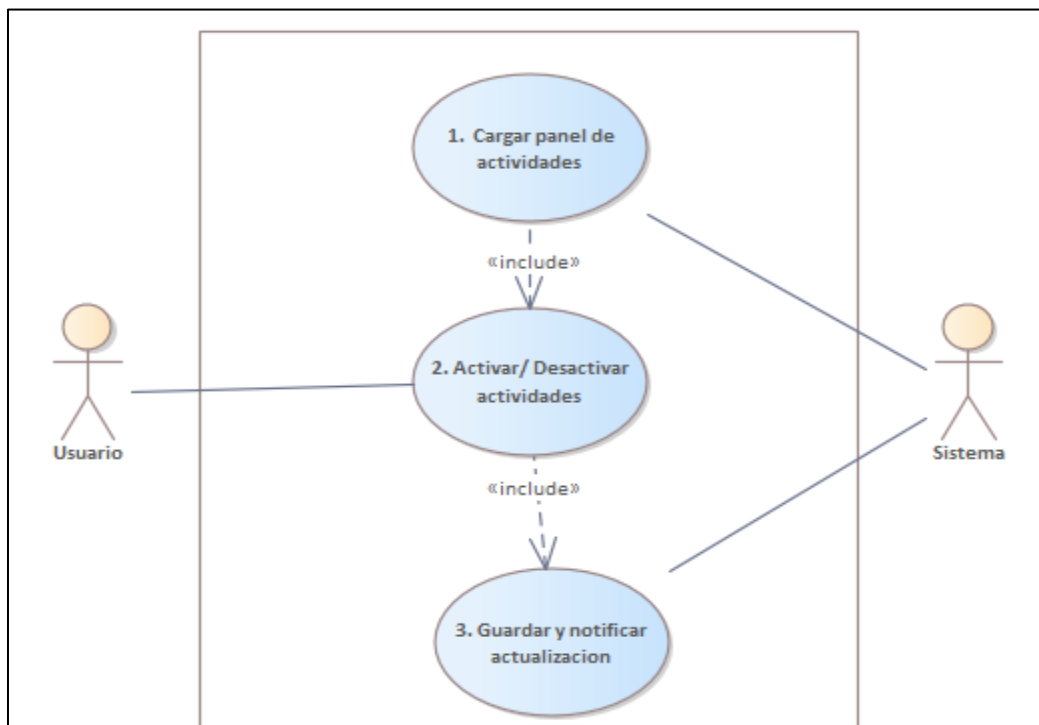
Tabla 23

Inicio de sesión

| | |
|------------------------|---|
| NOMBRE: | Inicio de sesión |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| | El usuario debe digitar sus credenciales de acceso para acceder a las funciones |
| ACTORES: | |
| | Sistema, Usuario |
| PRECONDICIONES: | |

| | |
|--|--|
| Usuario debe estar registrado en la plataforma por el departamento de Superadministrador | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| Usuario digita sus credenciales de acceso | |
| | Verifica las credenciales y consulta las actividades |
| Accede | |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario solo podrá realizar las actividades que tenga permitido realizar | |

Figura 11
Actividades (AUTOR)



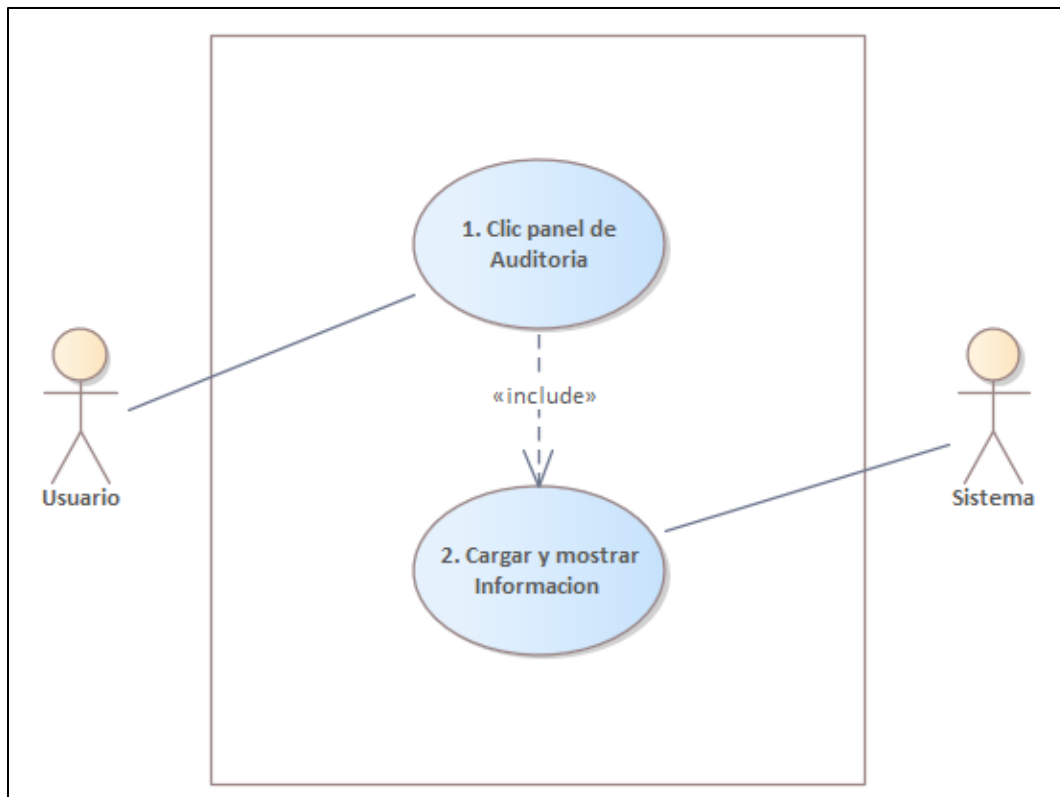
Como se observa la figura 11 el usuario con permisos en modificar las actividades podrá realizar la activación y desactivación de actividades en las UPAs o en los usuarios.

Tabla 24

Activación o desactivación de actividades

| | |
|---|--|
| NOMBRE: | Activación/desactivación de actividades |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| El usuario con permisos podrá realizar a desactivación de las actividades en los sistemas o para los demás usuarios | |
| ACTORES: | |
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Usuario debe estar iniciar sesión y debe contar con el permiso en la actividad | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| | Carga panel de actividades para los respectivos usuarios |
| Realiza la activación o desactivación de Actividades | |
| | Guarda y notifica actualización |
| POSCONDICIONES: | |
| El usuario solo podrá realizar las actividades que tiene activas | |

Figura 12
Auditoria (AUTOR)



La figura 12 muestra el comportamiento del usuario y el sistema para la visualización de la auditoria del sistema, este apartado es importante para saber las acciones de los diferentes usuarios en el sistema.

Tabla 25

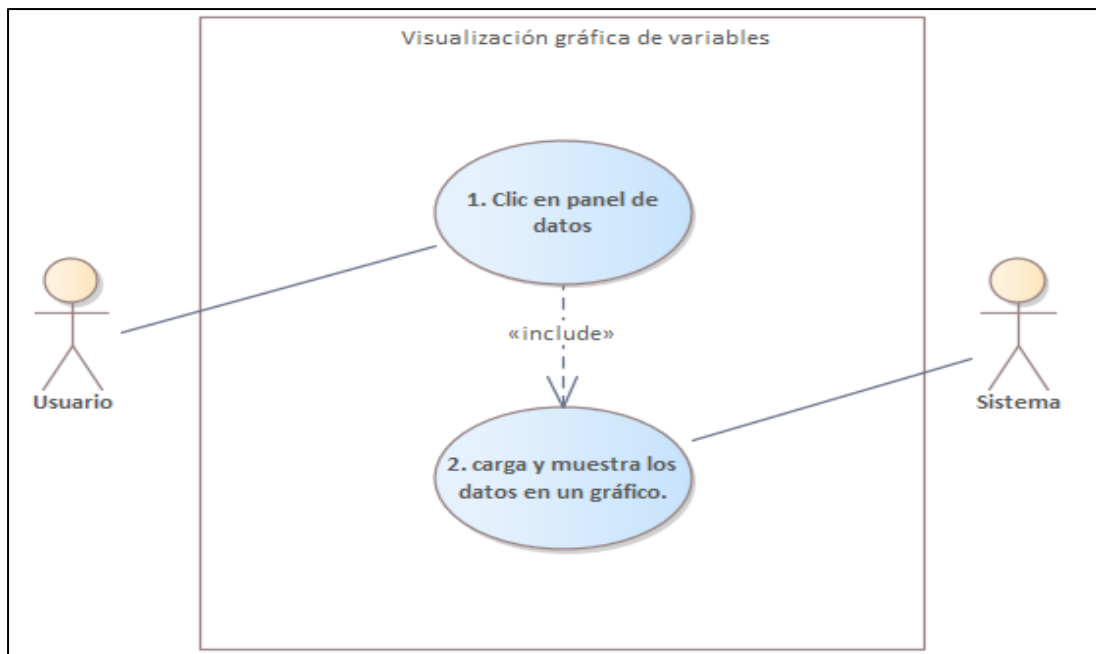
Auditoria

| | |
|---------------------|--|
| NOMBRE: | Auditoria |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| | El usuario con permisos podrá realizar ver las diferentes acciones que realiza los usuarios en el sistema, para ello debe de contar con los permisos en esta actividad |
| ACTORES: | |

| | |
|---|---|
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Usuario debe estar iniciar sesión y debe contar con el permiso para visualizar la auditoria | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| Clic botón Auditoria en el panel principal | |
| | Carga panel de actividades para los respetivos usuarios |
| POSCONDICIONES: | |
| Usuario visualiza pero no tienen permitido realizar ninguna modificación en el sistema | |

Figura 13

Visualización de variables



La figura 13 muestra el comportamiento del usuario y el sistema para la visualización de las variables del sistema, este apartado es importante para saber las acciones de los diferentes usuarios en el sistema.

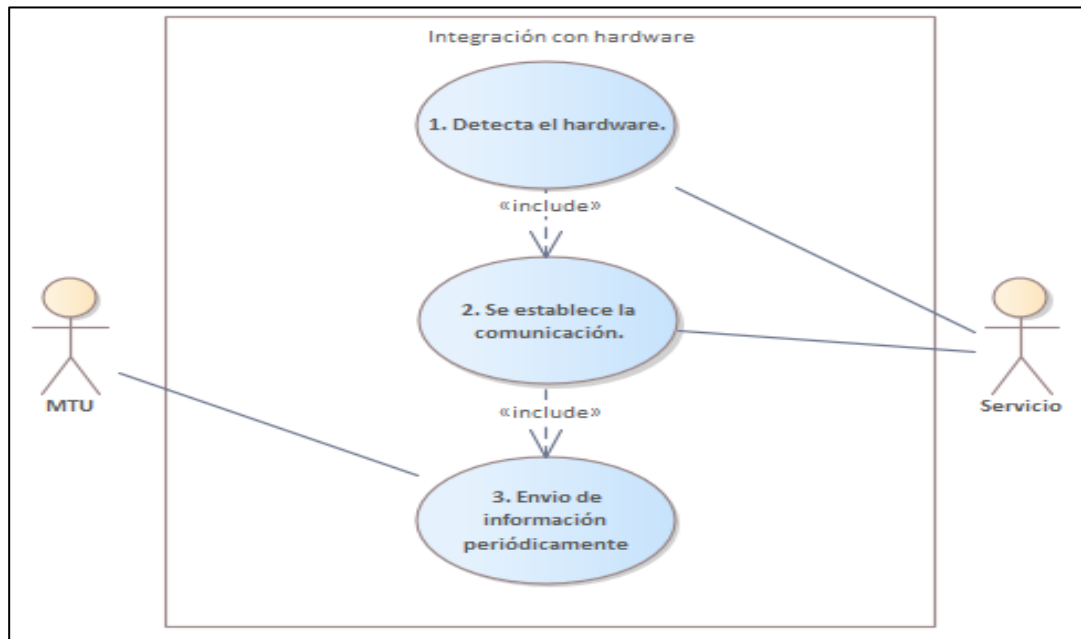
Tabla 26

Visualización de variables

| | |
|---|---------------------------------------|
| NOMBRE: | Visualización de variables |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | |
| El usuario visualiza las variables del sistema en el panel de datos del sistema | |
| ACTORES: | |
| Sistema, Usuario | |
| PRECONDICIONES: | |
| Usuario debe contar con el aplicativo abierto | |
| FLUJO NORMAL: | |
| Usuario | Sistema |
| Clic en el botón de panel de datos | |
| | Carga y muestra los datos en gráficos |
| POSCONDICIONES: | |
| Usuario visualiza pero no tienen permitido realizar ninguna modificación | |

Figura 14

Integración Hardware (AUTOR)



Los datos son importantes para el funcionamiento del sistema, por lo que es crucial establecer una comunicación eficiente entre las interfaces de usuario y los servicios que gestionan la información. En este contexto, el diagrama presentado en la Figura 14 ilustra la interacción entre la **MTU** y el servicio encargado de la adquisición de datos.

Tabla 27.

Descripción integración hardware

| | |
|---------------------|--|
| NOMBRE: | integración con Hardware |
| AUTOR: | Juan Diego Pachón Poveda |
| FECHA: | 4/06/2023 |
| DESCRIPCION: | La MTU envía los datos por el puerto serial para ello es necesario que establezca la comunicación y reciba los datos de los sensores |
| ACTORES: | MTU, Servicio |

| | |
|--|--|
| PRECONDICIONES: | |
| Debe estar conectado el MTU al pc por los puertos seriales | |
| FLUJO NORMAL: | |
| MTU | Servicio |
| Detecta el hardware | |
| Establece comunicación | |
| | Envío de la información de los sensores periódicamente |
| POSCONDICIONES: | |
| La Información se enviará continuamente mientras la conexión se mantenga | |

2.3.2 Diagramas de secuencia

Los diagramas de secuencia corresponden al tipo de diagrama de interacción el cual se encarga de mostrar el orden y cómo funcionan los objetos del software

Figura 15

DS Datos en tiempo real (AUTOR)

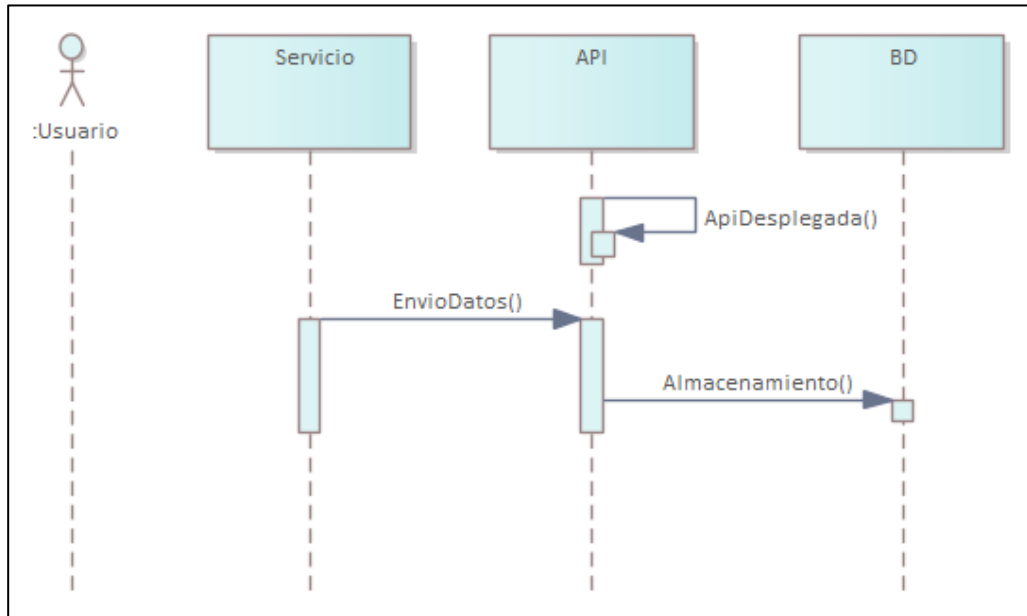


Figura 16

DS Monitoreo de variables (AUTOR)

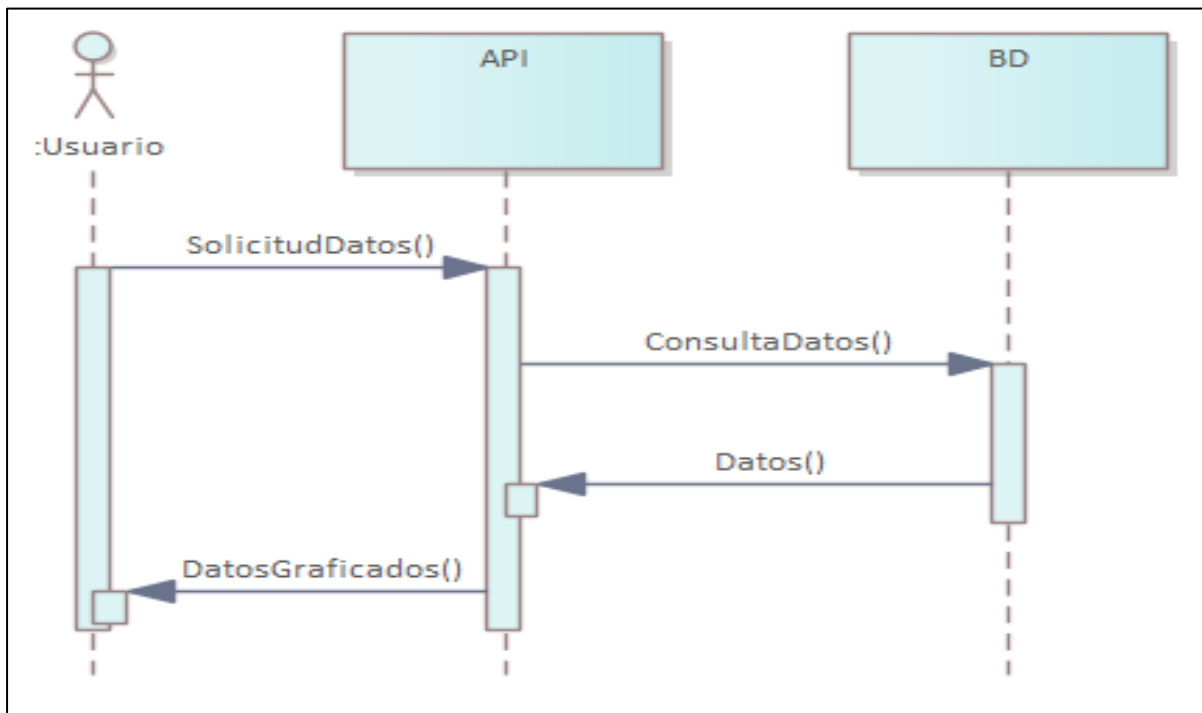


Figura 17

DS Notificaciones (AUTOR)

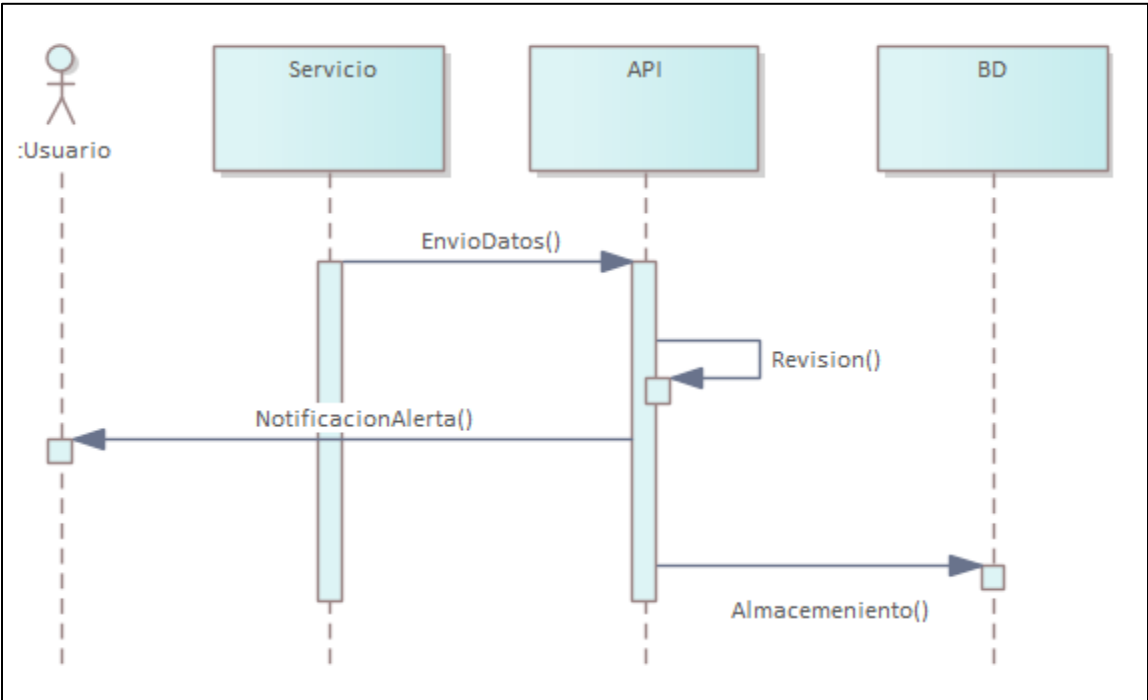


Figura 18

DS Reportes (AUTOR)

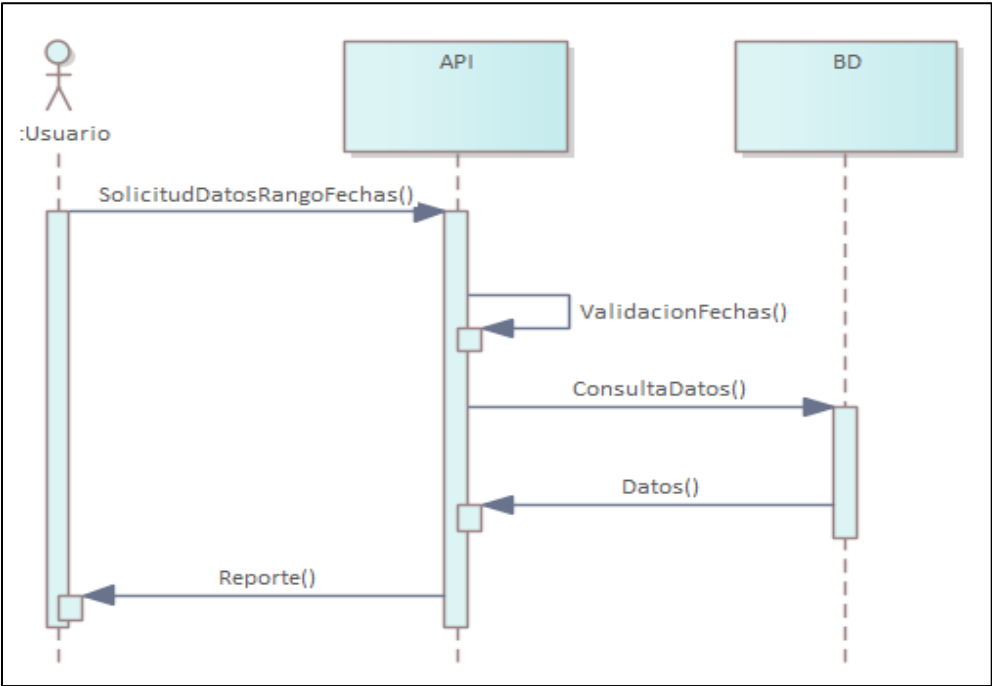


Figura 19

DS Inicio de sesión (AUTOR)

