PLAN DE NEGOCIO PARA LA CREACIÓN DE LA STARTUP INNOVATECH RM, IMPLEMENTANDO UN PROTOTIPO ORIENTADO A LAS IOT EN LAS HUERTAS DEL COLEGIO EL ZARZAL

Autores:
OLBEIMER RODRÍGUEZ PARRA
ANDRES FELIPE FORERO MENDÉZ

Director:
MSc. JHON ALEXANDER GUERRERO NARVAEZ
Co-Director:
Dra. GINETH MAGALY CERÓN RÍOS

CORPORACION UNIVERSITARIA COMFACAUCA – UNICOMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA MECATRÓNICA
POPAYAN CAUCA
2024

INDICE

1. RESUMEN PROYECTO 6
2. ABSTRACT 7
3. INTRODUCCIÓN 8
4. PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 10
5. JUSTIFICACIÓN 12
6. OBJETIVOS 14
   6.1 Objetivo General 14
   6.2 Objetivos específicos 14
7. METODOLOGÍAS 15
   7.1 Metodología Lean Startup para el modelo de negocios de Innovatech RM 15
      7.1.1 Análisis de mercado y evaluación de oportunidades 16
      7.1.2 Definición de la propuesta de valor y segmentación del mercado 17
      7.1.3 Especificación de requisitos y recursos necesarios 17
      7.1.4 Estudio de viabilidad 17
   7.2 Modelo V para el diseño de sistemas mecatrónicos 17
      7.2.1 Revisión de tecnologías para el desarrollo del prototipo 21
      7.2.2 Diseño CAD y eléctrico del prototipo a implementar 21
      7.2.3 Elaboración del aplicativo móvil para la recolección de datos 22
      7.2.4 Implementación en la huerta del Zarzal 22
      7.2.5 Validación del sistema 23
8. MARCO TEÓRICO 24
   8.1 Agricultura de precisión 24
   8.2 Sistemas IOT 25
   8.3 Tecnologías Lora y LoraWan 27

8.4 Modelo de negocio 28
8.5 Lienzo de la propuesta de valor 29
8.6 Marco de referencia 30
8.6.1 Antecedentes 30
9. ESTUDIO DE MERCADO 34
9.1 Benchmarking 34
9.2 Encuesta 37
10. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO Y OPERATIVO 42
10.1 Lienzo de la propuesta de valor 42
10.1.1 Características Clave 43
10.1.2 Beneficios para el Cliente: 44
10.2 Modelo basado en el lienzo Canvas 44
10.2.1 Propuesta de valor 47
10.2.2 Segmento de clientes 47
10.2.3 Canales 48
10.2.4 Relación con los clientes 48
10.2.5 Actividades clave 49
10.2.6 Recursos clave 49
10.2.7 Socios clave 50
10.2.8 Estructura de costos 50
10.2.9 Fuentes de ingreso 51
10.3 Análisis DOFA 51
10.4 Estructura organización del startup INNOVATECH RM 52
10.4.1 Dirección General (CEO) 53
10.4.2 Departamento de Tecnología e Innovación 53

10.4.3 Departamento de Operaciones 54
10.4.4 Departamento de Marketing y Ventas 54
10.4.5 Departamento de Finanzas 54
10.4.6 Departamento de Atención al Cliente 55
11. ESTUDIO FINANCIERO 56
11.1 Inversión inicial para la creación de INNOVATECH RM 56
11.2 Costos Fijos 57
11.3 Costos Variables 57
11.4 Costo prototipo 59
12. PROTOTIPADO 61
12.1 Requerimientos del prototipo 61
12.2 Funcionalidad básica del prototipo 64
12.3 Diagrama de conexión del prototipo 65
12.4 Validación de los requerimientos mediante pruebas en laboratorio 66
12.4.1 Modulo Bluetooth SIG0109A 66
12.4.2 Sensor de humedad de suelo Capacitivo V1.2 67
12.4.3 Sensor de humedad y temperatura ambiente DHT22 69
12.4.4 Conexión electroválvula 12v 70
12.4.5 Sensor de nutriente de suelo NPK 71
12.4.6 Sensor turbidez de agua VIS1698 76
12.4.7 Protocolo de comunicación Lora 79
12.4.8 Panel solar 82
12.4.9 Otros componentes electrónicos 83
12.5 Esquema eléctrico del prototipo 84
12.6 Diagrama de flujo del código Arduino del prototipo 85

12.7 Diseño de la PCB 87
12.8 Diseños para impresión 3D de cada módulo y prototipo 90
12.9 Análisis de tensión de la caja de control principal 93
12.10 Desarrollo de aplicativo móvil (APK) 97
12.10.1 Diagrama de flujo aplicativo móvil. 98
12.11 Resultados 100
13. CONCLUSIONES 107
14. BIBLIOGRAFÍA Y WEB-GRAFÍA 109

1. RESUMEN PROYECTO

El proyecto implementa un plan de negocio para la creación del startup "INNOVATECH RM" a través de un estudio de caso en el colegio El Zarzal. En este caso, se automatizo una huerta, integrando la tecnología IoT para la medición de variables, tales como, temperatura, humedad, nitrógeno, fósforo y potasio del suelo, junto con el riego automatizado y la medición de turbidez del agua. Estos datos se enviaron a un servidor para su visualización en PC o teléfono, utilizando protocolos de comunicación LoRa. Además, los consumos energéticos del sistema serán suplidos mediante energía solar fotovoltaica. El estudio de caso busco proponer una empresa especializada en el desarrollo y provisión de soluciones tecnológicas para la agricultura de precisión, integrando tecnologías de IoT y energías renovables. Esto impulsa la accesibilidad a agricultores de subsistencia o pequeña escala, optimizando procesos de producción y minimizando costos de implementación, mediante tecnologías comerciales basadas en placas de desarrollo como Arduino, ESP32, Raspberry Pi e IoT. Este proyecto surge en respuesta a la creciente demanda de herramientas tecnológicas en el sector agrícola, dirigido a mejorar la eficiencia y productividad. Actualmente, las soluciones tecnológicas se enfocan en productores a gran escala, descuidando a los pequeños agricultores. INNOVATECH RM busca llenar este vacío en el mercado, con un análisis detallado de mercado y competencia, considerando tendencias tecnológicas y costos asociados. Para asegurar el éxito del proyecto, se implementó la metodología en V para el diseño de sistemas mecatrónicos y la gestión del proyecto, incluyendo fases de análisis, planificación, desarrollo, pruebas, validación e implementación hasta la obtención de un producto con un grado de madurez tecnológico TRL4. Se realizaron actividades como entrevistas y encuestas para comprender necesidades del mercado, diseño y prototipado de soluciones tecnológicas, así como implementación y evaluación en entornos agrícolas reales. Se obtuvo que el prototipo cumplió la recolección de los datos requeridos para la huerta, y el envió a través de LoRa, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector agrícola en el Colegio el Zarzal impulsando el acceso a la tecnología y facilitando prácticas más eficientes y sostenibles.

2. ABSTRACT

The project implements a business plan for the creation of the startup "INNOVATECH RM" through a case study at the El Zarzal school. In this case, a farm was automated by integrating IoT technology for measuring variables such as temperature, humidity, nitrogen, phosphorus, and potassium in the soil, along with automated irrigation and water turbidity measurements. These data were sent to a server for visualization on a PC or mobile phone using LoRa communication protocols. Additionally, the system's energy consumption is supplied through photovoltaic solar energy. The case study aimed to propose a company specializing in the development and provision of technological solutions for precision agriculture, integrating IoT and renewable energy technologies. This enhances accessibility for subsistence or small-scale farmers, optimizing production processes and minimizing implementation costs through commercial technologies based on development boards such as Arduino, ESP32, Raspberry Pi, and IoT. This project arises in response to the growing demand for technological tools in the agricultural sector, focusing on improving efficiency and productivity. Currently, technological solutions are mainly targeted at large-scale producers, neglecting small farmers. INNOVATECH RM seeks to fill this market gap with a detailed market and competition analysis, considering technological trends and associated costs. To ensure project success, the V-model methodology was implemented for mechatronic system design and project management, including phases of analysis, planning, development, testing, validation, and implementation until achieving a product with a technological maturity level of TRL4. Activities such as interviews and surveys were conducted to understand market needs, design, and prototype technological solutions, as well as implementation and evaluation in real agricultural environments. The prototype successfully collected the required data for the farm and transmitted it via LoRa, contributing to the sustainable development of the agricultural sector at the El Zarzal school by promoting access to technology and facilitating more efficient and sustainable practices.

3. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico ha revolucionado diversos sectores productivos, y la agricultura no es la excepción. La agricultura de precisión ha permitido a los pequeños y grandes agricultores optimizar recursos, mejorar la eficiencia y reducir costos, ofreciendo un enfoque más sostenible y rentable (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León R. N. 2023). Estas soluciones tecnológicas no solo están diseñadas para optimizar la producción agrícola, sino también para reducir el consumo hídrico y energético, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental (Molina, L. G. V., & Molina, C. O. G. 2023).

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo exponer el proceso de creación y validación del plan de negocio del startup "INNOVATECH RM", una empresa emergente que busca brindar soluciones tecnológicas accesibles y de alto impacto en la agricultura de precisión, especialmente dirigidas a pequeños agricultores que tradicionalmente han tenido un acceso limitado a tecnologías avanzadas

Como parte central de su validación, un caso de estudio realizado en las huertas del colegio El Zarzal, ubicado en el municipio del Tambo Cauca. Aquí, se implementó un prototipo IoT orientado a la automatización del sistema de riego y la recopilación de variables ambientales. A través de la participación activa de estudiantes, se desarrollaron talleres y entrevistas bajo la metodología de Investigación-Acción Participativa (IAP) (Calvo & Candón-Mena, 2023), identificando las principales necesidades del entorno agrícola y co-creando soluciones tecnológicas con un enfoque educativo. De este modo, el proyecto no solo busca mejorar la producción agrícola, sino también promover la alfabetización digital y el aprendizaje activo en jóvenes de zonas rurales, favoreciendo su integración en el ámbito tecnológico y minimizando la migración juvenil hacia zonas urbanas.

A nivel operativo, se explora un análisis del mercado actual y potencial, la competencia en el sector de la agricultura tecnificada, y la viabilidad técnica del proyecto. Finalmente, se valida el plan de negocio mediante la implementación de un prototipo de agricultura de precisión con un grado de madurez tecnológica (TRL 4), demostrando la factibilidad de las soluciones propuestas y su potencial para transformar la agricultura de pequeños agricultores. Los resultados obtenidos muestran que INNOVATECH RM tiene el potencial de generar un impacto significativo en la

mejora de la eficiencia productiva, la reducción de costos operativos y el uso eficiente de los recursos hídricos. Asimismo, su enfoque modular y eco amigable contribuye a la sostenibilidad ambiental, ofreciendo al mismo tiempo oportunidades educativas que benefician a las comunidades rurales.

4. PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los agricultores enfrentan diversos obstáculos al intentar adoptar la agricultura de precisión. Las opciones tecnológicas disponibles suelen ser costosas, lo que limita su accesibilidad para muchos agricultores. Además, la necesidad de una conexión a internet estable supone un desafío en áreas rurales donde la conectividad es deficiente. Por último, la complejidad de las tecnologías existentes puede dificultar su implementación para agricultores con bajos niveles de habilidades tecnológicas.

Según la Federación Nacional de Cafeteros (Federación Nacional de Cafeteros. (s/f), 2024) en un estudio realizado en el departamento del Cauca, la mayoría de ellos operan en micro lotes, ya que el 99% de las 94,500 hectáreas cultivadas en café tienen menos de 5 hectáreas. Esto genera una alta demanda de servicios agrícolas especializados. Sin embargo, las tecnologías de agricultura de precisión suelen ser costosas y de difícil acceso para los pequeños productores, ya que están diseñadas principalmente para productores a gran escala, como ingenios y arroceras (Hernández, R. R. 2021). Este plan de negocio se centra en ofrecer soluciones adaptadas a los recursos económicos de los pequeños productores, con el objetivo de optimizar sus procesos productivos y aumentar su competitividad en el mercado.

El sector agrícola colombiano es vital para las zonas rurales, pero enfrenta desafíos significativos que afectan su competitividad y crecimiento. Entre los problemas más críticos se encuentran la falta de acceso a la educación, la escasa inversión en tecnología, el deterioro de las infraestructuras de transporte y la desigualdad social (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León R. N. 2023). Estos factores limitan la capacidad de los pequeños productores para competir en el mercado, afectando su sostenibilidad económica.

La automatización agrícola se presenta como una solución viable para mejorar la productividad y reducir los costos operativos, todo ello sin eliminar la mano de obra humana, lo que podría, además, elevar la calidad de vida de los campesinos. Este enfoque tiene el potencial de

transformar el sector en una fuente sostenible de empleo, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de las regiones rurales. Para evaluar esta propuesta, se llevó a cabo una revisión bibliográfica que analiza la viabilidad técnica y económica de la automatización en el contexto colombiano, además de una encuesta de percepción que recoge la opinión de los colombianos sobre este tema. Los resultados subrayan tanto las oportunidades que ofrece la automatización como los desafíos sociales que deben superarse para su implementación exitosa. (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León R. N. 2023).