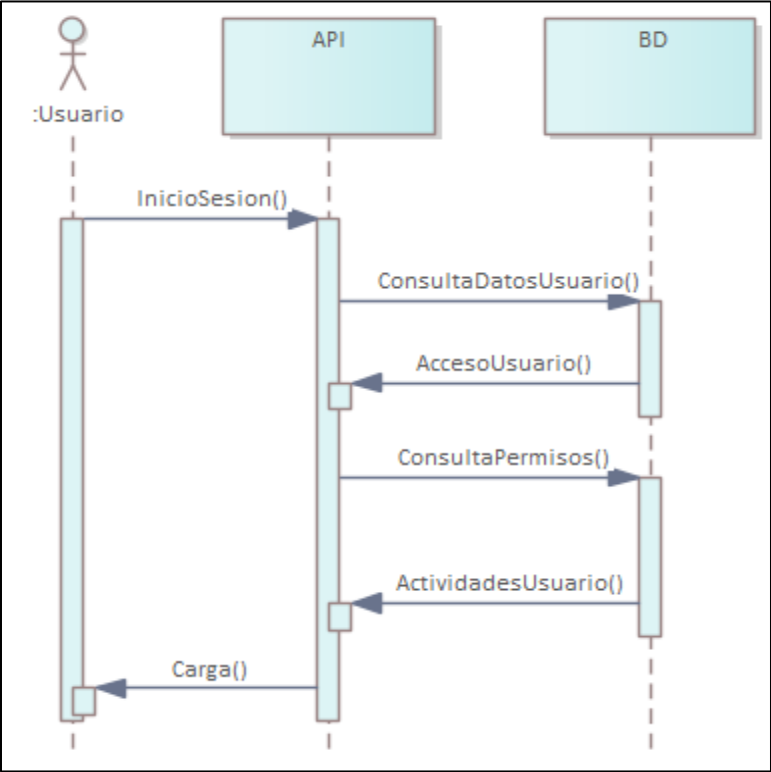


Figura 20

DS Modificar Actividades (AUTOR)

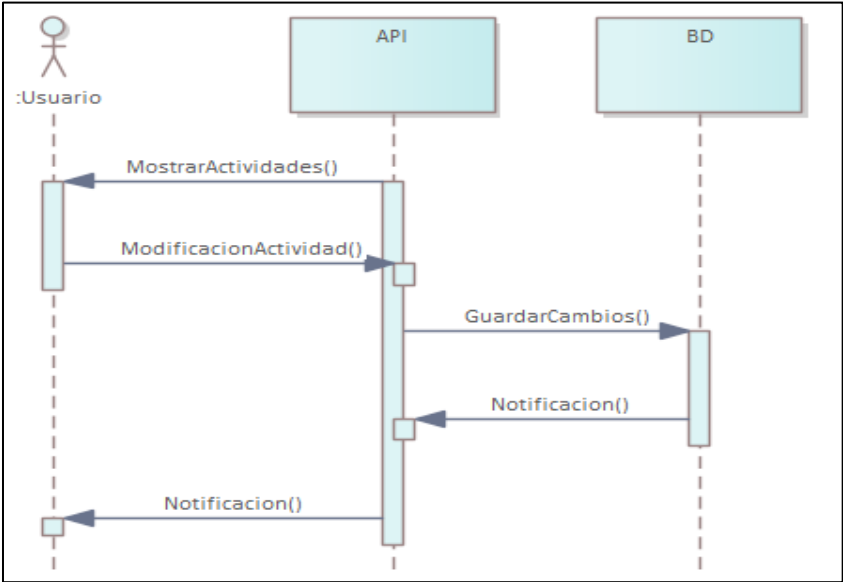


Figura 21

DS Auditoria (AUTOR)

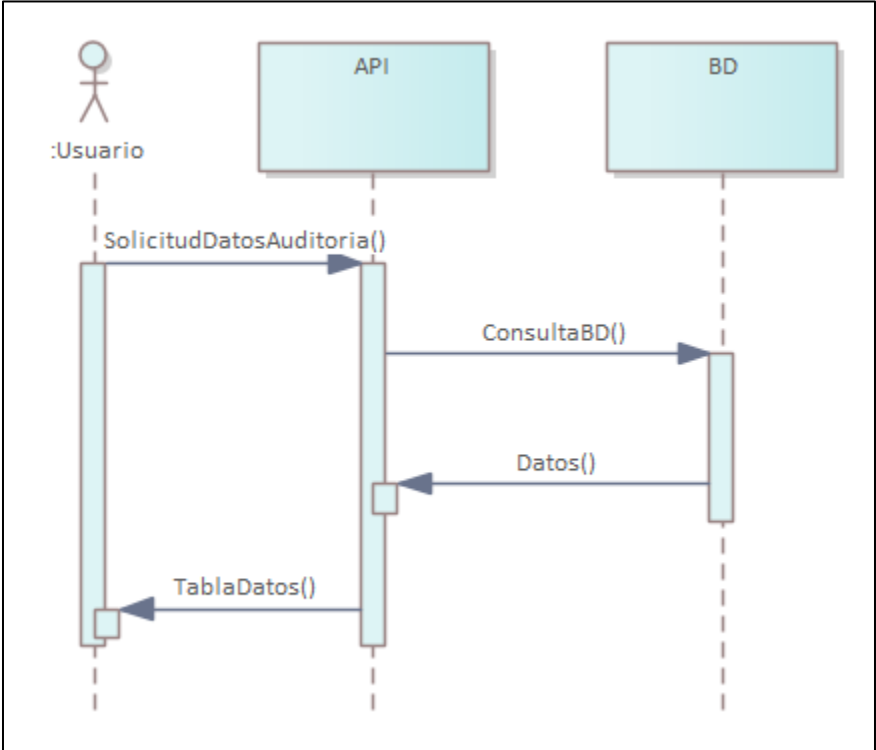


Figura 22

DS Grafica de datos (AUTOR)

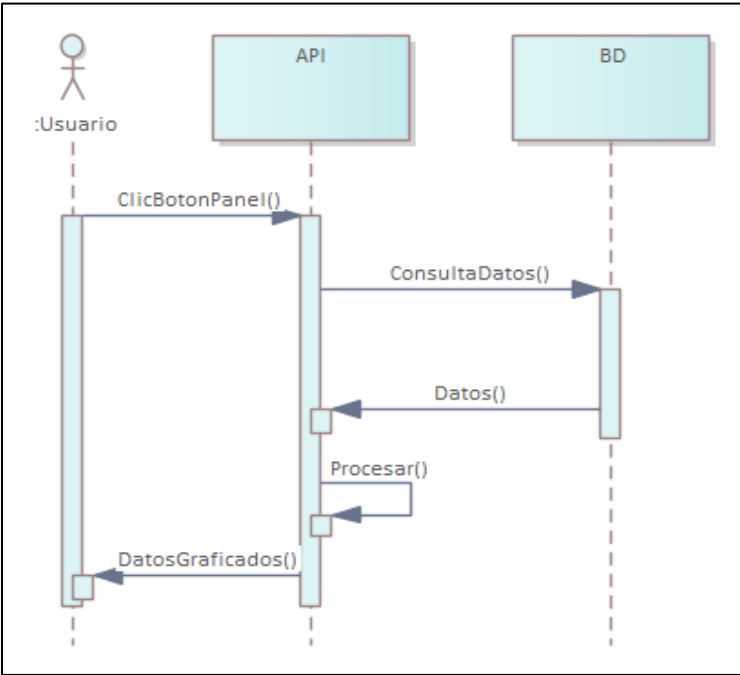
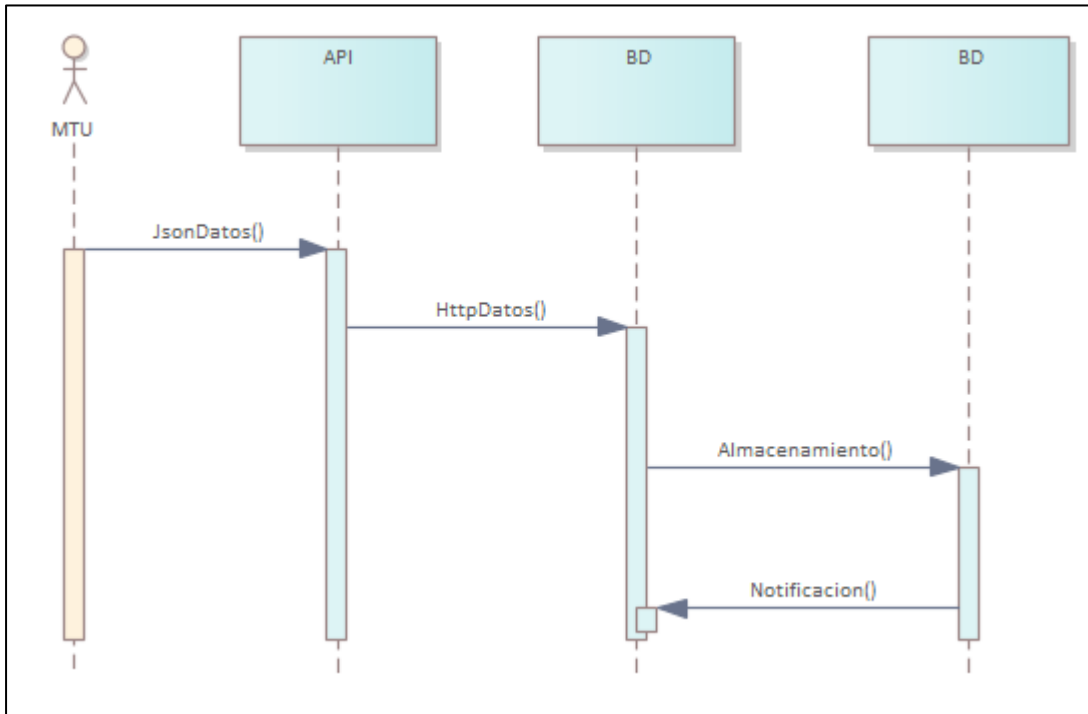


Figura 23

DS integración Hardware (AUTOR)



2.3.3 Diagramas de Actividades

Los diagramas de actividad corresponden a un tipo de diagrama de flujo que se encargan de modelar el comportamiento del sistema.