En el departamento del Cauca, se encuentran operativas dos entidades dedicadas a la prestación de servicios de agricultura de precisión, enfocadas principalmente en la recolección y análisis de datos climáticos, así como en la oferta de servicios con drones. Ejemplos notables de estas empresas son Beetic (Beetic.Co. 2024) que se dedica a la elaboración de mapas de cada finca con medidas de alta precisión de áreas de la finca y lotes productivos, al desarrollo móvil, web y desarrollo de hardware. Uno de sus proyectos es; Diseño e implementación de un software para la trazabilidad del proceso de beneficio del café, mediante el desarrollo de un software que busca apoyar a los productores cafeteros en el proceso de certificación (Landinez et al., 2019). Es importante destacar que esta empresa no centra sus esfuerzos en el desarrollo de sistemas de automatización para la gestión de cultivos. Por otra parte, Mocli (Mocli.co. 2024) se dedica al monitoreo y predicción hidro climática para la generación de mapas, reportes, informes, boletines, alertas tempranas y recomendaciones que apoyan la toma de decisiones de los agricultores.

En este contexto, surge la pregunta: ¿Cómo crear una empresa viable en el sector de la agricultura de precisión que satisfaga las necesidades de los pequeños agricultores del Cauca?

5. JUSTIFICACIÓN

La justificación para la creación del startup Innovatech RM surge de un análisis basado en diferentes estudios realizados mediante la investigación de artículos, tesis y otras fuentes académicas sobre el estado actual de las tecnologías agrícolas como es; (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León, R. N. 2023) destacando áreas donde existe una clara insatisfacción dentro del mercado. Este análisis revela una oportunidad estratégica para abordar estas deficiencias y satisfacer las necesidades no cubiertas por otros proyectos existentes en el sector.

La implementación de la automatización en el sector agrícola colombiano es crucial para enfrentar los desafíos actuales que limitan su competitividad y sostenibilidad. Dado que la agricultura es una de las principales fuentes de ingreso en las zonas rurales, mejorar la productividad y reducir los costos operativos mediante la automatización no solo beneficiaría a los pequeños productores, sino que también podría revitalizar el sector en su conjunto. La automatización permite optimizar los recursos, mejorar la calidad de los productos y crear un entorno más favorable para el desarrollo socioeconómico rural. Además, al mantener la mano de obra humana, se asegura que los avances tecnológicos no desplacen a los trabajadores, sino que les ofrezcan nuevas oportunidades de empleo y mejoren su calidad de vida. Por estas razones, es fundamental explorar y promover la automatización como una estrategia para asegurar la viabilidad a largo plazo del sector agrícola en Colombia. Al analizar la accesibilidad de las soluciones tecnológicas, se evidencia que los pequeños agricultores enfrentan restricciones económicas y de recursos para poder adquirir estos productos y servicios.

La visión ingenieril del startup implica el desarrollo de herramientas innovadoras que no solo sean técnicamente avanzadas, sino también económicamente viables y prácticas para este segmento de usuarios. Esto implica un enfoque en la optimización de costos de producción y la maximización de la eficiencia operativa. Además, existe una notable falta de flexibilidad en muchas soluciones disponibles en el mercado. Por lo tanto, esta estrategia de ingeniería se centra en la creación de soluciones modulares y escalables que puedan adaptarse fácilmente a diversas

condiciones ambientales, tamaños de fincas y tipos de cultivos. Esto garantiza una implementación exitosa y una integración fluida con las prácticas agrícolas existentes, maximizando así el valor añadido para los usuarios finales.

La justificación para la creación del startup Innovatech RM surge de un análisis basado en diferentes estudios realizados mediante la investigación de artículos, tesis y otras fuentes académicas sobre el estado actual de las tecnologías agrícolas como es; (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León, R. N. 2023) destacando áreas donde existe una clara insatisfacción dentro del mercado. Este análisis revela una oportunidad estratégica para abordar estas deficiencias y satisfacer las necesidades no cubiertas por otros proyectos existentes en el sector.