Figura 24

DA01 Datos en tiempo real

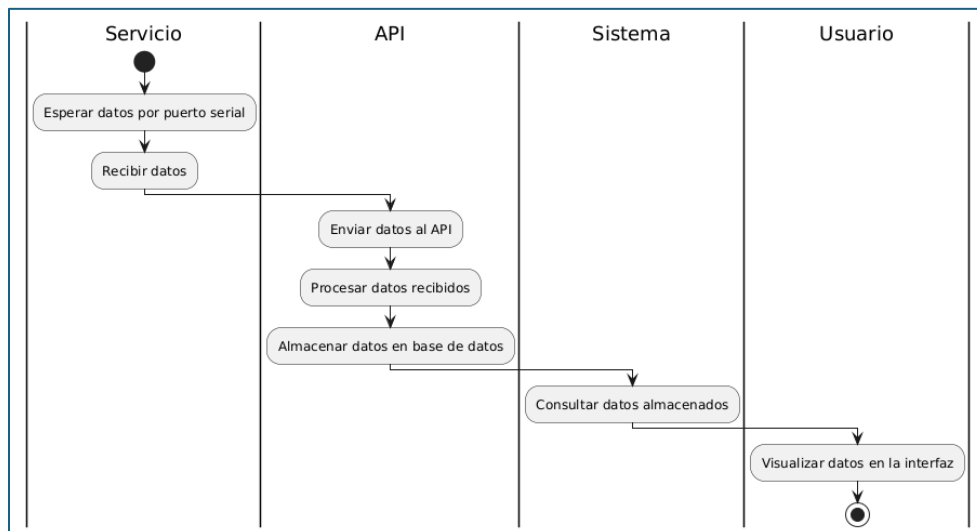


Figura 25

DA02 Envío de datos

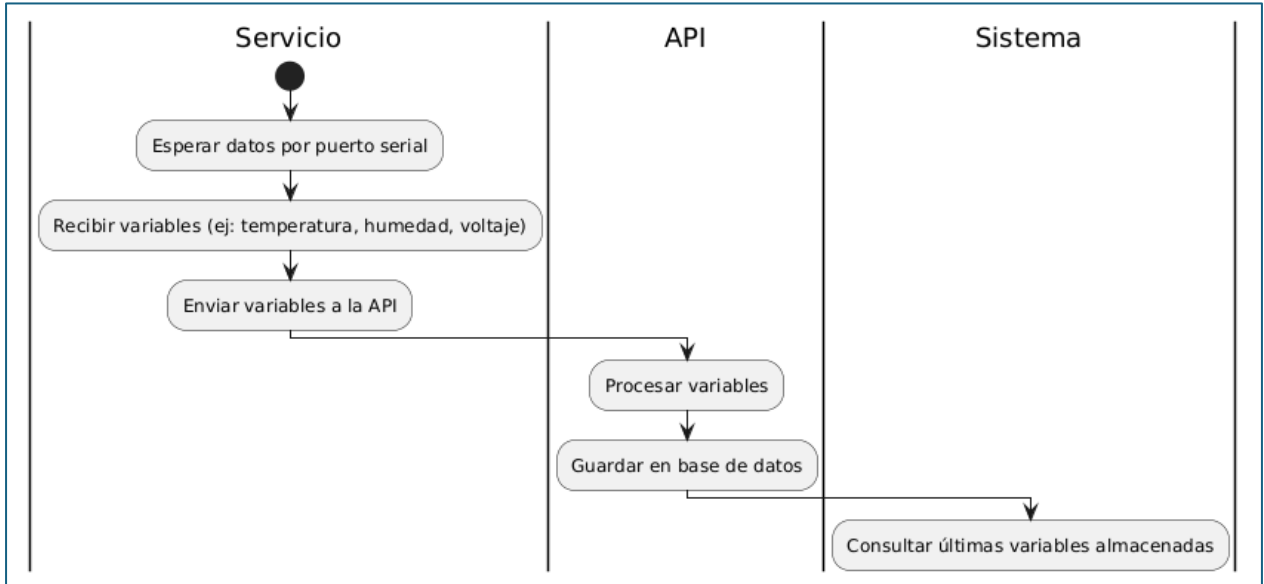


Figura 26

DA03 Inicio de sesión

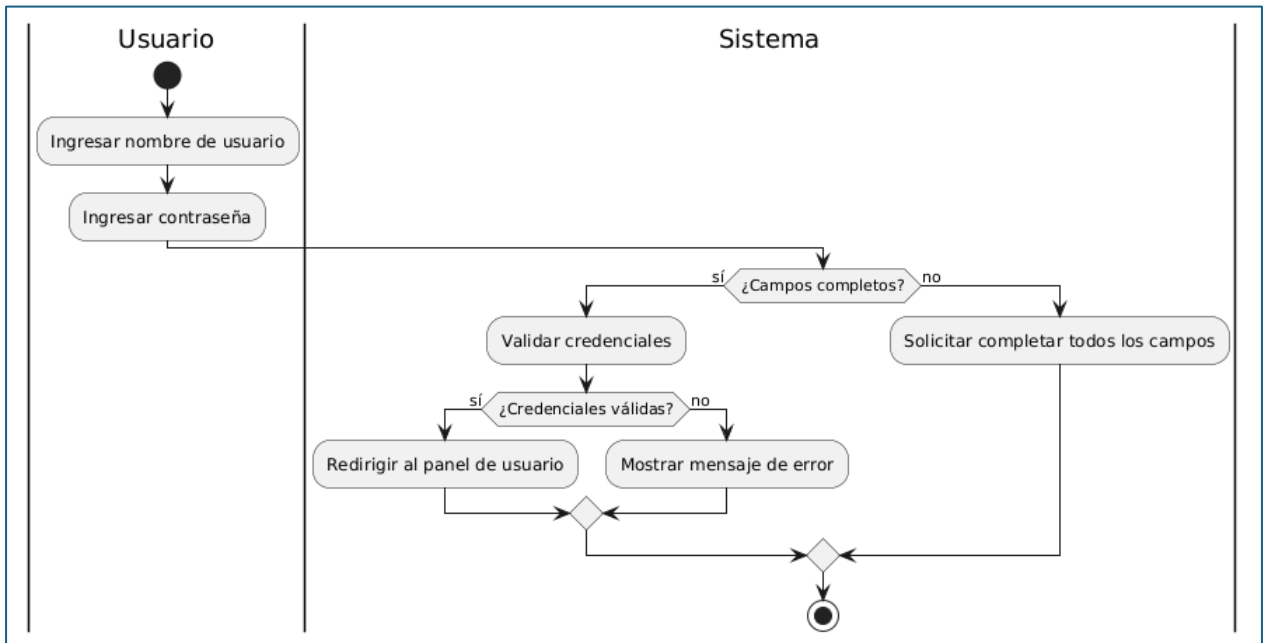


Figura 27

DA04 Notificación de alertas

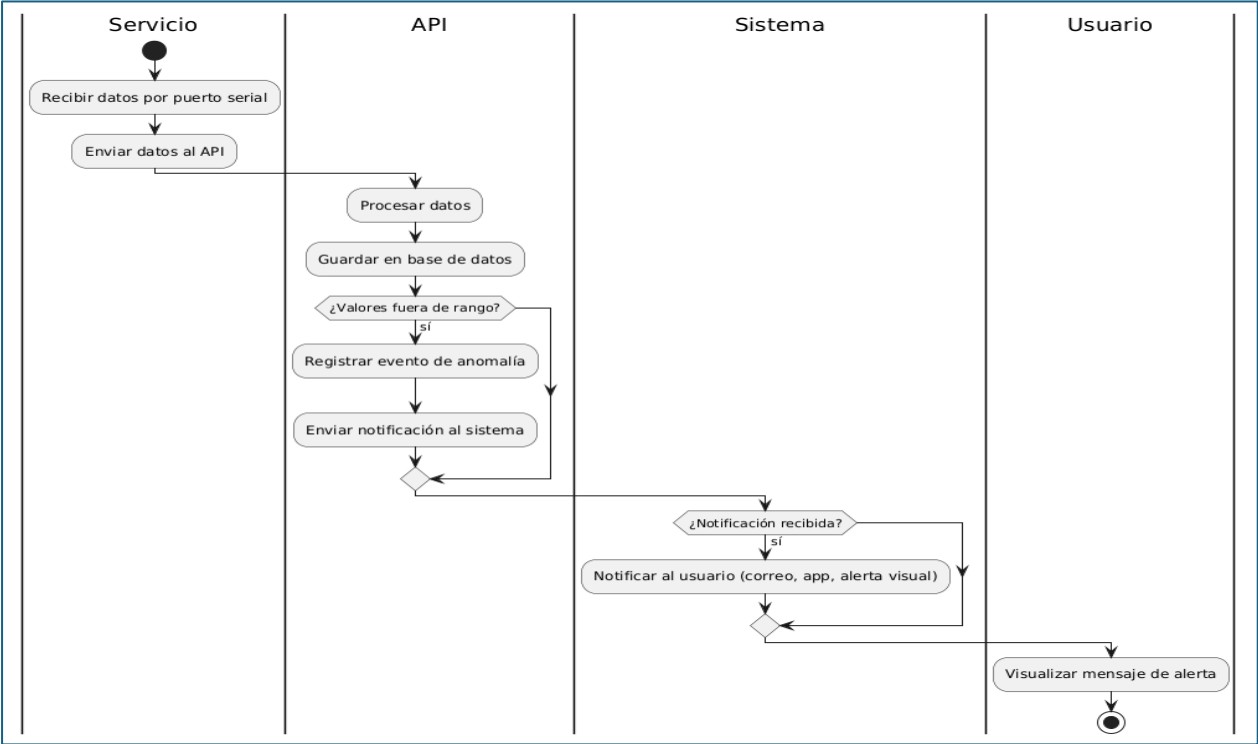


Figura 28

DA05 Actualización de datos

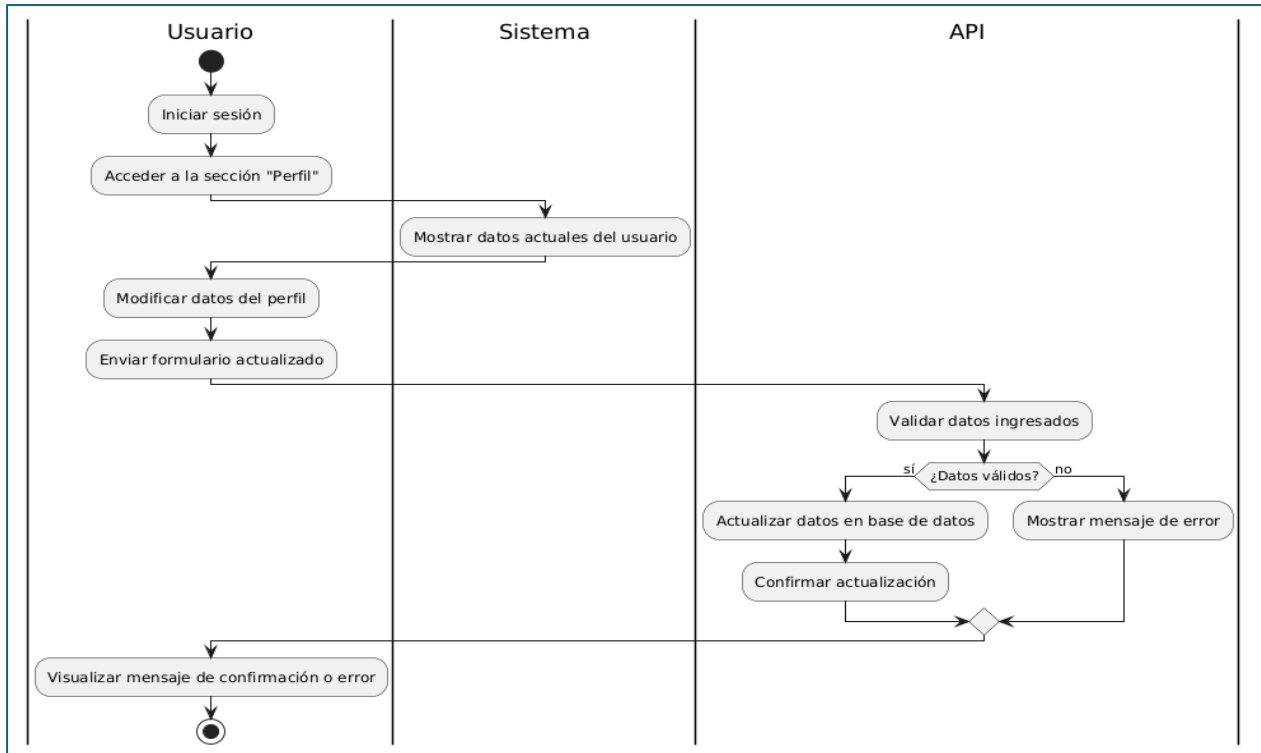


Figura 29

DA06 Generar reportes

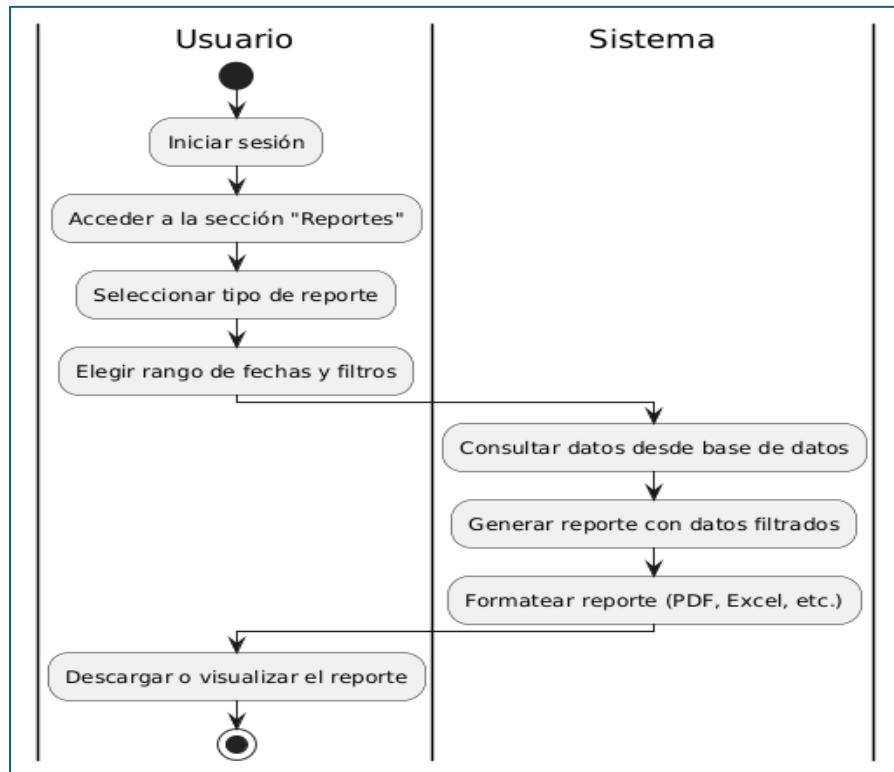


Figura 30

DA07 Control de actividades

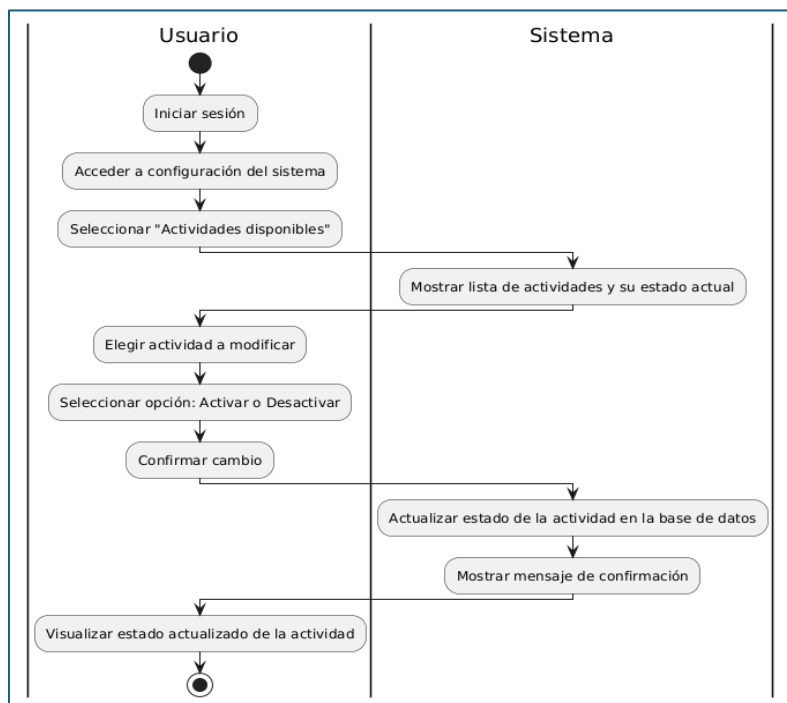
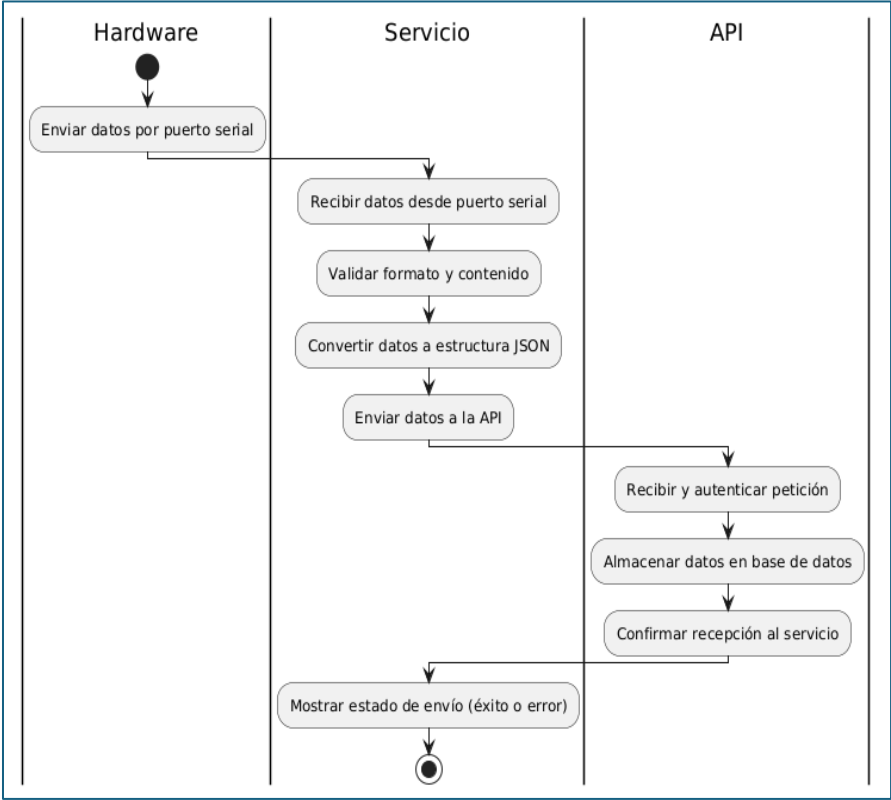


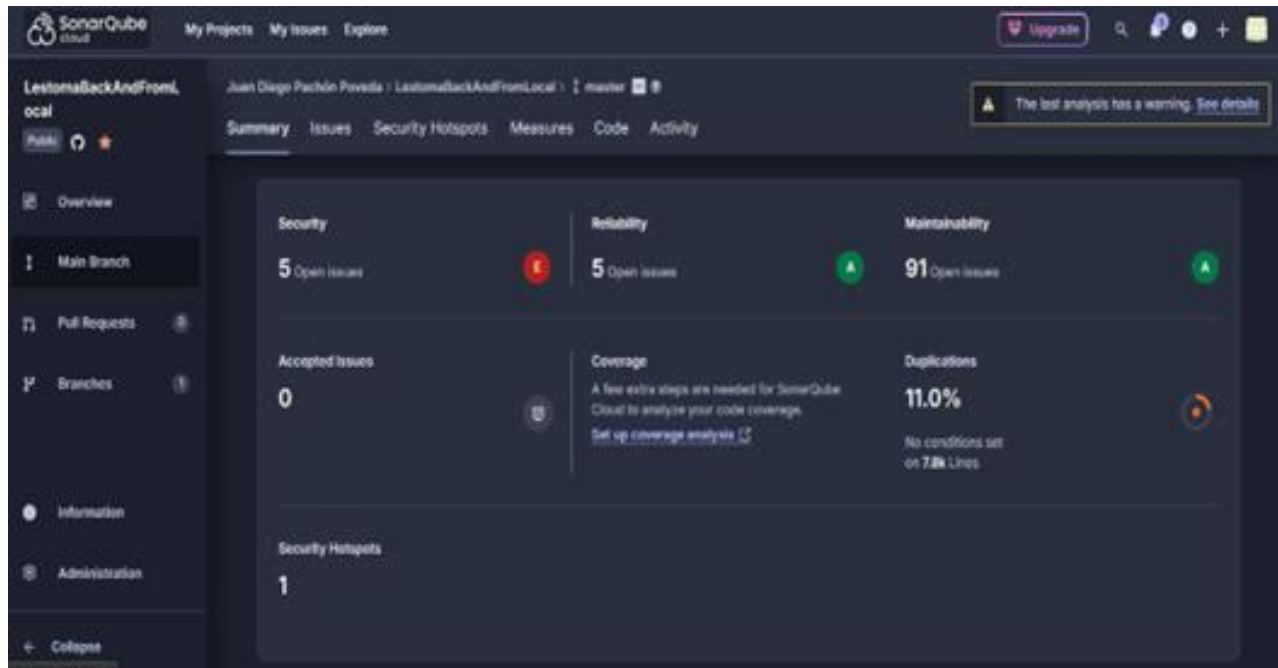
Figura 31

DA08 Integración con Hardware



2.4 Casos de prueba

2.4.1 SonarQube



Interpretación del Panel de SonarQube -

Análisis de Métricas Principales

1. Seguridad (Security)

- **Calificación:** E (La más baja en la escala A-E)
- **Problemas abiertos:** 5
- **Significado:** La calificación E indica que hay al menos una vulnerabilidad de tipo "Blocker" (Bloqueante) en el código. Estas vulnerabilidades son de la mayor gravedad y requieren atención inmediata.
- **Hotspots de seguridad:** 1 (áreas de código que requieren revisión manual desde la perspectiva de seguridad)

2. Fiabilidad (Reliability)

- **Calificación:** A (La más alta en la escala A-E)
- **Problemas abiertos:** 5

- **Significado:** La calificación A indica que no hay bugs detectados en el código (0 bugs). Esto representa un excelente nivel de fiabilidad del código.

3. Mantenibilidad (Maintainability)

- **Calificación:** A (La más alta en la escala A-E)
- **Problemas abiertos:** 91
- **Significado:** La calificación A indica que el costo de remediación técnica es menor o igual al 5% del tiempo ya invertido en la aplicación. Esto sugiere que el código es altamente mantenible.

Métricas Secundarias

Duplicaciones

- **Porcentaje:** 11.0%
- **Estado:** No hay condiciones establecidas
- **Interpretación:** El 11.0% del código está duplicado. SonarQube considera duplicación cuando hay bloques de código que se repiten en diferentes partes del proyecto.

Problemas Aceptados

- **Cantidad:** 0
- **Interpretación:** No hay problemas que hayan sido marcados como aceptados (es decir, problemas que el equipo ha decidido no abordar por razones específicas).

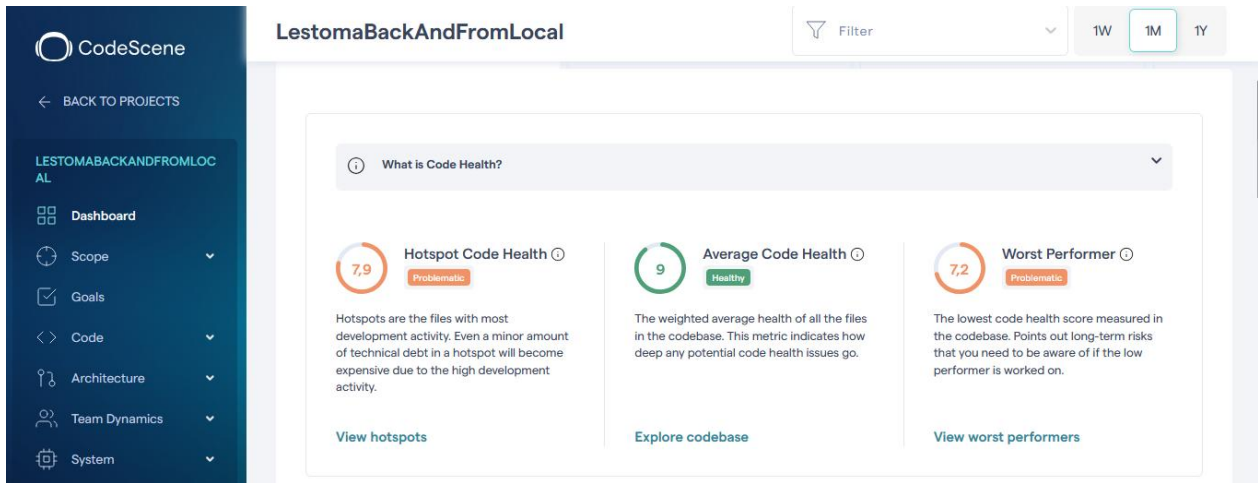
Conclusiones y Recomendaciones para los Casos de Prueba

1. **Prioridad Alta para Pruebas de Seguridad:** La calificación E en Seguridad indica que es necesario implementar casos de prueba específicos enfocados en las vulnerabilidades detectadas, especialmente las de tipo "Blocker".
2. **Verificación de la Fiabilidad:** A pesar de tener una calificación A en Fiabilidad, se recomienda mantener los casos de prueba actuales que han permitido alcanzar esta

calificación y considerar la implementación de pruebas adicionales para los 5 problemas abiertos.

3. **Pruebas de Mantenibilidad:** Los 91 problemas abiertos en Mantenibilidad representan oportunidades para crear casos de prueba que verifiquen la correcta implementación de mejoras en estas áreas.
4. **Pruebas para Código Duplicado:** Desarrollar casos de prueba específicos para las secciones de código duplicado (11.0%) para asegurar un comportamiento consistente y facilitar futuras refactorizaciones.

2.4.2 CodeScene



Análisis de Métricas Principales de CodeScene

1. Hotspot Code Health (Salud del Código en Puntos Críticos)

- **Calificación:** 7.9/10
- **Estado:** Problemático
- **Descripción:** Esta métrica evalúa la salud del código en áreas con alta actividad de desarrollo.
- **Interpretación:** Los hotspots son archivos con mayor actividad de desarrollo. La puntuación de 7.9 indica que hay problemas en estas áreas críticas. Incluso un problema menor en estos puntos puede generar deuda técnica significativa y hacer que el mantenimiento sea costoso debido a la alta frecuencia de cambios.

2. Average Code Health (Salud Promedio del Código)

- **Calificación:** 9/10
- **Estado:** Saludable (Healthy)
- **Descripción:** Representa el promedio ponderado de la salud de todos los archivos en la base de código.

- **Interpretación:** La alta puntuación de 9 indica que, en general, la base de código está bien estructurada y mantenida. Esta métrica refleja cómo CodeScene evalúa la calidad interna del código y su potencial para contener problemas ocultos.

3. Worst Performer (Peor Desempeño)

- **Calificación:** 7.2/10
- **Estado:** Problemático
- **Descripción:** Identifica el componente con la salud más deficiente en la base de código.
- **Interpretación:** La puntuación de 7.2 señala riesgos a largo plazo en los componentes con peor desempeño. CodeScene recomienda prestar atención a estas áreas ya que podrían representar vulnerabilidades o puntos de fallo potenciales.

2.5 Estimación de recursos

Para estimar los recursos necesarios en el desarrollo del sistema, se aplicó la metodología de **Puntos por Casos de Uso (Use Case Points - UCP)**, que permite proyectar el esfuerzo requerido según la complejidad funcional del sistema, los actores involucrados, factores técnicos y ambientales.

2.5.1 Identificación de Casos de Uso y Actores

Se identificaron 17 requerimientos funcionales que representan distintas funcionalidades del sistema. Estos fueron clasificados por nivel de complejidad en la siguiente manera:

- **Casos de uso simples** (como recuperación de contraseña o visualización de usuarios): 5
- **Casos de uso promedio** (como login, monitoreo o visualización gráfica): 7
- **Casos de uso complejos** (como integración hardware, control de actividades, reportes): 5

Esto genera un total de **170 puntos de casos de uso ponderados (UUCW)**.

Respecto a los actores involucrados:

- Se consideran dos tipos de usuarios (Administrador y Usuario).

- También se incluyen como actores el hardware del sistema y servicios como correo electrónico.

Esto da un total de **9 puntos ponderados por actores (UAW)**.

2.5.2 Factores Técnicos y Ambientales

Los factores técnicos reflejan la complejidad de integración con hardware, seguridad, protocolos de comunicación, y visualización gráfica. Se obtuvo un total de 43 puntos, lo que da un **Factor Técnico (TCF)** de **1.03**.

Los factores ambientales consideran experiencia, estabilidad de requisitos, uso de herramientas y conocimiento del dominio, resultando en un total de 27 puntos, con un **Factor Ambiental (ECF)** de **0.59**.

2.5.3 Cálculo de Puntos de Casos de Uso

La fórmula completa es la siguiente:

$$\text{UCP} = (\text{UUCW} + \text{UAW}) \times \text{TCF} \times \text{ECF}$$

$$\text{UCP} = (170 + 9) \times 1.03 \times 0.59 \approx 108.9$$

Se considera una productividad estándar de **20 horas por UCP**, por lo tanto:

$$\text{Esfuerzo estimado total} = 108.9 \times 20 = 2,178 \text{ horas de trabajo}$$

2.5.4 Estimación de Recursos Humanos

Dado que todo el desarrollo del sistema ha sido asumido por una sola persona, el tiempo estimado de desarrollo sería de aproximadamente:

- **2,178 horas / 40 horas semanales = 54.45 semanas**
- Es decir, alrededor de **13.5 meses de trabajo a tiempo completo**

Este tiempo puede variar en función de interrupciones, tareas paralelas o mejoras no previstas.

2.5.5 Estimación de Costo Monetario

Para estimar el costo económico del desarrollo, se toma como base un valor promedio de mercado para un desarrollador freelance con experiencia media, que en América Latina puede oscilar entre **USD 8 y USD 20 por hora**, dependiendo del país y especialización técnica.

Por lo tanto, el rango de costo estimado del desarrollo sería:

- **USD 8 × 2,178 = USD 17,424**
- **USD 20 × 2,178 = USD 43,560**

Costo monetario estimado del desarrollo (rango):

Entre USD 17,400 y USD 43,500

2.6 Resultados

2.6.1.1 Resultados del análisis y levantamiento de requerimientos

En la etapa inicial del proyecto se llevó a cabo un análisis detallado del sistema acuapónico, que permitió reconocer sus características y variables críticas además de requerimientos particulares de administración y control. Este procedimiento consistió en visitas al laboratorio y siendo participe de la construcción de este, conversaciones con docentes y el estudio de la documentación existente.

A continuación, se muestran los logros alcanzados en esta etapa esencial.

2.6.2 Caracterización del sistema acuapónico LESTOMA

LESTOMA de la Universidad de Cundinamarca, en su extensión de Facativá, se compone de una estructura unificada donde fusiona el cultivo de peces (acuicultura) y plantas (hidroponía) en un entorno simbiótico y común como es el agua, además de otros sistemas complementarios como el lombricultivo, la medición de variables meteorológicas, el sistema biodigestor con heces de trucha arco iris, entre otros. Las visitas y la observación directa facilitaron la identificación de los siguientes elementos clave del sistema.

- **Subsistema de acuicultura:** Compuesto por tanques de cultivo de peces con bombas de oxígeno y filtración.
- **Subsistema hidropónico:** Formado por los tipos de cultivo cama de grava y raíz flotante.
- **Sistema de filtración biológica:** Biofiltros encargados de la conversión de amonio en nitratos.
- **Sistema de bombeo y circulación:** Bombas sumergibles y tubería de distribución que garantizan el flujo constante.
- **Sistema de monitoreo existente:** Conjunto de sensores analógicos y digitales para la medición de parámetros críticos, conectados a dispositivos embebidos definidos como MTU y RTU.

2.6.3 Variables operativas del sistema acuapónico

El análisis detallado del sistema acuapónico, en conjunto con el personal especializado del laboratorio LESTOMA, permitió identificar las siguientes variables críticas que necesitan ser monitoreadas y controladas:

Tabla 28

Variables Criticas

| Variable | Unidad de medida | Rango óptimo | Relevancia |
|-------------------------|------------------|-----------------------|------------|
| pH del agua | Unidades de pH | 6.8 - 7.4 | Alta |
| Temperatura del agua | °C | 22 – 28 | Alta |
| Oxígeno disuelto | mg/L | > 5 | Alta |
| Conductividad eléctrica | µS/cm | 800 - 1500 | Media |
| Nivel de agua | cm | Variable según tanque | Alta |
| Nitratos | mg/L | 5 – 150 | Media |
| Amonio | mg/L | < 1 | Alta |
| Temperatura ambiente | °C | 18 – 30 | Media |
| Humedad relativa | % | 50 – 80 | Baja |

Nota: se definieron valores de referencia (set-points) para las variables, con el fin de garantizar que se conservaran en estados adecuados para el proceso de producción.

2.6.4 Resultados del diseño del software

2.6.4.1 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema implementada responde a los requisitos identificados, priorizando el modularidad, la escalabilidad y la integración efectiva entre los componentes de hardware y software. El diseño se basó en una arquitectura N-Capas que separa claramente las responsabilidades y facilita el mantenimiento futuro del sistema.

La arquitectura N-Capas implementada consta de las siguientes capas:

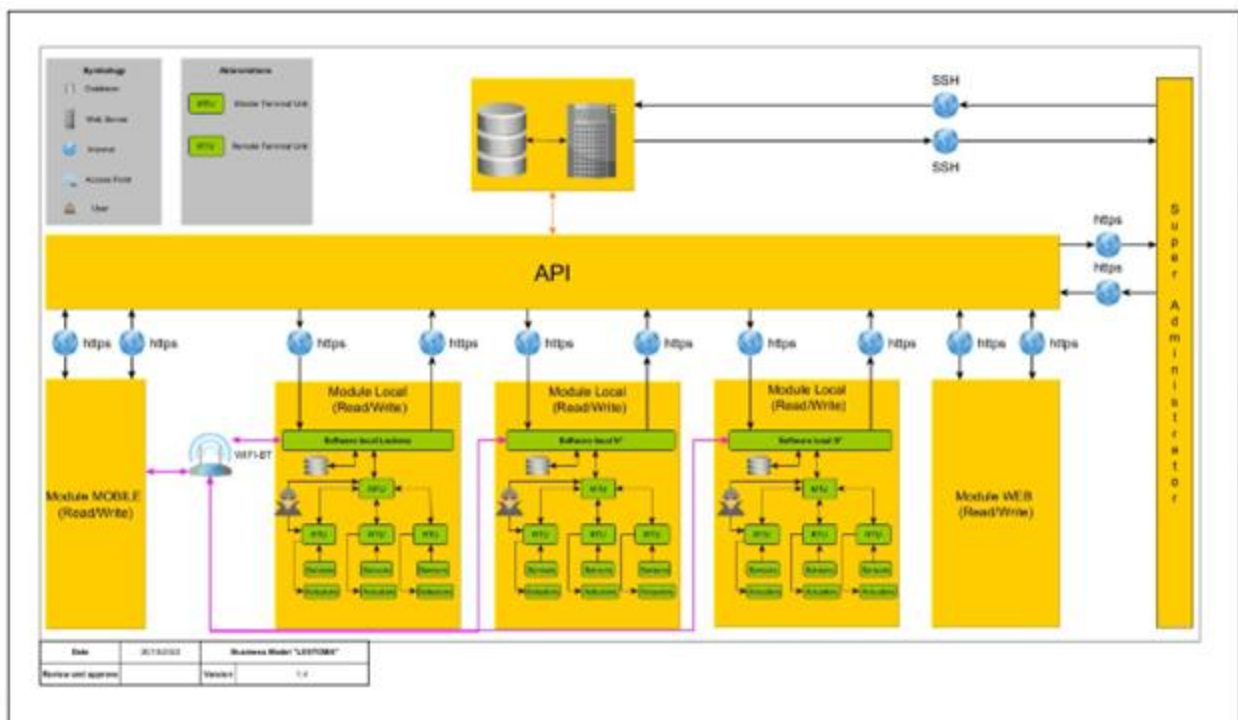
- **Capa de Presentación:** Incluye tanto la aplicación Windows Forms como las interfaces web que consumen la API REST. Esta capa se encarga exclusivamente de la visualización de datos, la interacción con el usuario y la captura de entradas.
- **Capa Lógica de Negocio:** Esta capa aplica un servicio y una API REST creados para recibir y manejar información proveniente del puerto serie. El servicio se ocupa de leer e interpretar los datos del puerto serie, mientras que la API REST simplifica la transferencia de dichos datos procesados a otros componentes del sistema. Esta capa garantiza la adecuada verificación y cambio de los datos previo a su envío mediante la API, asegurando la integridad y uniformidad de la información. Asimismo, esta capa se proyecta para ser autónoma de la interfaz de usuario y de la conservación de datos.
- **Capa de Acceso a Datos:** También forma parte del API REST en su nivel más interno. Incluye los repositorios, modelos y contexto de la base de datos. Esta capa abstrae completamente los detalles de persistencia de datos del resto del sistema, facilitando cambios en la tecnología de base de datos sin impactar otras capas.
- **Capa de Integración/Servicios:** Comprende el servicio de comunicación serial con el microcontrolador y los componentes de integración con hardware. Esta capa sirve como puente entre el software y los dispositivos físicos del sistema acuapónico.

2.6.4.2 Diagrama general de la arquitectura

La figura 32 muestra el diagrama general de la arquitectura implementada, representando la interacción entre las diferentes capas del sistema y los componentes de hardware. El diagrama ilustra la arquitectura del sistema LESTOMA, con estructura cliente-servidor centrada en una API que facilita comunicaciones HTTPS entre módulos móviles, locales y web. Los servidores se conectan mediante SSH, mientras los módulos realizan operaciones de lectura/escritura. Los componentes locales gestionan sensores y actuadores con bases de datos propias, el módulo móvil accede remotamente vía Wi-Fi/LTE, y el módulo web permite acceso desde navegadores. El Super Administrador mantiene acceso privilegiado a toda la infraestructura para tareas de gestión y supervisión.

Figura 32

Modelo de Negocio (Super administrador 2023)



2.6.4.3 Componentes principales del sistema

Los componentes principales desarrollados son:

- **Aplicación Windows Forms (Capa de Presentación):** Desarrollada en C#, proporciona una interfaz para monitoreo y control del sistema acuapónico con dashboards, visualizaciones gráficas y paneles de configuración.
- **Interfaces Web (Capa de Presentación):** Desarrolladas utilizando BLAZOR permiten el acceso al sistema desde navegadores web, facilitando el monitoreo remoto.
- **API REST (Capas de Lógica de Negocio y Acceso a Datos):** Implementada con ASP.NET Core, expone endpoints para el registro de datos de sensores, control de actuadores y gestión de usuarios.
- **Servicio de Comunicación Serial (Capa de Integración):** Desarrollado en PYTHON utilizando la librería RXTX, establece la comunicación con los dispositivos hardware mediante protocolo serial y envía los datos procesados a la API REST.
- **Base de Datos SQL Server:** Almacena datos históricos de sensores, configuraciones del sistema, información de usuarios y registros de actividad.

Relación entre componentes hardware y software

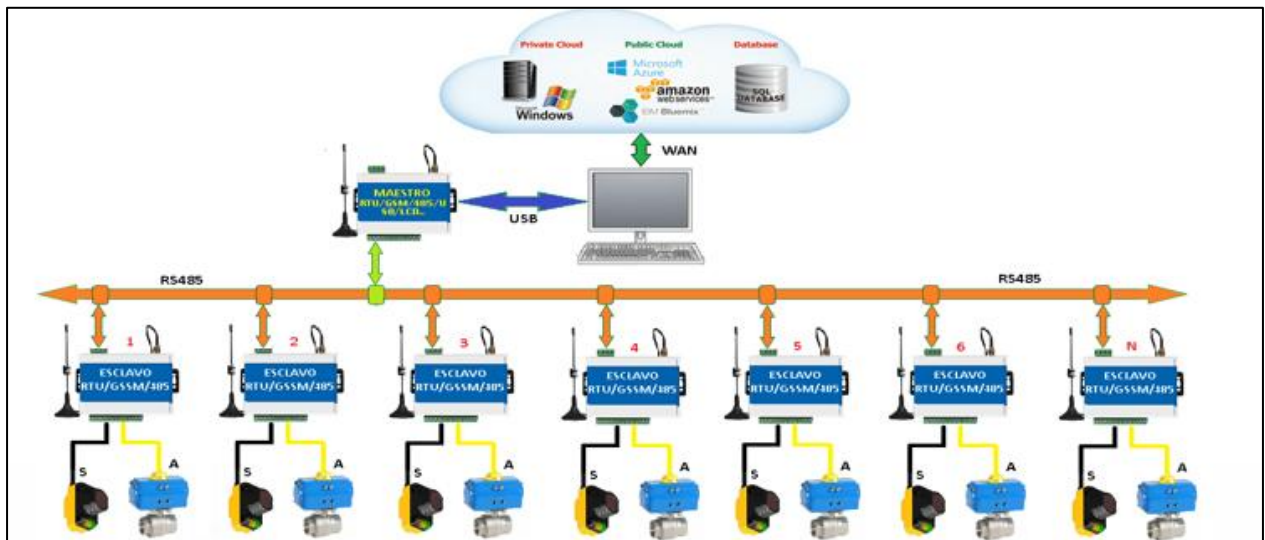
La integración entre hardware y software se basa en una arquitectura MTU-RTU (Unidad Terminal Maestra - Unidad Terminal Remota):

- **MTU (Unidad Terminal Maestra):** Implementada con arquitecturas de microcontrolador (familia Arduino), actúa como coordinador central del sistema de hardware, recopilando datos de las RTUs y comunicándose con el servicio de comunicación serial instalado en la terminal LESTOMA.
- **RTUs (Unidades Terminales Remotas):** También implementadas con arquitecturas microcontrolador (Arduino), se conectan directamente a los sensores y actuadores, enviando datos a la MTU y recibiendo comandos de control.
- **Servicio de Integración:** Establece el puente entre el hardware y el software, capturando los datos seriales, procesándolos y enviándolos a la API REST para su almacenamiento y análisis.

La Figura 34 ilustra esta relación, mostrando el flujo de datos desde los sensores hasta la interfaz de usuario final.

Figura 33

Flujo de datos (Jaime Andrade)



La Figura 33 muestra un sistema de automatización con una arquitectura jerárquica de control distribuido. En la parte superior se encuentra la infraestructura conectada mediante internet a una MTU principal, que se vincula a un computador central a través de USB. Esta MTU supervisa una red de comunicación RS-485 que interconecta múltiples RTUs. Cada RTU está conectada directamente a diversos dispositivos de campo como válvulas y actuadores, permitiendo así la recolección de datos desde el nivel operativo, su procesamiento en unidades intermedias y su transmisión al sistema central, desde donde pueden ser almacenados y accesibles remotamente a través de la nube para monitoreo, control y análisis por parte de los usuarios del sistema.

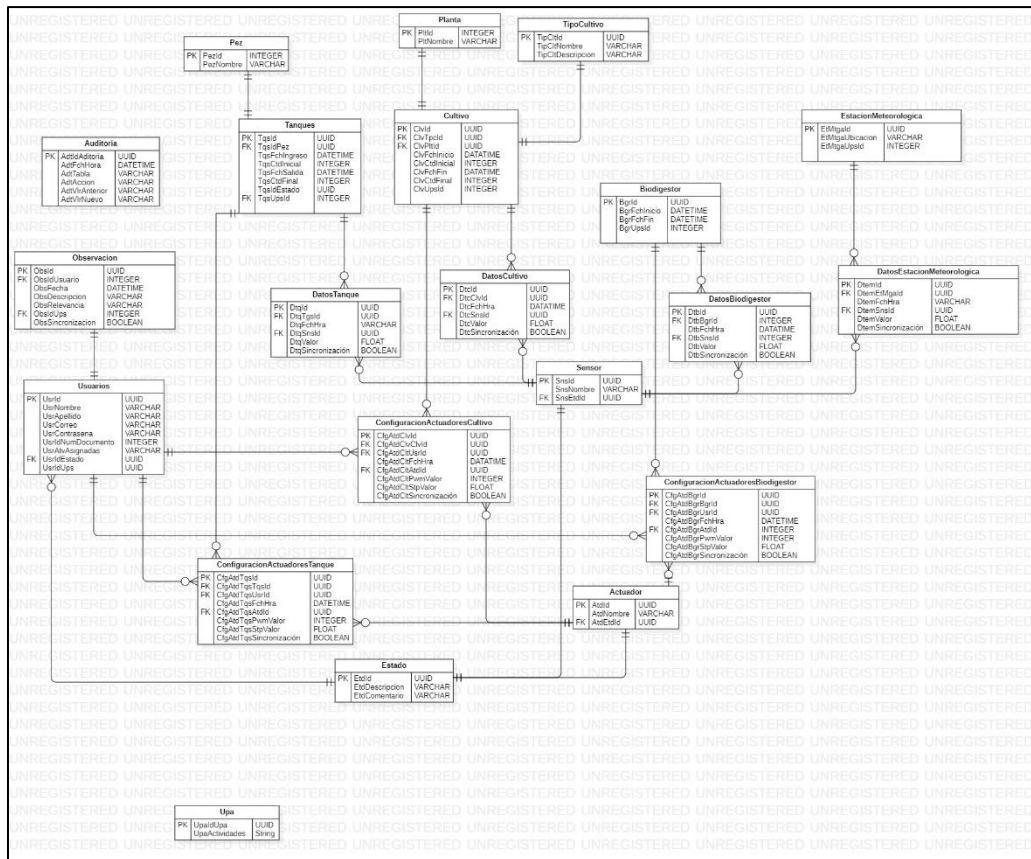
2.6.5 Modelo de datos

2.6.5.1 Modelo entidad-relación de la base de datos

Durante el proceso de investigación se realizó un modelo relacional el cual era funcional y ofrecía ventajas con respecto a tener los datos separados por cada sistema. De este modelo se han realizado varios proyectos. Se presenta a continuación:

Figura 34

Modelo relacional obsoleto (AUTOR)



Con este modelo se presentaba un problema grande y es que cada vez que se necesite agregar un nuevo sistema se tiene que modificar la base de datos, es por ello por lo que al obtener consultar con una persona experta en base de datos y se diera instrucción de las formas normales para una base de datos como el del ver el proyecto desde una perspectiva general nace en un modelo relacional más general y escalable. Figura 34

A continuación se evidencia los problemas estructurales mencionados y lo que hizo que se realizara el cambio de la estructura a un modelo más flexible y escalable la cual necesita el proyecto LESTOMA.

2.6.5.2 Demostración de Problemas de Escalabilidad en el Modelo

Problemas Estructurales Específicos

Rigidez en la estructura de dispositivos

El modelo separa claramente las tablas para:

- Tanques
- Cultivo
- Biodigestor
- Estación Meteorológica

Problema de escalabilidad: Si necesita añadir un nuevo tipo de dispositivo (por ejemplo, un sistema de riego automático o un invernadero controlado), tendría que:

- Crear una nueva tabla para el dispositivo
- Crear una nueva tabla para sus datos (similar a DatosTanque, DatosCultivo, etc.)
- Crear una nueva tabla para su configuración de actuadores
- Actualizar todas las interfaces y lógica de negocio

Figura 35

Ejemplo de código problemático

```
-- Para añadir un nuevo tipo de dispositivo "SistemaRiego"
CREATE TABLE SistemaRiego (
  SrgId UUID PRIMARY KEY,
  SrgNombre VARCHAR,
  SrgChipId DATETIME,
  SrgEstado INTEGER,
  -- ... más campos específicos
);

CREATE TABLE DatosSistemaRiego (
  DsrgId UUID,
  DsrgFecha DATETIME,
  DsrgValue FLOAT,
  -- ... y todos los mismos campos que tienen los otros "Datos"
);

CREATE TABLE ConfiguracionActuadoresSistemaRiego (
  CfgActSrgId UUID,
  -- ... y todos los campos similares a las otras configuraciones
);

-- También modificar consultas existentes que tratan con dispositivos
```

2.6.5.3 Repetición de estructuras idénticas

Observo que las tablas DatosTanque, DatosCultivo, DatosBiodigestor y DatosEstacionMeteorologica tienen estructuras casi idénticas con campos como:

- ID
- Fecha
- Valor
- Sincronización

2.6.5.4 Problema de escalabilidad:

1. Cualquier cambio en la estructura de datos (ej. añadir un campo de calidad de señal) requiere modificar todas las tablas
2. Las consultas que necesitan datos de múltiples fuentes se vuelven complejas

Figura 36

Ejemplo de código

```
-- Si necesita añadir un nuevo campo a todos los datos
ALTER TABLE DatosTanque ADD COLUMN DtqCalidadSenal INTEGER;
ALTER TABLE DatosCultivo ADD COLUMN DcvCalidadSenal INTEGER;
ALTER TABLE DatosBiodigestor ADD COLUMN DbgCalidadSenal INTEGER;
ALTER TABLE DatosEstacionMeteorologica ADD COLUMN DemCalidadSenal INTEGER;

-- Consulta para obtener todos los datos, se vuelve muy compleja:
SELECT 'Tanque' as tipo, DtqId, DtqFecha, DtqValor, DtqCalidadSenal
FROM DatosTanque
UNION ALL
SELECT 'Cultivo' as tipo, DcvId, DcvFecha, DcvValor, DcvCalidadSenal
FROM DatosCultivo
UNION ALL
SELECT 'Biodigestor' as tipo, DbgId, DbgFecha, DbgValor, DbgCalidadSenal
FROM DatosBiodigestor
UNION ALL
SELECT 'EstacionMeteo' as tipo, DemId, DemFecha, DemValor, DemCalidadSenal
FROM DatosEstacionMeteorologica;
```

2.6.5.5 Tablas de configuración específicas por dispositivo

El modelo tiene tablas separadas:

- ConfiguracionActuadoresTanque
- ConfiguracionActuadoresCultivo
- ConfiguracionActuadoresBiodigestor

Problema de escalabilidad: Esto crea una estructura rígida donde cada tipo de dispositivo solo puede tener ciertos tipos de configuraciones.

2.6.5.6 Análisis cruzado entre dispositivos

Escenario: Generar un informe que correlacione datos entre tanques, cultivos, biodigestores y estaciones meteorológicas.

Problema: La separación de datos en múltiples tablas con estructuras similares hace que las consultas sean muy complejas y poco eficientes.

2.6.5.7 Aumento en complejidad de consultas

La estructura actual obliga a múltiples JOINS y UNIONS que afectan el rendimiento

Figura 37

Consulta BD



```
-- Para obtener datos históricos de todos los dispositivos en una planta:
SELECT
  'Tanque' as tipo_dispositivo,
  t.TqsNombre as nombre_dispositivo,
  dt.DtqFecha as fecha,
  dt.DtqValor as valor
FROM
  Tanques t
JOIN
  DatosTanque dt ON t.TqsId = dt.DtqTqId
WHERE
  t.TqsPLId = 'planta-id'
UNION ALL
SELECT
  'Cultivo' as tipo_dispositivo,
  c.CvNombre as nombre_dispositivo,
  dc.DcvFecha as fecha,
  dc.DcvValor as valor
FROM
  Cultivo c
JOIN
  DatosCultivo dc ON c.CvId = dc.DcvCvId
WHERE
  c.CvPLId = 'planta-id'
UNION ALL
-- Y así sucesivamente para cada tipo de dispositivo
```

2.6.5.8 Proliferación de índices necesarios

Cada tabla de datos necesita sus propios índices, resultando en:

- Duplicación de estructuras de índices
- Mayor uso de espacio en disco
- Sobrecarga en mantenimiento de índices

2.6.5.9 Actualización de esquema costosa

Cualquier cambio en la estructura básica de datos requiere modificar múltiples tablas, lo que:

- Aumenta el tiempo de inactividad durante actualizaciones
- Incrementa el riesgo de errores
- Complica las migraciones de datos

2.6.6 Solución: Modelo Más Escalable

Para mejorar la escalabilidad del sistema, se propone un modelo flexible que optimiza la estructura de datos. Esto se logró mediante:

- **Unificación de tablas:** Consolidación de tablas redundantes para simplificar el esquema.
- **Generalización de registros:** Transformación de ciertas tablas en registros dentro de una tabla única, adoptando un enfoque más genérico y adaptable.

2.6.6.1 Mejor Organización Conceptual

Figura 38

Nuevo modelo

```
--Problema: Añadir un nuevo tipo de dispositivo
--Modelo Original:
--Requiere crear múltiples tablas nuevas

--Nuevo Modelo:
-- Solo requiere un registro en la tabla TipoDispositivo
INSERT INTO TipoDispositivo (idTipoDispositiv, TipoDispositivo)
VALUES (nextval('seq_tipo_dispositivo'), 'NuevoTipoDispositivo');

-- Y luego se crean instancias normalmente
INSERT INTO Dispositivos (idDispositivo, NombreDispositivo, idTipoDispositivo, ...)
VALUES (nextval('seq_dispositivo'), 'Mi nuevo dispositivo',
       (SELECT idTipoDispositiv FROM TipoDispositivo WHERE TipoDispositivo = 'NuevoTipoDispositivo'),
       ...);

--Impacto:
-- * Menor número de tablas en el esquema
-- * Proceso estandarizado para añadir nuevos tipos
-- * No requiere modificaciones del esquema
```

2.6.6.2 Unificación de Datos de Medición

Figura 39

Unificación de mediciones

```
--Problema: Consultar mediciones de diferentes tipos de dispositivos
```

```
Modelo Original:
```

```
-- Requiere UNION de múltiples tablas
```

```
SELECT 'Tanque' as tipo, t.TqsNombre, dt.DtqFecha, dt.DtqValor  
FROM Tanques t  
JOIN DatosTanque dt ON t.TqsId = dt.DtqTqId  
WHERE dt.DtqFecha BETWEEN '2023-01-01' AND '2023-01-31'
```

```
UNION ALL
```

```
SELECT 'Cultivo' as tipo, c.CvNombre, dc.DcvFecha, dc.DcvValor  
FROM Cultivo c  
JOIN DatosCultivo dc ON c.CvId = dc.DcvCvId  
WHERE dc.DcvFecha BETWEEN '2023-01-01' AND '2023-01-31'
```

```
UNION ALL
```

```
SELECT 'Biodigestor' as tipo, b.BgId, db.DbgFecha, db.DbgValor  
FROM Biodigestor b  
JOIN DatosBiodigestor db ON b.BgId = db.DbgBgId  
WHERE db.DbgFecha BETWEEN '2023-01-01' AND '2023-01-31';
```

```
Nuevo Modelo:
```

```
-- Consulta directa a una única tabla de mediciones
```

```
SELECT d.NombreDispositivo, td.TipoDispositivo, m.Fecha, m.Valor  
FROM Medicion m  
JOIN Dispositivos d ON m.idDispositivo = d.idDispositivo  
JOIN TipoDispositivo td ON d.idTipoDispositivo = td.idTipoDispositivo  
WHERE m.Fecha BETWEEN '2023-01-01' AND '2023-01-31';
```