En este contexto, Innovatech RM busca no solo ser una solución tecnológica, sino convertirse en un actor clave en la transformación del sector agrícola colombiano. Al emplear tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la energía solar y la automatización inteligente, el proyecto pretende no solo aumentar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas, sino también reducir su huella ecológica, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. El enfoque en energías renovables y en la optimización de recursos también responde a la creciente demanda de prácticas agrícolas más sostenibles. Además, el compromiso con la accesibilidad tecnológica asegura que incluso los agricultores más pequeños, con recursos limitados, puedan beneficiarse de estas innovaciones. Innovatech RM se presenta como una solución que, más allá de las mejoras productivas y operativas, tiene el potencial de generar un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades rurales, fomentando el desarrollo económico y social de una manera inclusiva y sostenible.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Desarrollar un plan de negocio para la creación del startup Innovatech RM, validando su desempeño mediante un caso de estudio en la implementación de un prototipo orientado a la automatización del proceso de riego y recopilación de variables del proceso en la huerta del colegio El Zarzal.

6.2 Objetivos específicos

1. Hacer un análisis de mercado sobre la demanda actual y potencial de servicios de agricultura de precisión y tecnificación, así como la competencia existente en el sector.

2. Realizar estudio de viabilidad técnico y operativo del proyecto, investigando las tecnologías 4.0 disponibles y su aplicabilidad en la agricultura de precisión, así como los recursos necesarios para su implementación.

3. Determinar un estudio financiero detallado que incluya la estimación de costos de inversión, gastos operativos y proyecciones de ingresos, con el fin de obtener la viabilidad económica y la rentabilidad esperada del negocio en el corto y largo plazo.

4. Validar el plan de negocio mediante el desarrollo de un prototipo de agricultura de precisión con un grado de madurez TRL 4 en un caso de estudio en el colegio el zarzal.

7. METODOLOGÍAS

7.1 Metodología Lean Startup para el modelo de negocios de Innovatech RM

Eric Ries, considerado el mentor de la metodología Lean Startup en su libro "El método Lean Startup", sostiene que el éxito de los startups no se basa en estar en el momento o lugar adecuado, sino en el diseño adecuado de procesos que permiten aprender y posteriormente enseñar. El fundamento de esta metodología radica en crear productos que los clientes realmente necesiten y estén dispuestos a pagar, utilizando los recursos mínimos necesarios. Por el contrario, muchos emprendedores fracasan porque comienzan creando un plan de negocio, buscan financiamiento, desarrollan el producto o servicio, y solo después obtienen la retroalimentación de los clientes, momento en el cual descubren que las características del producto no son lo que los consumidores realmente necesitaban (Ries, 2012). La figura 1 muestra las fases de la metodología Lean Startup.

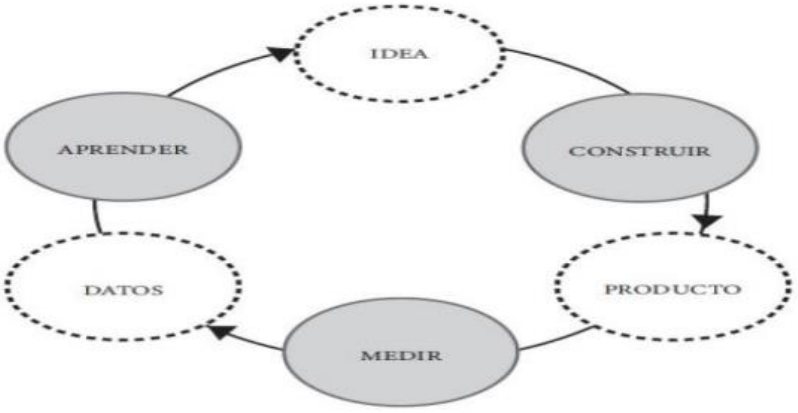

Figura 1. Modelo Lean Startup. **Fuente**: Ries (2012).