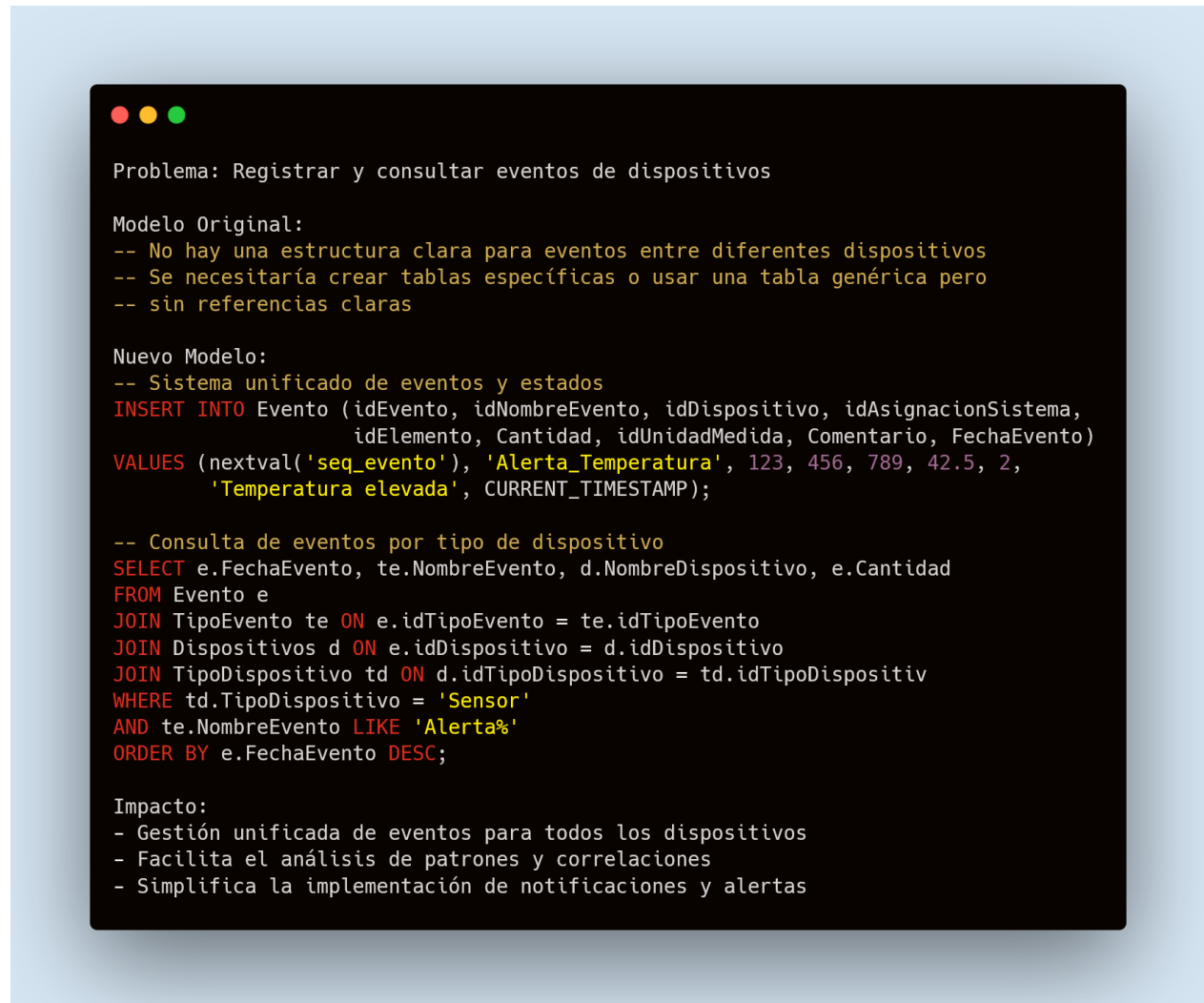
```
Impacto:
```

- Consultas más simples y eficientes
- Mejor rendimiento al evitar UNION
- Más fácil de mantener y actualizar

2.6.6.3 Mejora en la Gestión de Estados y Eventos

Figura 40

Gestión de estados y eventos



2.6.6.4 Rendimiento en Consultas Analíticas

Modelo Original:

- Consultas complejas con múltiples UNION
- Rendimiento degradado por JOINS fragmentados
- Índices separados en múltiples tablas similares

Nuevo Modelo:

- Consultas directas en menos tablas centralizadas
- Mejor aprovechamiento de índices
- Mejor rendimiento para consultas analíticas complejas

2.6.6.5 Mantenimiento y Evolución

Figura 41

Mantenimiento y evolución

```

--Modelo Original
-- Para añadir un campo a todos los tipos de datos:
ALTER TABLE DatosTanque ADD COLUMN Precision FLOAT;
ALTER TABLE DatosCultivo ADD COLUMN Precision FLOAT;
ALTER TABLE DatosBiodigestor ADD COLUMN Precision FLOAT;
ALTER TABLE DatosEstacionMeteorologica ADD COLUMN Precision FLOAT;
-- Y modificar todas las consultas existentes

--Nuevo modelo
-- Para añadir un campo a todos los tipos de datos:
ALTER TABLE Medicion ADD COLUMN Precision FLOAT;
-- Una sola modificación, todas las consultas siguen funcionando

```

2.6.6.6 Tabla Comparativa

Tabla 29

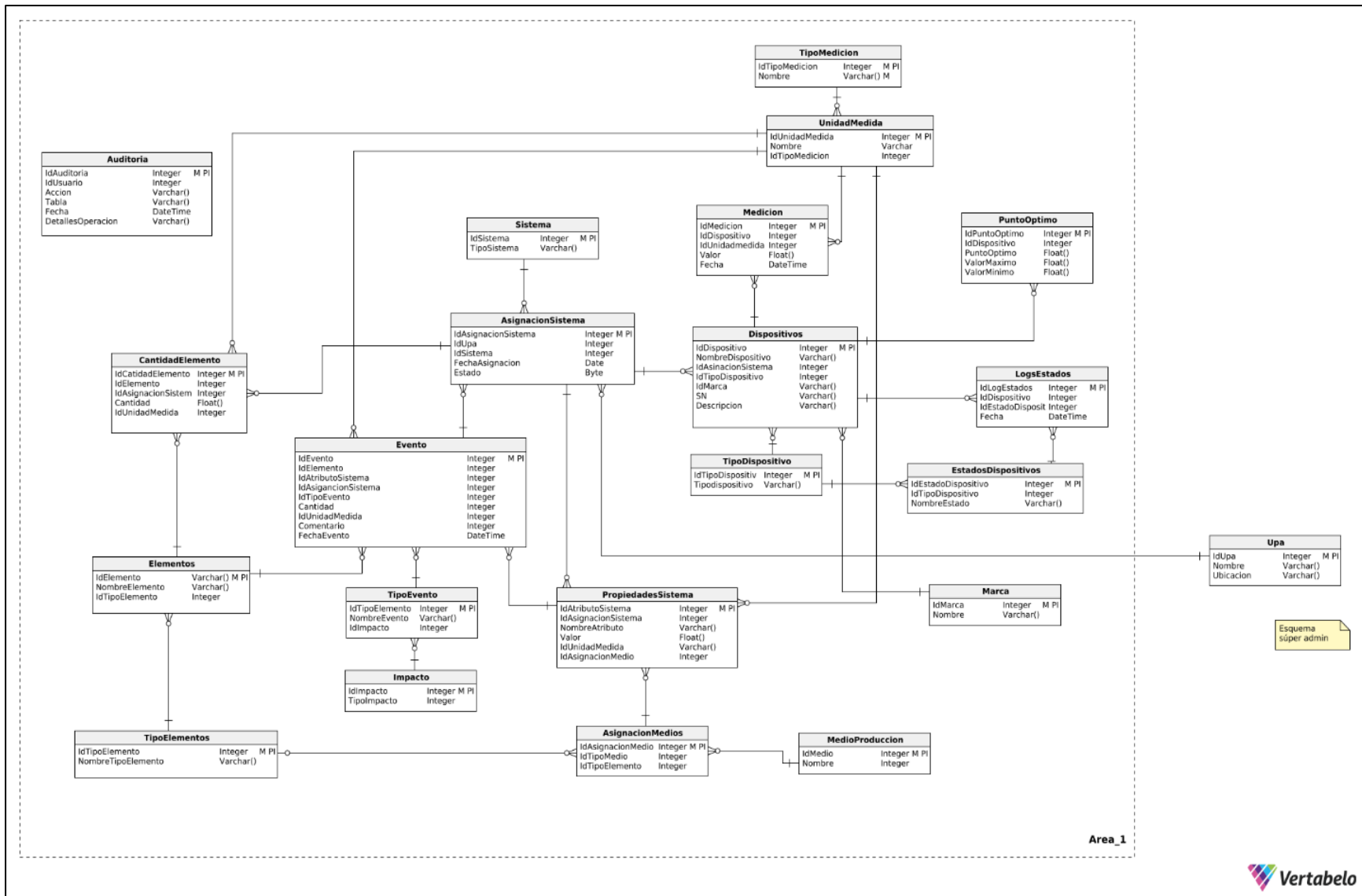
Comparativa

| Aspecto | Modelo Original | Nuevo Modelo |
|------------------------------------|--|---------------------------|
| Número de tablas necesarias | Alto (crece linealmente con nuevos sistemas) | Bajo (estructura estable) |
| Complejidad de consultas | Alta (múltiples UNIONS) | Baja (consultas directas) |
| Facilidad para añadir dispositivos | Baja (requiere nuevas tablas) | Alta (solo inserciones) |

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| Mantenimiento | Costoso (cambios en múltiples lugares) | Eficiente (cambios centralizados) |
| Flexibilidad para evolución | Limitada (estructura rígida) | Alta (diseño extensible) |
| Rendimiento en análisis | Bajo para consultas complejas | Superior para todo tipo de consultas |
| Consistencia de datos | Riesgo de inconsistencia entre tablas | Mayor consistencia en modelo unificado |

Figura 42

Modelo relacional (AUTOR)



2.6.6.7 Estructura de tablas implementadas

- Auditoria: Almacena los cambios que realizan los usuarios en el sistema
- Elemento: Se guardan los registros de los diferentes elementos ejemplo: Trucha, Tilapia, Salmon, Lechuga Crespa, Lechuga Lisa.
- CantidadElemento: Se guarda los registros de la cantidad de los elementos
- TipoElemento: Es el grupo de los cuales hace parte los elementos. Se guarda este registro para discriminar los elementos, ejemplo: Peces, Plantas, Hongos, Insectos
- Impacto: Los diferentes eventos que suceden en un sistema pueden ser de 3 tipos: positivos, negativos, neutros. Esto se hace con la intención de clasificarlos y modificar las cantidades de los elementos
- TipoEvento: Existen diferentes tipos de eventos como lo podrían ser siembras, cosechas, fumigación, o el ingreso de o extracción de material biológico, este tipo de datos se registran en esta entidad.
- Evento: Cuando se produce dicho tipo de evento es necesario tener los registros de cuando, donde y que afecto, estos eventos quedan registrados en esta tabla
- Sistema: Los sistemas son: Acuicultura, Hidroponía, Meteorología, Lombricultivo, entre otros.
- AsignacionSistema: Se almacena si la upa cuanta con alguno de los sistemas antes mencionados
- PropiedadSistema: Las características en cada upa donde se tiene los diferentes elementos es por ello por lo que aquí se almacena estos registros
- Medio: Los elementos necesitan un medio en donde crecer para ello se registran para tener claro y evitar inconsistencias.
- AsignacionMedio: Cada tipo de elemento se le asigna un medio: Ejemplo Peces a medio de Agua. De esta manera evitamos que en la lógica de negocio el usuario nos ponga peces en cultivos de tierra y hongos en tanques de agua.
- TipoDispositivo: Los Tipos de dispositivos se usa para discriminar sensores de actuadores o cualquier otro tipo que quiera registrar.
- Dispositivo: Los dispositivos que se registran en esta entidad puede ser múltiples como bombas sumergibles o sensores de humedad y temperatura

- **LogsDispositivo:** Aquí encontraremos los cambios de estados de los dispositivos
- **EstadosDispositivo:** Aquí encontramos los estados de encendido, apagado, Daño, reparación entre otros
- **Marca:** registro de las marcas de los diferentes dispositivos.
- **PuntoOptimo:** Algunas mediciones es necesario que cuenten con un punto óptimo o Setpoint, aquí podrás almacenar y guardar estos puntos como sus banderas de alertas
- **Medición:** Los registro que llegan de la MTU serán almacenados en esta entidad
- **UnidadMedida:** Los diferentes tipos de unidades de medida como Celsius, Metros, Gramaos los encontraras registrados en esta entidad.
- **TipoMedicion:** Cada unidad de medida se clarifica según lo que se requiera ejemplo Longitud, peso, distancia, tiempo entre otros los cuales podrá el usuario encontrar registrados en esta entidad.

2.6.6.8 Relaciones y restricciones establecidas

Se implementaron las siguientes relaciones y restricciones para garantizar la integridad de los datos:

- Relaciones uno a muchos entre Impacto y TipoEvento
- Relaciones uno a muchos entre TipoEvento y Evento
- Relaciones uno a muchos entre TipoDispositivo y Dispositivo
- Relaciones uno a muchos entre TipoElemento y Elemento
- Relaciones uno a muchos entre Elemento y CantidadElemento
- Restricciones de clave foránea para mantener la integridad referencial
- Restricciones CHECK para validar rangos de valores en las lecturas
- Índices optimizados para consultas frecuentes sobre datos históricos
- Restricciones UNIQUE para evitar duplicados en los nombres de los diferentes tipos y nombres

2.6.6.9 Mecanismos de almacenamiento histórico

Para gestionar eficientemente el crecimiento de los datos históricos, se implementaron:

- Los cambios de estados de los dispositivos se registran en logsDispositivo para llevar su registro de vida en el sistema

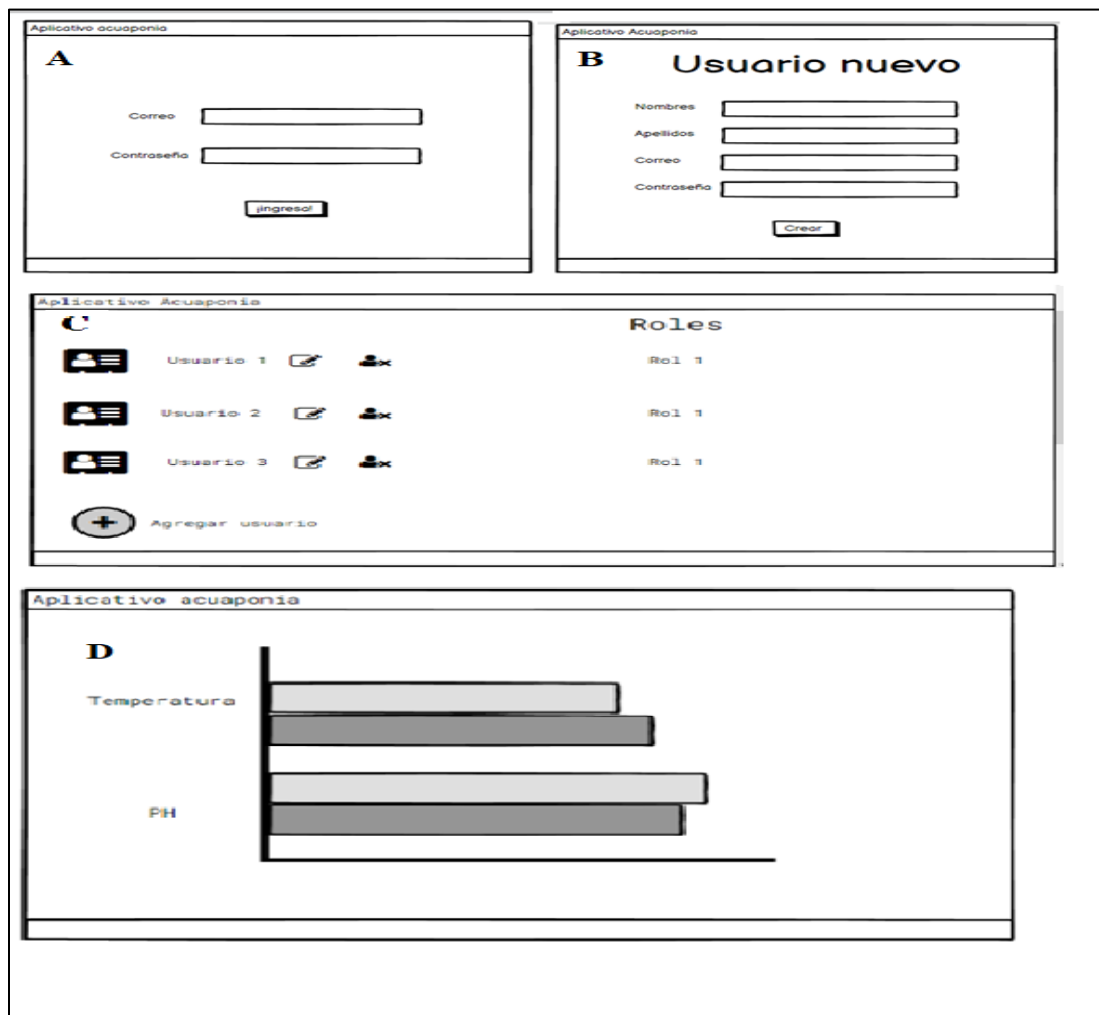
- También se los diferentes eventos quedan registrados para su visualización.

2.6.7 Diseño de interfaces de usuario

El diseño de la interfaz de usuario siguió principios de usabilidad y experiencia de usuario, priorizando la claridad en la presentación de información crítica. Se desarrollaron mockups iniciales que fueron refinados tras la ejecución de la investigación. La Figura 43 muestra algunos de los mockups desarrollados para las principales pantallas del sistema.

Figura 43

Mockups (AUTOR)



2.6.8 Elementos de visualización de datos

Para la visualización efectiva de datos, se diseñaron:

- Gráficos lineales: Muestran la evolución temporal de las variables, con opciones de zoom y selección de rangos de tiempo.
- Indicadores visuales: Utilizan códigos de colores (verde, amarillo, rojo) para representar rápidamente el estado de las variables respecto a sus rangos óptimos.
- Tablas interactivas: Permiten visualizar, ordenar y filtrar datos históricos con opciones de exportación.
- Sistema de notificaciones: Presenta alertas con diferentes niveles de urgencia, utilizando iconos y colores distintivos.

2.7 Diseño de la integración hardware-software

Esquema de comunicación entre MTU y RTU

La comunicación entre la Unidad Terminal Maestra (MTU) y las Unidades Terminales Remotas (RTU) se diseñó utilizando un protocolo basado en mensajes JSON serializados. Esta elección facilita la extensibilidad y diagnóstico del sistema, además de proporcionar una estructura clara para el intercambio de datos.

El esquema implementa un modelo maestro-esclavo donde:

- La MTU envía solicitudes de datos a las RTUs periódicamente.
- Las RTUs responden con las lecturas de sus sensores.
- La MTU envía comandos de control a las RTUs cuando es necesario activar actuadores.
- Las RTUs confirman la ejecución de los comandos recibidos.

La Figura 2 muestra el diagrama de comunicación entre estos componentes.

Protocolos de comunicación implementados

Se implementaron los siguientes protocolos de comunicación:

1. **Protocolo Serial (UART):** Utilizado para la comunicación entre el PC y el Arduino MTU, configurado a 9600 baudios.
2. **Comunicación basada en JSON:** Implementada para estructurar los mensajes intercambiados entre todos los componentes del sistema, con la siguiente estructura general:

Figura 44

JSON comunicación serial (AUTOR)

```
1  {
2      "Tipo_Com":1,
3      "Dir_Esclavo":1,
4      "Funcion":"Read",
5      "Dir_Registro":0,
6      "EstacionMetereologica_rx":[
7          {
8              "Temperatura":null,
9              "Humedad":null,
10             "VelocidadViento":0,
11             "DirViento":112.5,
12             "LLuvia":0,
13             "Luminosidad ":4.990225
14         }
15     ]
16 }
17
```

Esta estructura garantiza la identificación del tipo de mensaje, su origen de esta manera el servicio que será el que reciba esta estructura procede a enviar a la API los datos para su almacenamiento

Estructura del servicio de comunicación serial

El servicio de comunicación serial se diseñó como un componente independiente y opera como puente entre el hardware (MTU) y el software (API REST). Sus características principales son:

- **Gestión de puertos seriales:** Abre y configura automáticamente el puerto serial conectado al Arduino.

- **Procesamiento de mensajes:** Deserializa los mensajes JSON recibidos y los convierte en objetos que pueden ser procesados por la API.
- **Mecanismos de resiliencia:** Implementa detección de desconexiones, reintentos automáticos y recuperación ante fallos de comunicación.
- **Buffer de mensajes:** Almacena temporalmente los mensajes cuando hay problemas de conexión con la API para evitar pérdida de datos.
- **Logging extensivo:** Registra todos los eventos de comunicación para facilitar el diagnóstico de problemas.

Este servicio es crítico para la operación del sistema, ya que constituye el único punto de comunicación entre el mundo físico (sensores y actuadores) y el software de monitoreo y control.

2.8 Resultados de la construcción e implementación

2.8.1 Componentes de software desarrollados

Durante la fase de implementación, se desarrollaron los siguientes componentes de software, siguiendo la arquitectura diseñada previamente:

API REST (ASP.NET Core)

Se desarrolló una API REST FULL utilizando ASP.NET Core para proporcionar servicios a la aplicación de monitoreo y otras posibles interfaces. Los endpoints implementados incluyen:

- /api/Medicion: Registro y consulta de datos de sensores
- /api/UnidadMedida: Registro y consulta de las unidades de medida
- /api/Evento: Registro y consulta de datos de los eventos del sistema
- /api/LogsDispositivo: Gestión y consulta de estados de los dispositivos
- /api/Sistema: Gestión y consulta de los sistemas

Servicio de comunicación serial

Se implementó un servicio Windows en Python que:

- Establece comunicación con el MTU a través del puerto serial
- Procesa y deserializa los mensajes JSON recibidos
- Envía los datos procesados a la API REST
- Transmite comandos de control desde la Interfaz de usuario hacia el MTU
- Implementa mecanismos de recuperación ante fallos de comunicación

Programas para MTU y RTU

Para la implementación del hardware, se desarrollaron programas específicos para los dispositivos Arduino Mega 2560:

1. Programa para MTU (Unidad Terminal Maestra):

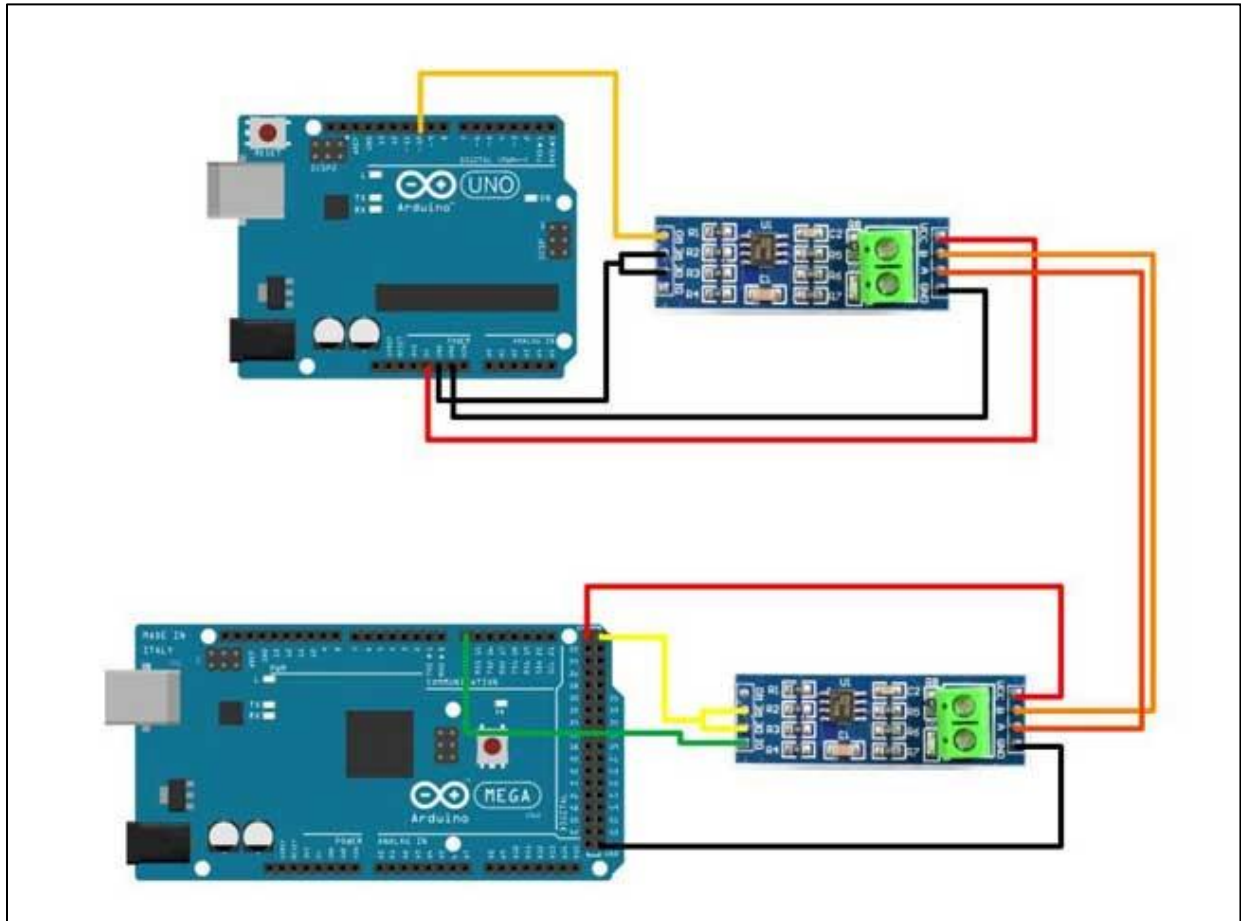
- Gestiona la comunicación con múltiples RTUs utilizando módulos 485
- Deserializa los datos recibidos en formato JSON
- Transmite los datos al servicio de comunicación serial
- Recibe comandos de control y los redirige a las RTUs correspondientes

2. Programa para RTUs (Unidades Terminales Remotas):

- Lee datos de los sensores conectados (pH, temperatura, oxígeno disuelto)
- Controla los actuadores locales (bombas, sistemas de oxigenación)
- Responde a las solicitudes de la MTU enviando lecturas de sensores
- Ejecuta comandos de control recibidos desde la MTU

Figura 45

Comunicación MTU y RTU (PROGRAMARFACIL.COM)



2.8.2 Integración con hardware

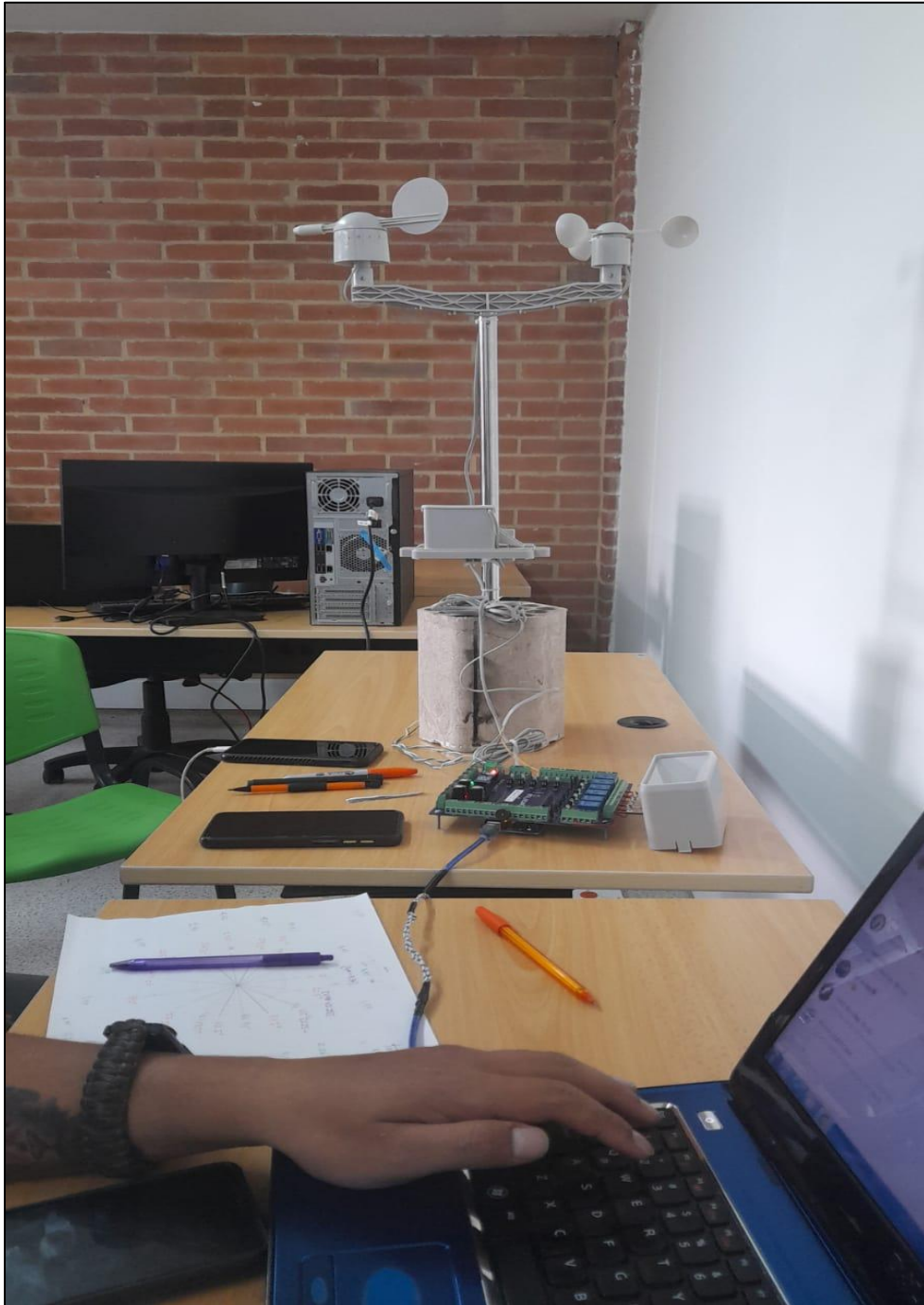
Implementación de dispositivos

La implementación física del sistema incluyó la configuración y programación de:

- 1 Arduino Mega 2560 como MTU (Unidad Terminal Maestra)
- 1 Arduino Mega 2560 como RTU (Unidades Terminales Remotas) Estación meteorológica
- 1 Arduino uno como RTU (Unidades Terminales Remotas) Peces

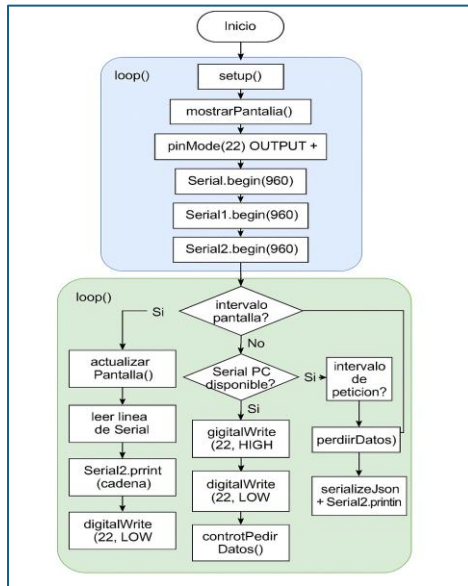
Figura 46

RTU Estación Meteorológica (Foto autor)

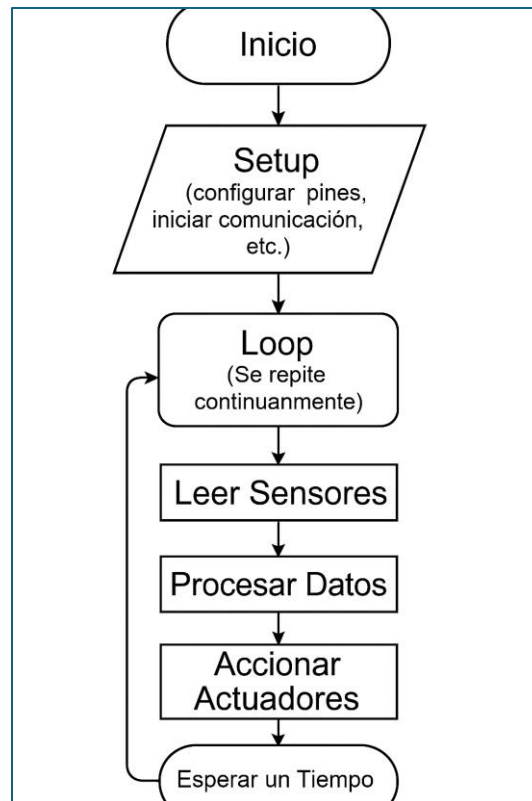


Cada dispositivo fue programado con el firmware correspondiente, configurado para su rol específico y conectado a los sensores y actuadores pertinentes. Las figuras 47 y 48 muestran el diagrama de flujo del firmware base de la MTU y de la RTU

Figura 47 DF MTU



*Figura 48
DF RTU*



Dispositivos implementados

Tabla 30

Descripción dispositivos

| Tipo | Componente | Cantidad | Descripción | Referencia |
|----------|-------------|----------|---|------------|
| Sensores | Anemómetro | 1 | Sensor para medir la velocidad del viento en la estación meteorológica | SEN-08942 |
| | DHT22 | 1 | Sensor digital de temperatura y humedad relativa, rango -40 a 80°C, precisión $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ | AM2302 |
| | Veleta | 1 | Sensor para determinar la dirección del viento en la estación meteorológica | RG-WDS |
| | Pluviómetro | 1 | Instrumento para medir la cantidad de precipitación en un período determinado | RG-RG |

| | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---|---|--------------------------------|
| | Sensor de pH | 1 | Sensor para medición continua de pH del agua, rango 0-14, precisión ± 0.1 | SEN0161 |
| | Sensor de temperatura acuática | 1 | Sonda impermeable para medición de temperatura en tanques de peces | DS18B20 |
| | Sensor de oxígeno disuelto | 1 | Sensor para medición de niveles de oxígeno en el agua, crucial para la supervivencia de peces | Atlas Scientific DO Kit |
| | Sensor de nivel de agua | 1 | Detector de nivel para control de llenado y prevención de desbordamientos | XKC-Y25-V |
| Actuadores | Bombas de agua | 2 | Bombas sumergibles para recirculación del agua entre los componentes del sistema acuapónico | RS-3160 |
| | Sistemas de oxigenación | 1 | Bombas de aire para incrementar niveles de oxígeno disuelto en tanques de peces | AP-9500 |
| | Dispensadores de comida | 2 | Servomotores programados para dosificar alimento para peces a horas específicas | SG90 + Mecanismo personalizado |
| | Extractores de calor | 1 | Ventiladores controlados mediante relés para regular temperatura en invernadero | DC12V 120mm |
| | Relés | 4 | Interruptores electromagnéticos para control de dispositivos de potencia | Módulo relé 5V 8 canales |

La Figura 49 y 50 muestra los esquemas eléctricos implementados, mientras que la Figura 51 presenta fotografías de la implementación física del sistema.

Figura 49

Diagrama de conexión eléctrica (AUTOR)

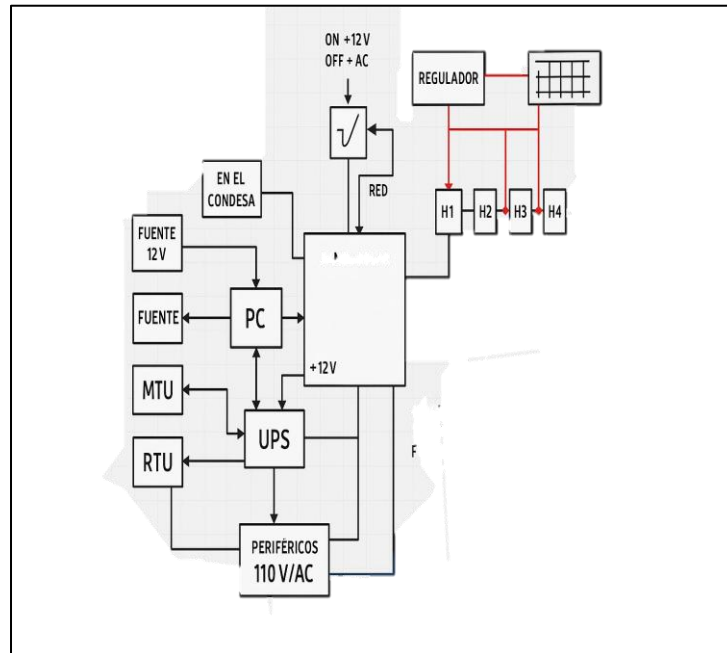


Figura 50

Plano de conexión solar (AUTOR)

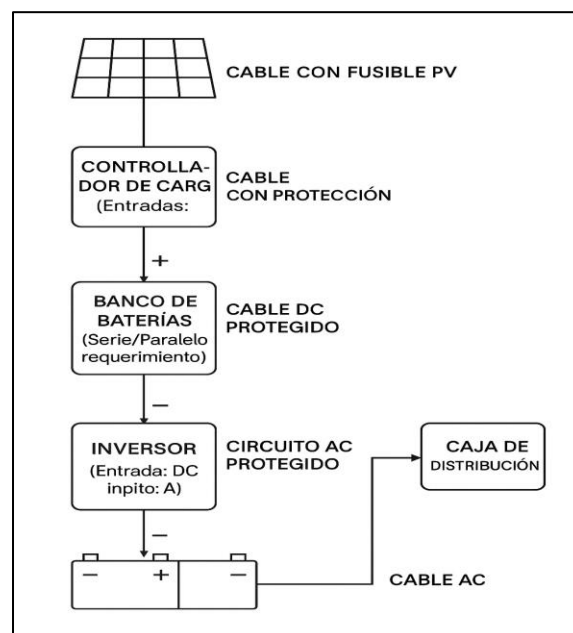


Figura 51

Foto sistema eléctrico (FOTO LESTOMA)



2.8.3 Implementación de infraestructura virtualizada en PROXMOX

Para garantizar la disponibilidad, escalabilidad y seguridad del sistema software, se implementó una infraestructura virtualizada utilizando PROXMOX VE:

Configuración del servidor PROXMOX

Se configuró un servidor PROXMOX VE 7.2 con las siguientes características:

1. VM FROM Principal:

- SO: Ubuntu Server 20.04 LTS
- CPU: 4 vCPUs
- RAM: 16 GB
- Almacenamiento: 200 GB

2. VM API y Servicios Web:

- SO: Ubuntu Server 20.04 LTS
- CPU: 4 vCPUs

- RAM: 8 GB
- Almacenamiento: 20 GB
- Servicios: API REST, Servidor web NGINX

3. VM Base de Datos:

- SO: Ubuntu Server 20.04 LTS
- CPU: 8 vCPUs
- RAM: 16 GB
- Almacenamiento: 500 GB
- Servicios: SQL Server 2019 para Linux

Configuración de red y seguridad

Se implementaron políticas de seguridad que incluyen:

- Firewalls en cada máquina virtual y a nivel de PROXMOX
- Autenticación basada en certificados para comunicaciones internas
- Monitoreo continuo de intentos de acceso no autorizados
- Alta disponibilidad y respaldos
- Se configuraron mecanismos de alta disponibilidad y respaldo:
- Snapshots automáticos diarios de las máquinas virtuales
- Respaldos completos semanales
- Configuración de alta disponibilidad en PROXMOX para reinicio automático de VMs en caso de fallos

La interfaz de PROXMOX permite la creación y gestión de máquinas virtuales, así como la administración de los recursos físicos del servidor, como se muestra en la Figura 53. En esta plataforma es posible supervisar y asignar recursos como CPU, memoria y almacenamiento.

En la Figura 54 se presenta una de las máquinas virtuales en funcionamiento. Para su gestión remota, se instaló VNC CONNECT en dicha máquina, lo que permite visualizar el escritorio de Windows desde el equipo de administración. Desde este equipo se realiza la gestión completa de

la red LESTOMA (figura 52), compuesta por switches, servidores físicos, servidores virtuales y puntos de acceso.

Figura 52

Diagrama de red LESTOMA (AUTOR)

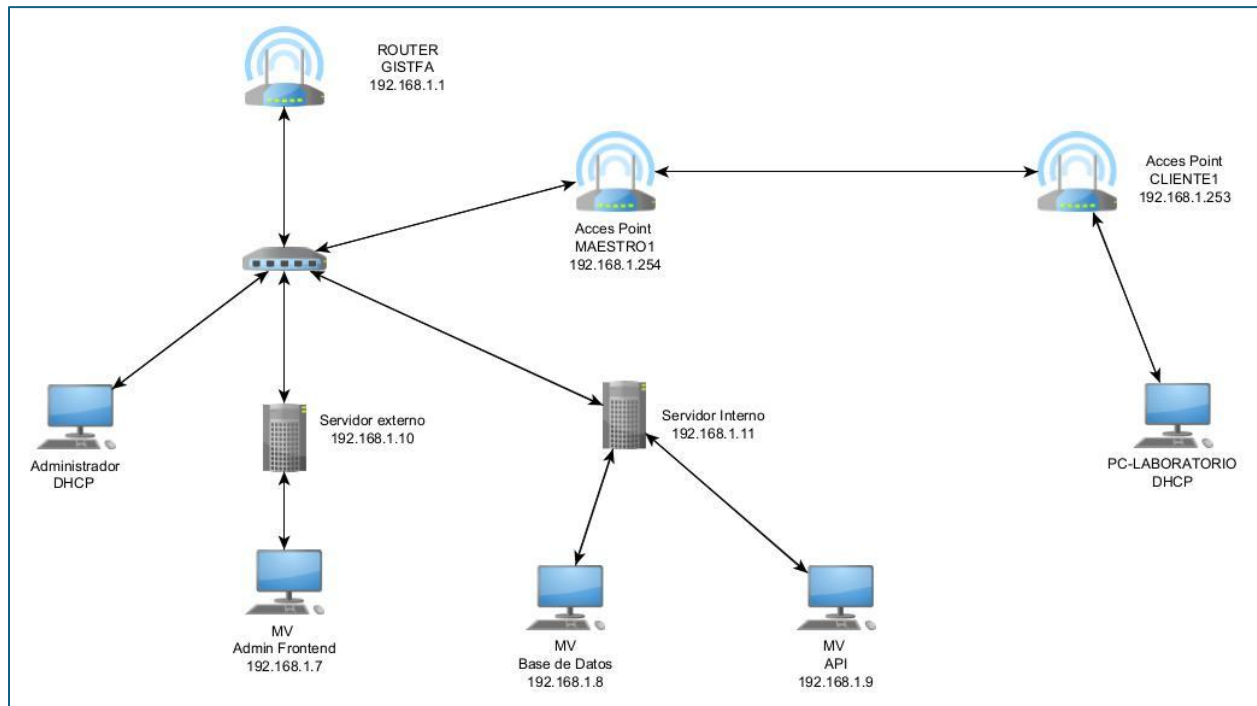


Figura 53
 Interfaz PROXMOX (CAPTURA DE PANTALLA)

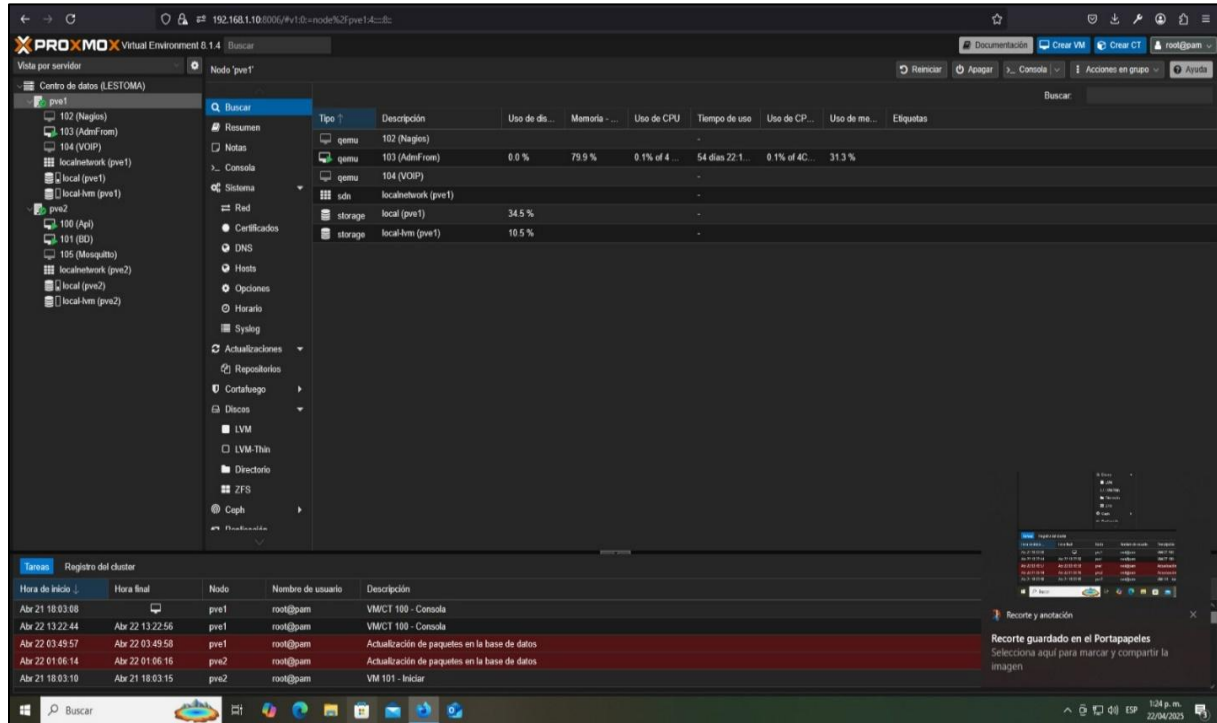
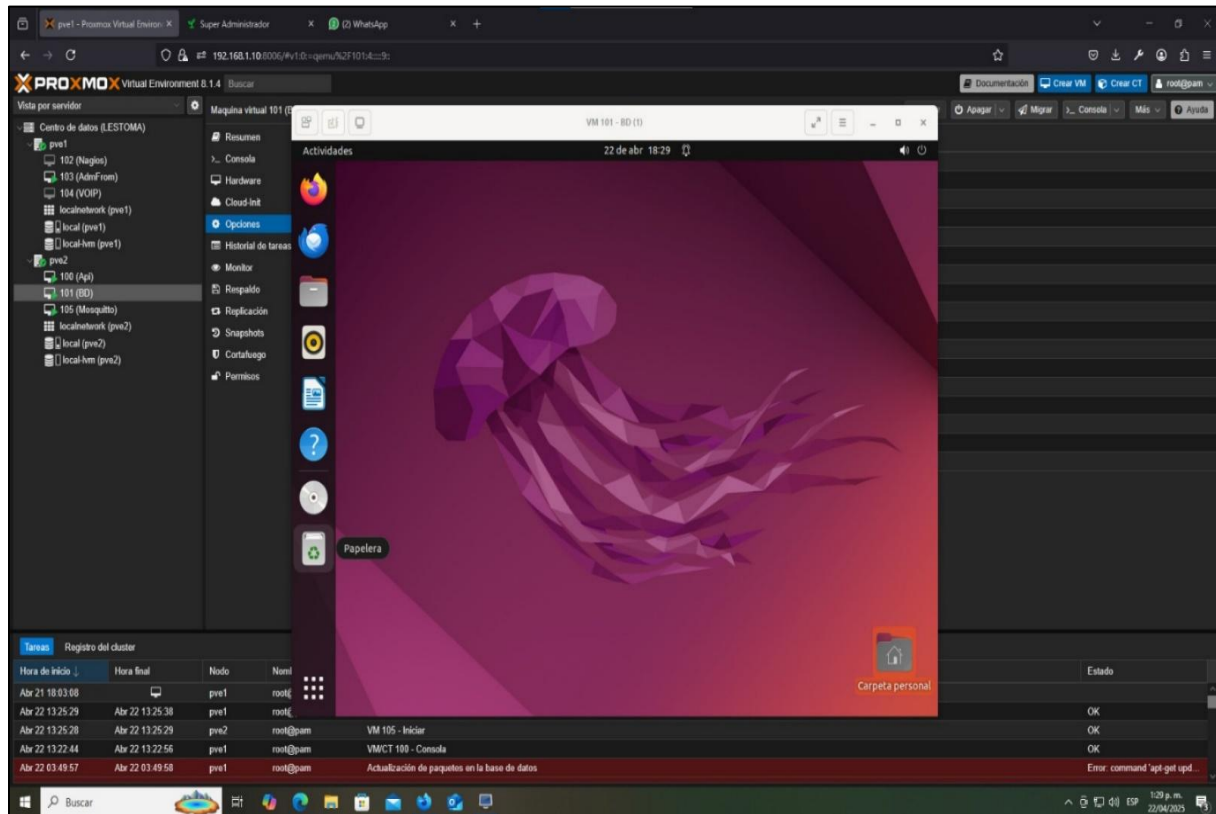


Figura 54

Interfaz de Máquina Virtual (CAPTURA DE PANTALLA)



2.8.4 Base de datos

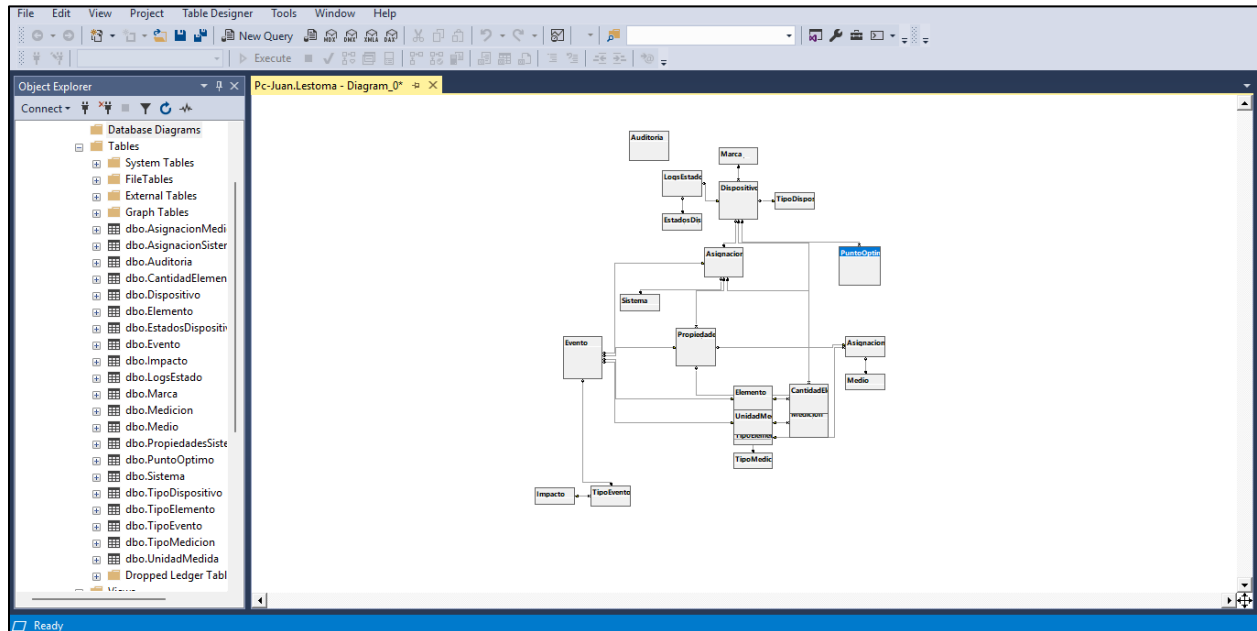
Implementación del esquema de base de datos

Se implementó el esquema de base de datos diseñado en SQL Server 2019, incluyendo:

- Creación de todas las tablas con sus respectivos atributos y relaciones
- Implementación de restricciones de integridad referencial
- Configuración de índices para optimizar consultas frecuentes

Figura 55

Implementación de base de datos (autor)



La implementación de la base de datos es cómo se aprecia en la figura 49 se realiza con la primera ejecución del API REST ya que al ejecutar el API revisa si la base de datos se encuentra en el equipo o si no comienza a crear la base de datos con las entidades y sus relaciones, para ello necesita tener el motor de base de datos instalado como también del archivo appsetting debidamente diligenciado con la cadena de conexión. Se generó un respaldo inicial de la base de datos tras su implementación, el cual se adjunta en el Anexo 1.

2.8.4.1 Interfaces de usuario implementadas

Interfaz web

Se implementó una interfaz web responsiva que permite:

- Acceso al sistema desde cualquier dispositivo con navegador
- Visualización de datos en tiempo real mediante dashboard responsivo
- Consulta de datos históricos con opciones de filtrado
- Generación de reportes personalizados

La Figura 56 muestra capturas de pantalla de la interfaz web

Figura 56

Web LESTOMA (AUTOR)



2.9 Asesorías y transferencia de conocimiento

Se realizaron diversas sesiones de asesoría con otros grupos de trabajo, como de asesores externos, permitiendo un intercambio valioso de conocimientos. Estas interacciones han enriquecido el proyecto LESTOMA y han contribuido a la continuación de las metodologías y tecnologías implementadas.

2.9.1 Asesorías y validación con expertos

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diversas sesiones de asesoría con personas externas como del mismo proyecto los cuales son expertos en sus campos de acción, lo que permitió enriquecer y validar aspectos críticos del sistema:

Asesoría en bases de datos: Se contó con la orientación de un especialista en diseño de bases de datos, quien contribuyó significativamente en la evolución del modelo relacional inicial a un esquema más normalizado y escalable. Esta colaboración fue fundamental para transitar de un modelo enfocado en sistemas específicos a una arquitectura de datos flexible que permite incorporar nuevos elementos sin modificar la estructura base.

Asesoría en electrónica y sistemas embebidos: La implementación del hardware fue construida y validada por el ingeniero Jaime Andrade quien es experto en sistemas embebidos, y quien

revisó los esquemas eléctricos, la implementación y puesta en marcha y la validación en sitio de la arquitectura de comunicación MTU-RTU.

2.9.2 Asesorías metodológicas a grupos de investigación

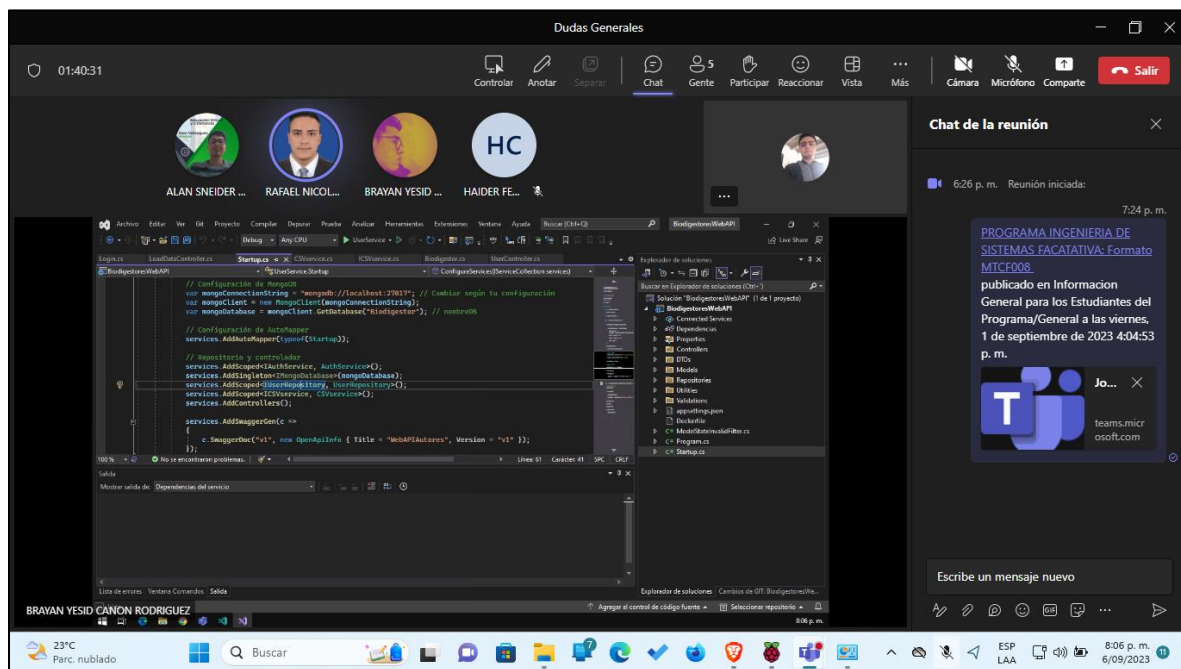
Se realizaron sesiones de asesoría a los diferentes grupos de trabajo del proyecto LESTOMA, constituido por estudiantes del programa Ingeniería de sistemas que desarrollaban sus opciones de grado y donde se compartieron diferentes experiencias del desarrollo y de las principales áreas de intercambio, se incluyeron:

- **Arquitectura de sistemas:** Se compartieron los fundamentos de la arquitectura N-Capas implementada y su aplicabilidad en sistemas de monitoreo y control ambiental.
- **Desarrollo evolutivo de bases de datos:** Se expuso la experiencia en la transformación del modelo de datos inicial hacia un esquema normalizado y escalable, destacando los beneficios en términos de mantenibilidad y extensibilidad.

Estas sesiones algunas veces fueron virtuales como presencial y como evidencia de estas:

Figura 57.

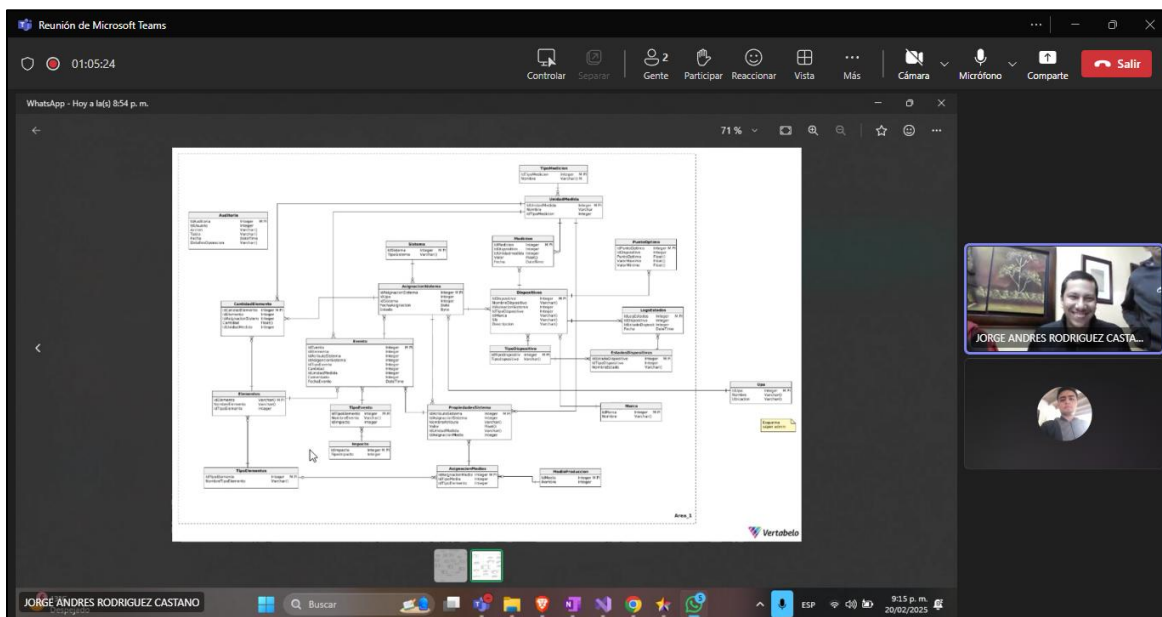
Asesoría API



El desarrollo del API REST principal fue desarrollado por los grupos de trabajo que desarrollaron sus proyectos de grado, para ello fue de vital importancia comunicar los avances y realizar reuniones periódicas a través de TEAMS como se aprecia en la figura 38.

Figura 58.

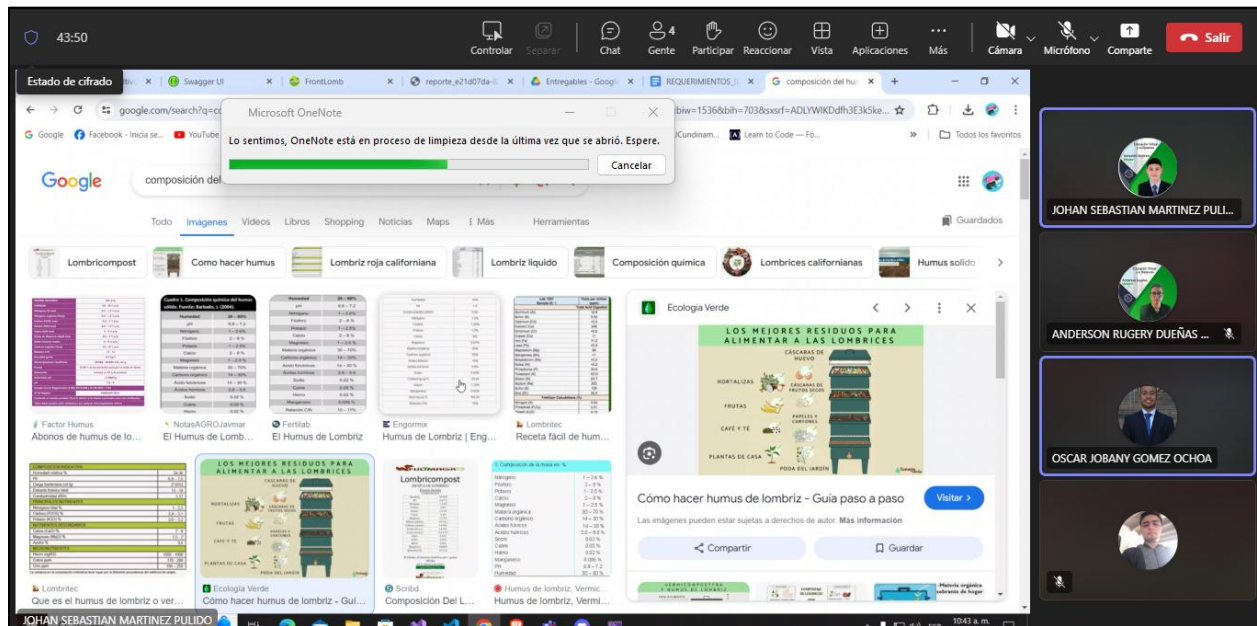
Asesoría base de datos (AUTOR)



Se implementa un proceso de inducción completo para los nuevos miembros del equipo. Esta capacitación inicial evita reprocesos posteriores y permite que los investigadores se concentren eficientemente en sus áreas de investigación y desarrollo de nuevas soluciones. Como se aprecia

en la figura 39, las reuniones de inducción constituyen una etapa fundamental para garantizar la integración efectiva del personal y el correcto avance de los proyectos.

Figura 59
Asesoría con tutor (AUTOR)



El proyecto LESTOMA ha crecido gracias a la valiosa colaboración interdisciplinaria establecida con diversos equipos de trabajo. Estas alianzas han enriquecido esta iniciativa, ya que cada grupo aporta perspectivas únicas desde sus respectivos campos de experiencia y conocimiento. Gracias a estas conexiones profesionales, se ha logrado implementar soluciones innovadoras que responden a necesidades reales, aprovechando la complementariedad de habilidades y recursos. El diálogo constante y la retroalimentación mutua entre los diferentes colaboradores han creado un ecosistema de aprendizaje colectivo donde todos se benefician. Es gratificante observar cómo, paso a paso, estos esfuerzos conjuntos están materializándose en resultados tangibles que impulsan el avance sostenido de LESTOMA, permitiendo cosechar frutos que superan las expectativas iniciales y abren nuevas posibilidades para el futuro del proyecto.

2.10 Actividades complementarias y pruebas de campo

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diversas actividades complementarias que, si bien no formaban parte del núcleo central del sistema acuapónico automatizado, contribuyeron significativamente a su implementación, validación y expansión de capacidades. Estas actividades representan el carácter integral y multidisciplinario del proyecto.

2.10.1 Pruebas iniciales con la estación meteorológica en la Unidad Agroambiental El Vergel

Una de las primeras fases de validación del hardware desarrollado se realizó mediante la implementación de pruebas de campo con la estación meteorológica en la Unidad Agroambiental El Vergel. Esta actividad permitió evaluar el funcionamiento de los sensores en condiciones reales de operación antes de su integración al sistema completo.

Se instaló la estación meteorológica prototipo para monitorear:

- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitación

Los datos recopilados fueron comparados con la estación meteorológica Davis Vantage Pro-2 una correlación superior al 95% en las mediciones de temperatura, humedad, y de velocidad del viento. Estas pruebas iniciales permitieron:

1. Calibrar adecuadamente los sensores antes de su implementación definitiva
2. Identificar deficiencias en la protección contra intemperie de algunos componentes electrónicos
3. Optimizar los intervalos de muestreo para obtener datos representativos sin generar volúmenes excesivos de información
4. Validar la autonomía energética del sistema con alimentación solar

Figura 60

Instalación de estación meteorológica (FOTO AUTOR)

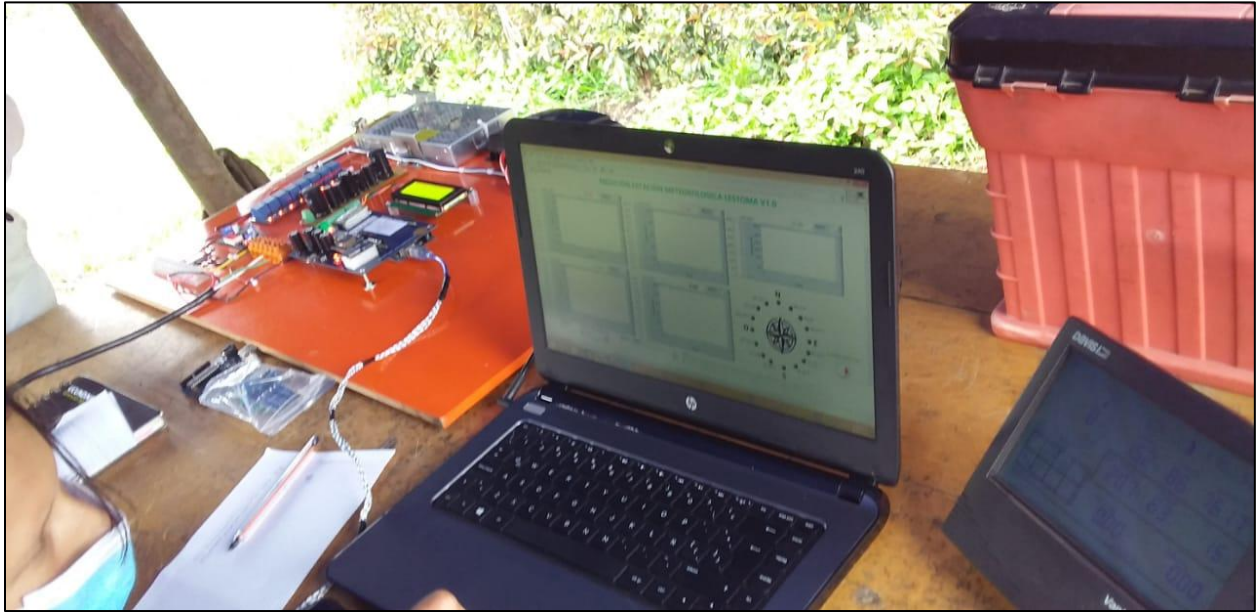


Figura 61

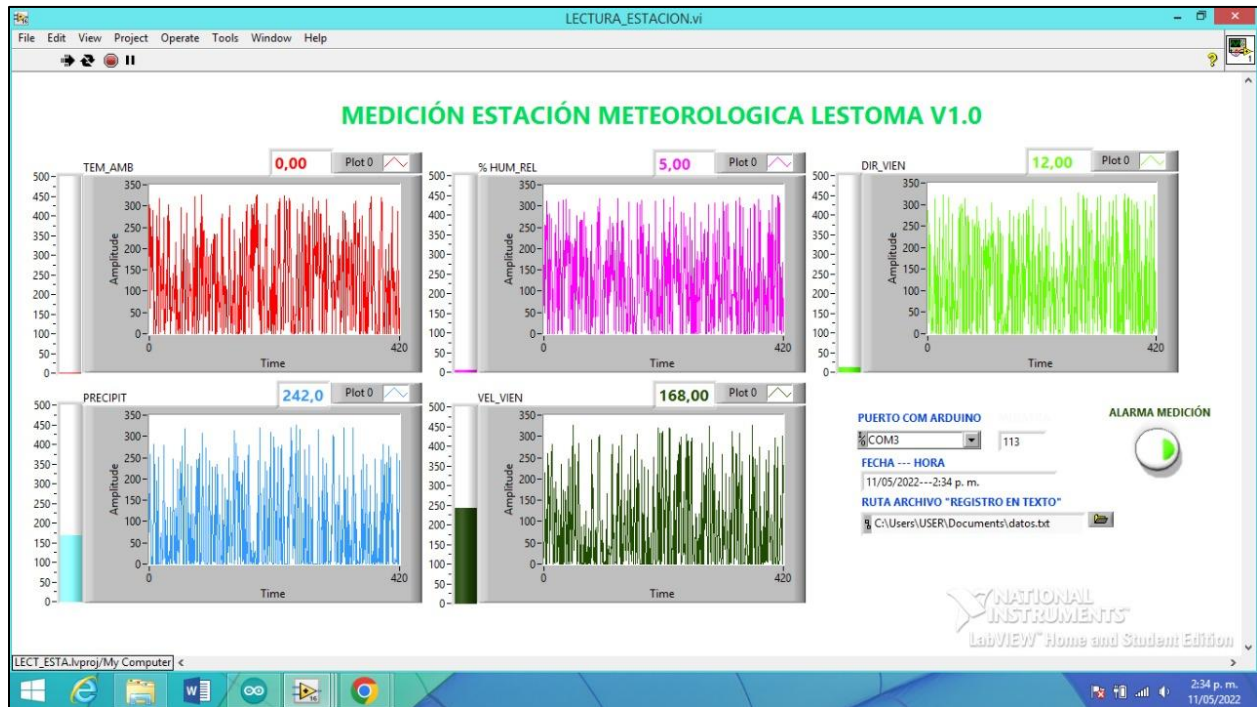
Instalación de estación meteorológica (FOTO AUTOR)



La Figura 61 muestra la instalación de la estación meteorológica en El Vergel, mientras que la Figura 62 se observa la interfaz que se desarrolló en LABVIEW por el Ing. Jaime Andrade para esta prueba, la cual muestra de manera grafica las variables obtenidas en por los sensores que hacen parte de la estación meteorológica

Figura 62

Interfase hecha en LabVIEW (Jaime Andrade)



2.10.2 Introducción de truchas en la Finca La Reserva

Como parte de la validación del sistema acuapónico completo, se realizó la introducción de 250 ejemplares de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en las instalaciones de la Finca La Reserva. Esta actividad, constituyó una prueba crítica para evaluar la capacidad del sistema automatizado para mantener condiciones óptimas para la vida acuática.

Las truchas fueron adquiridas, con un tamaño promedio de 6 cm y un peso aproximado de 15 gramos por ejemplar. El proceso de introducción siguió un protocolo riguroso que incluyó:

- Aclimatación gradual de los peces para evitar el estrés térmico
- Monitoreo intensivo durante las primeras 48 horas
- Alimentación controlada

Los resultados de esta actividad fueron particularmente significativos para el proyecto, ya que:

- Se pudo tener truchas a 2900 metros sobre el nivel del mar
- La temperatura para las truchas fue propicia. Figura 63
- Demostró la importancia de contar con respaldo energético

Esta prueba de campo demostró de manera concluyente la importancia de contar de sistemas automatizados y respaldos de electricidad para reducir la mortalidad y optimizar las condiciones de cultivo, validando así uno de los objetivos centrales del proyecto.

Figura 63

Temperatura del agua (AUTOR)



Figura 64.

Truchas en estanque (Foto Autor)



La implementación, ilustrada en la Figura 64, se llevó a cabo en un tanque de prueba equipado con un sistema de inyección de oxígeno, una bomba de recirculación de agua y un sistema de filtrado, permitiendo así la renovación continua del recurso hídrico.

2.10.3 Implementación y utilización de impresora 3D Ender

Reconociendo la necesidad de personalizar componentes específicos para el sistema acuapónico, el proyecto realizó la adquisición, ensamblaje y puesta en marcha de una impresora 3D Ender.

El proceso de implementación incluyó:

1. Ensamblaje completo siguiendo las especificaciones del fabricante. Figura 65 y Figura 66
2. Calibración precisa de la plataforma y extrusor
3. Configuración del software de laminado (ULTIMAKER CURA) con perfiles optimizados
4. Pruebas iniciales de impresión para validar la calidad. Figura 67

Una vez operativa, la impresora 3D se utilizó para fabricar diversos componentes esenciales para el proyecto:

- Engranajes de filtro de tambor
- Caja protectora sensor DHT22
- Cajas incubadoras de huevos
- Codos 4 salidas

Figura 65.

Piezas impresoras (Foto autor)



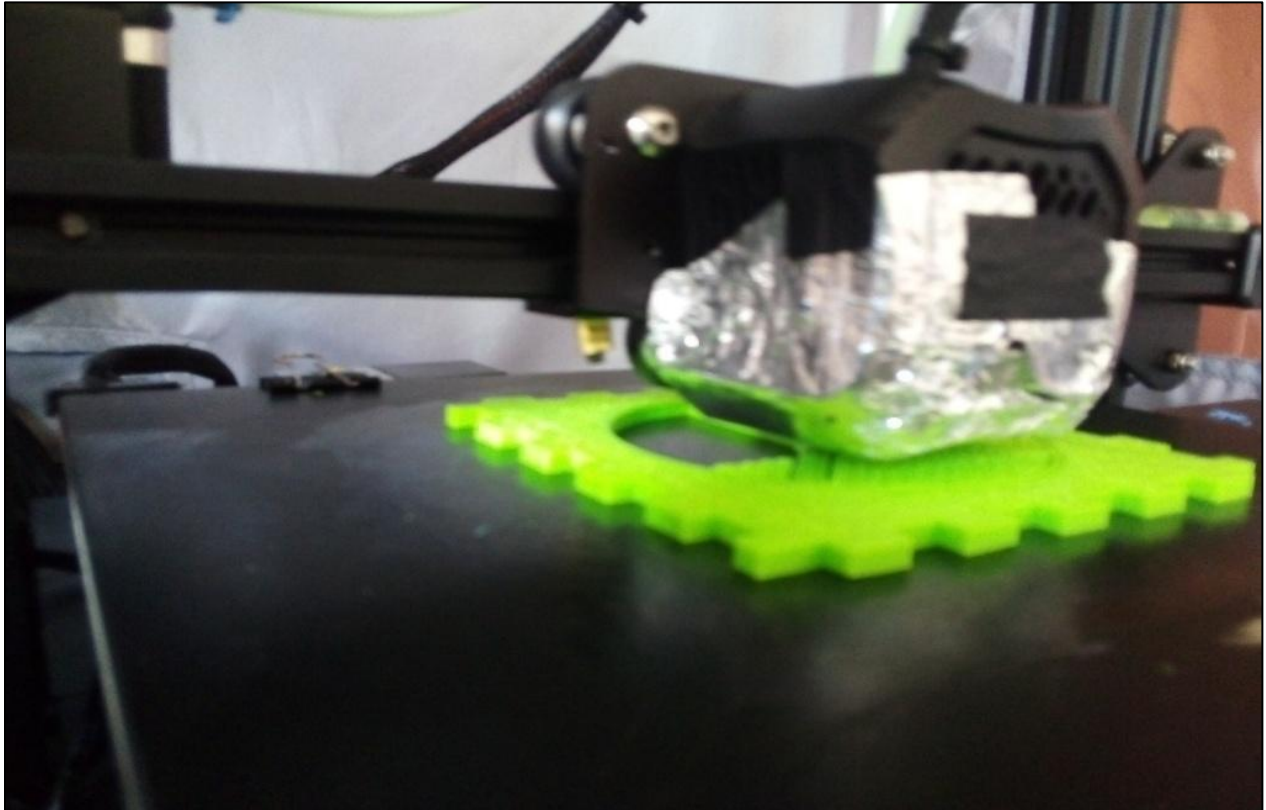
Figura 66.

Armado de impresora 3d (Foto archivo)



Figura 67.

Impresión de piezas (foto autor)



2.10.4 Divulgación científica y eventos académicos

Los avances del proyecto fueron presentados en 2 espacios académicos, permitiendo la retroalimentación por parte de los participantes:

- **Presentación en el VIII Encuentro Internacional de semilleros de Investigación “TECNOLOGIAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE”:** Realizado el 6 de

octubre del 2022 en Facatativá, Cundinamarca, donde obtuvimos la certificación de participación. Figura 68

Figura 68.

Certificación de participación (ESCAR)



- **Presentación en el IX Encuentro Internacional de Semilleros de investigación "Retos de la investigación científica frente a las tecnologías emergentes en el desarrollo sostenible":** Realizado el 28 de septiembre del 2023 en Facatativá, Cundinamarca, donde se obtuvo la certificación de participación. Figura 69

Figura 69.

Certificado de participación (ESUFA)



2.10.5 Contribución a la construcción del Laboratorio LESTOMA

Una de las actividades fue la participación en la construcción del Laboratorio LESTOMA

Construcción e implementación física

Durante la fase constructiva, participe activamente en:

1. Instalación de sistemas hidráulicos: Se realizó el montaje de tuberías, bombas y sistemas de filtración necesarios para el circuito acuapónico, verificando la ausencia de fugas y la eficiencia en los flujos de recirculación.
2. Montaje de estructuras de soporte: Se construyeron e instalaron camas de cultivo y medios de raíz flotante, considerando capacidades de carga y facilidad de acceso para mantenimiento.

3. Implementación del sistema eléctrico: Se realizó el tendido de cableado, instalación de tableros de control y protecciones eléctricas, garantizando la seguridad y eficiencia energética del laboratorio. Figura 70

Figura 70

Construcción laboratorio



2.11 Conclusiones y recomendaciones

Al finalizar este recorrido por el desarrollo del sistema acuapónico automatizado para la región Sabana Occidente, es evidente que la integración de tecnologías de monitoreo y control en tiempo real representa una oportunidad transformadora para el sector agropecuario regional. Este proyecto, centrado en el desarrollo de una aplicación local para la gestión del laboratorio LESTOMA, ha permitido establecer bases sólidas para la modernización de prácticas productivas tradicionales a través de la implementación de soluciones tecnológicas adaptadas al contexto local.

1. **Transformación tecnológica efectiva:** El sistema acuapónico automatizado desarrollado demuestra que la integración de tecnologías de monitoreo y control en tiempo real constituye una vía efectiva para transformar prácticas agropecuarias tradicionales en la región Sabana Occidente, mejorando significativamente la productividad y sostenibilidad de estos sistemas.
2. **Valor del enfoque metodológico:** La implementación de la metodología CDIO ha sido fundamental para el éxito del proyecto. Particularmente, la inversión de tiempo y recursos en las fases de conceptualización y diseño evitó complicaciones posteriores que hubieran resultado costosas de solventar, confirmando que el tiempo dedicado a planificar adecuadamente antes de construir optimiza todo el proceso de desarrollo.
3. **Eficacia de la arquitectura implementada:** La arquitectura N-Capas y el sistema de comunicación MTU-RTU han demostrado ser altamente adecuados para este tipo de implementación. La clara separación de responsabilidades entre componentes no solo facilitó el desarrollo paralelo, sino que también establece bases sólidas para futuras ampliaciones, permitiendo que el sistema se adapte a nuevos requerimientos sin necesidad de reingeniería completa.
4. **Robustez del servicio de comunicación:** La decisión de crear un servicio independiente para gestionar la comunicación con el hardware ha sido acertada, proporcionando robustez ante fallos de comunicación y simplificando la depuración durante el desarrollo. Este enfoque resulta particularmente valioso en entornos rurales donde las condiciones eléctricas y ambientales pueden ser adversas.

5. **Potencial educativo del proyecto:** Las sesiones de asesoría realizadas con otros grupos revelaron un valor adicional del proyecto como herramienta pedagógica. El intercambio de conocimientos sobre arquitectura de sistemas, comunicación hardware-software y diseño de interfaces ha demostrado que los aprendizajes adquiridos trascienden esta implementación específica y pueden contribuir al desarrollo de iniciativas similares en la región.
6. **Impacto en la eficiencia productiva:** Los primeros resultados de implementación demuestran el valor práctico del sistema en la detección temprana de alteraciones en las condiciones del ecosistema acuapónico. La capacidad de identificar y corregir problemas de oxigenación o pH antes de que afecten a los organismos acuáticos representa un impacto tangible en la productividad y rentabilidad de estos sistemas.
7. **Contribución a la sostenibilidad:** El sistema desarrollado responde directamente a necesidades actuales de producción sostenible, maximizando la producción de alimentos mientras minimiza el consumo de recursos hídricos. La tecnología implementada potencia esta ventaja inherente al permitir un control preciso de las condiciones del sistema acuapónico.
8. **Desafíos de implementación:** A pesar de los beneficios demostrables, persisten retos importantes para la adopción masiva de esta tecnología. El costo inicial de implementación representa una barrera para pequeños productores, y la necesidad de interfaces más intuitivas para usuarios con diferentes niveles de familiaridad tecnológica requiere atención en futuras iteraciones del sistema.
9. **Perspectivas de desarrollo futuro:** El proyecto abre múltiples líneas de investigación y desarrollo, incluyendo la incorporación de capacidades predictivas mediante inteligencia artificial, la exploración de componentes más económicos que democratizen el acceso a estas tecnologías, y la validación en diferentes contextos productivos regionales.
10. **Integración multidisciplinaria efectiva:** La construcción del laboratorio LESTOMA y las pruebas de campo realizadas evidencian que el éxito de iniciativas tecnológicas en el sector agropecuario depende fundamentalmente de equipos multidisciplinarios que integren conocimientos en electrónica, software, biología y agronomía, creando soluciones que respondan genuinamente a las necesidades de los productores.

11. Limitaciones presupuestarias y adaptación: Es importante señalar que no se recibieron los recursos económicos para el proyecto en los tiempos establecidos, lo que impidió la adquisición de elementos de comunicación, sensoria y demás componentes de control electrónico necesarios para efectuar una validación y pruebas completas del sistema. A pesar de esta limitación significativa, se completaron satisfactoriamente las aplicaciones de software, se implementó la arquitectura de enlace de comunicación y se dejaron establecidas las bases para la futura integración de los componentes físicos cuando los recursos estén disponibles.

En esencia, este proyecto representa una contribución significativa a la innovación agrícola regional, sentando bases para sistemas productivos más eficientes, resilientes y sostenibles que fortalezcan la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental en la región Sabana Occidente

2.12 Bibliografía

Acuaponia: Producción de Plantas y Peces | Intagri S.C. (n.d.). Retrieved April 23, 2025, from <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>

Adidrana, D., Iskandar, A. R., Nurhayati, A., Suyatno, Ramdhani, M., Adam, K. B., Ardianto, R., & Ekaputri, C. (2022). Simultaneous Hydroponic Nutrient Control Automation System Based on Internet of Things. *International Journal on Informatics Visualization*, 6(1), 124–129. <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1.865>

ASP.NET Core Blazor | Microsoft Learn. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/?view=aspnetcore-9.0>

Barrera Chaparro, D. L., & Arias Niño, K. A. (2018). *PROPUESTA PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA EMPRESA ACUAPONÍA CASANSARE S.A.S.*
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=ing_industrial

Blazor | *Build client web apps with C#* | .NET. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet/web-apps/blazor>

- ¿Cómo puede contribuir la acuicultura a acabar con el hambre? | Noticias ONU. (n.d.). Retrieved April 23, 2025, from <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484232>
- Comprenda las licencias de SQL Server - AWS Guía prescriptiva. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from https://docs.aws.amazon.com/es_es/prescriptive-guidance/latest/optimize-costs-microsoft-workloads/sql-server-licensing.html
- Concepcion II, R., Lauguico, S., Alejandrino, J., Dadios, E., Sybingco, E., & Bandala, A. (2022). Aquaphotomics determination of nutrient biomarker for spectrophotometric parameterization of crop growth primary macronutrients using genetic programming. *Information Processing in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.12.007>
- Decisión 486 del 2000: veinte años y sigue tan campante... | *Ámbito Jurídico*. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.ambitojuridico.com/noticias/especiales/mercantil-propiedad-intelectual-y-arbitraje/decision-486-del-2000-veinte-anos-y>
- Decreto 1575 de 2007 - Gestor Normativo - Función Pública. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Edwin, B., Veemaraj, E., Parthiban, P., Devarajan, J. P., Mariadhas, V., Arumuganainar, A., & Reddy, M. (2022). Smart agriculture monitoring system for outdoor and hydroponic environments. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(3), 1679–1687. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i3.pp1679-1687>
- Ellison Mathe, S., Bandaru, M., Kishan Kondaveeti, H., Vappangi, S., & Sanjiv Rao, G. (2022). A Survey of Agriculture Applications Utilizing Raspberry Pi. *2022 International Conference on Innovative Trends in Information Technology, ICITIIT 2022*. <https://doi.org/10.1109/ICITIIT54346.2022.9744152>
- Felipe, L., & Zambrano, H. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis Mossambicus) y Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)*.
- Garnica Estrada, E., Franco Calderón, J. A., Plazas Estepa, R., Garnica Rstrada, R., Calderón, J. A. F., & Plazas Rstepa, R. (2023). LA PROTECCIÓN DEL SOFTWARE EN COLOMBIA:

DERECHOS DE AUTOR. *Revista Republicana*, 35, 273–284.

<https://doi.org/10.21017/Rev.Repub.2023.v35.a159>

Inicio. (n.d.). Retrieved April 23, 2025, from <https://www.suhissa.com.mx/>

ISO 25010. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>

Kaiborta, A. K., & Samal, S. (2022). IoT based Voice Assistant for Home Automation.

Proceedings - 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2022, 165–172. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT53264.2022.9716533>

Kodali, R. K., & Sabu, A. C. (2022). Aqua Monitoring System using AWS. *2022 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2022*.

<https://doi.org/10.1109/ICCCI54379.2022.9740798>

Ley 13 de 1990 – Estatuto General de Pesca – Pesca – Actividad Pesquera – Recursos

Hidrobiológicos – Recursos Pesqueros – Pertenecen al dominio público del Estado los recursos hidrobiológicos – Mar Territorial (MT) – Zona Económica Exclusiva (ZEE) – Aguas. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from

<https://www.anla.gov.co/eureka/normatividad/leyes/3430-ley-13-de-1990-estatuto-general-de-pesca-pesca-actividad-pesquera-recursos-hidrobiologicos-recursos-pesqueros-pertenecen-al-dominio-publico-del-estado-los-recursos-hidrobiologicos-mar-territorial-mt-zona-economica-exclusiva-zee-aguas-continentales-ac-cuerpos-de-agua-autoridad-nacional-de-acuicultura-y-pesca-aunap-clasificacion-de-la-pesca-pesca-continental-pesca-marina-pesca-de-subsistencia-pesca->

Ley 1581 de 2012 - Gestor Normativo - Función Pública. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

Licencias de SQL Server | Programa de licencias por volumen de Microsoft. (n.d.). Retrieved

May 5, 2025, from <https://www.microsoft.com/es-es/licensing/product-licensing/sql-server>

Norma Técnica NTC5854 < Accesibilidad web. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from

<https://accesibilidadweb.org/normaTecnica.shtml>

- NORMAS ISO 25000*. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.iso25000.com/index.php/normas-iso-25000>
- Ntulo, M. P., Owolawi, P. A., Mapayi, T., Malele, V., Aiyetoro, G., & Ojo, J. S. (2021). IoT-Based smart aquaponics system using arduino uno. *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2021*. <https://doi.org/10.1109/ICECCME52200.2021.9590982>
- Nuanmeesri, S., & Poomhiran, L. (2022). Multi-Layer Perceptron Neural Network and Internet of Things for Improving the Realtime Aquatic Ecosystem Quality Monitoring and Analysis. *International Journal of Interactive Mobile Technologies, 16*(6), 21–40. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i06.28661>
- Nurlan, Z., Zhukabayeva, T., Othman, M., Adamova, A., & Zhakiyev, N. (2022). Wireless Sensor Network as a Mesh: Vision and Challenges. *IEEE Access, 10*, 46–67. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137341>
- Página principal de Blazor. (n.d.). *Microsoft*. Retrieved May 5, 2025, from <https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet/web-apps/blazor>
- Quy, V. K., Hau, N. V, Anh, D. V, Quy, N. M., Ban, N. T., Lanza, S., Randazzo, G., & Muzirafuti, A. (2022). IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. *Applied Sciences (Switzerland), 12*(7). <https://doi.org/10.3390/app12073396>
- Resolución 1480 de 2022 Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP*. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=127225&dt=S>
- RESOLUCION 1585 DE 2023*. (n.d.). Retrieved May 5, 2025, from <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30046913>
- Sinha, B. B., & Dhanalakshmi, R. (2022). Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey. *Future Generation Computer Systems, 126*, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.08.006>

- Sung, W.-T., Tasi, S.-C., & Hsiao, S.-J. (2022). Aquarium Monitoring System Based on Internet of Things. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 32(3), 1649–1666.
<https://doi.org/10.32604/IASC.2022.022501>
- UNACH. (n.d.). Revista Digital Espacio I+D. <https://www.espacioimasd.unach.mx/>. Retrieved April 23, 2025, from <https://www.espacioimasd.unach.mx>
- Vaclavova, A., Strelec, P., Horak, T., Kebisek, M., Tanuska, P., & Huraj, L. (2022). Proposal for an iiot device solution according to industry 4.0 concept. *Sensors*, 22(1).
<https://doi.org/10.3390/s22010325>
- Vincent, A. , G. F. , C. E. , A. A. G. , A. P. A. , A. L. C. , A. D. , B. L. A. M. , D. C. S. , D. N. , D. F. M. , D. B. , E. O. B. , E.-O. H. N. , F. F. N. , et al. (2020). FAO/INFOODS Food Composition Table for Western Africa (2019) / Table de composition des aliments FAO/INFOODS pour l’Afrique de l’Ouest (2019). *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat): Addis Ababa, Ethiopia. (2021)*, 52.
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca7779b>
- What is SCADA? Supervisory Control and Data Acquisition.* (n.d.). Retrieved April 23, 2025, from <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>
- Wijayanto, A., Wardhana, K., & Aziz, A. (2021). Implementation of Internet of Things (IoT) for Aquaponic System Automation. *ACM International Conference Proceeding Series*, 176–181. <https://doi.org/10.1145/3489088.3489107>
- Zelalem, A., Morales, J., By, R. De, & Assabie, Y. (2022). Utilization of IoT and wireless sensor networks for sustainable smallholder farming. *Sensors*, 22(9).
<https://doi.org/10.3390/s22093273>
- Zhang, S., Guo, Y., Li, S., Ke, Z., Zhao, H., Yang, J., Wang, Y., Li, D., Wang, L., Yang, W., & Zhang, Z. (2022). Investigation on environment monitoring system for a combination of hydroponics and aquaculture in greenhouse. *Information Processing in Agriculture*, 9(1), 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.06.006>