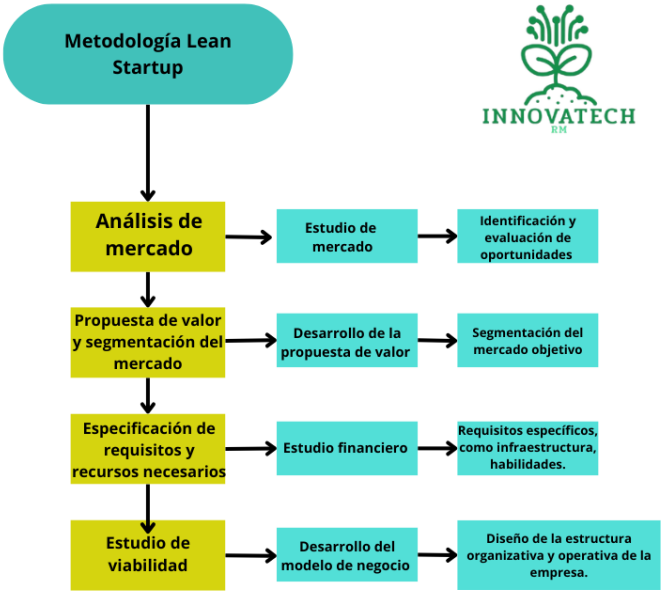

Figura 2. Modelo Lean Startup. **Fuente**: Propia.

En la figura 2 se muestra la metodología Lean Startup adaptada a las necesidades de este proyecto, como se evidencia; se divide en cuatro faces que van desde el análisis de estudio y se describe las actividades que se realizan en dicha etapa, seguido de la elaboración de la propuesta de valor y la segmentación del mercado, en la etapa 3 esta todo lo relacionado con el estudio financiero y cuales son los requisitos de infraestructura y habilidades necesarias para llevar a cabo este proyecto, y por ultimo esta su estudio de viabilidad donde se desarrolla el modelo de negocio, a matriz DOFA y cual es la estructura organizacional de la Innovatech RM. A continuación, se describen cada una de las fases de esta metodología.

7.1.1 Análisis de mercado y evaluación de oportunidades

- Estudio de mercado para comprender el entorno competitivo, las tendencias del mercado y las necesidades del cliente.
- Identificación y evaluación de oportunidades de negocio.

7.1.2 Definición de la propuesta de valor y segmentación del mercado

- Desarrollo de la propuesta de valor única del negocio.
- Segmentación del mercado objetivo y definición de los clientes potenciales.

7.1.3 Especificación de requisitos y recursos necesarios

- Estudio financiero mediante la determinación de los recursos necesarios para llevar a cabo el plan de negocio, incluyendo financieros, humanos, tecnológicos, etc.
- Establecimiento de los requisitos específicos para el éxito del negocio, como infraestructura, habilidades y capacidades.

7.1.4 Estudio de viabilidad

- Desarrollo del modelo de negocio que describa cómo la empresa generará ingresos y entregará valor a los clientes.
- Diseño de la estructura organizativa y operativa de la empresa.

Al igual que en otros contextos, la metodología " Lean Startup” para la elaboración de startups enfatiza la importancia de una planificación cuidadosa, una ejecución rigurosa y un enfoque en la mejora continua para lograr el éxito empresarial.

7.2 Modelo V para el diseño de sistemas mecatrónicos

La metodología en V aplicada en el diseño de sistemas mecatrónicos, se adapta para guiar el proceso de desarrollo de un plan estratégico de manera estructurada y eficiente. Se organiza en una forma de "V" invertida, donde las actividades de análisis y planificación se llevan a cabo en la parte superior de la "V", y las actividades de implementación y seguimiento se realizan en la parte inferior. Cada etapa del proceso está directamente relacionada con su respectiva fase de verificación y validación, lo que garantiza la coherencia y la calidad del plan en su conjunto, como me muestra en la figura 3. (Gausemeier & Moehringer, 2003)

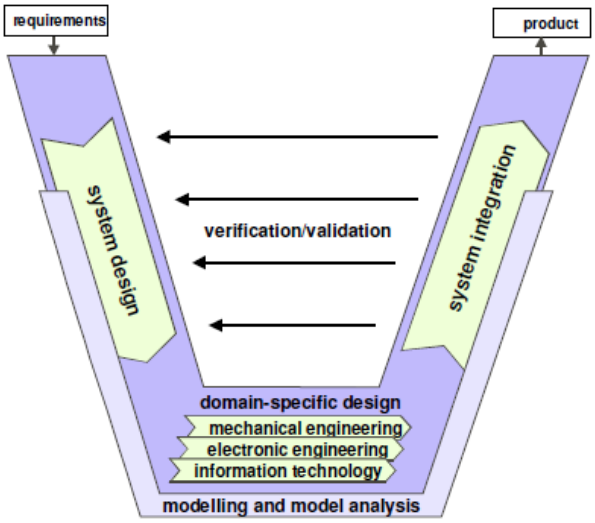

Figura 3. Modelo V para el diseño de sistemas mecatrónicos. **Fuente**: VDI 2206.

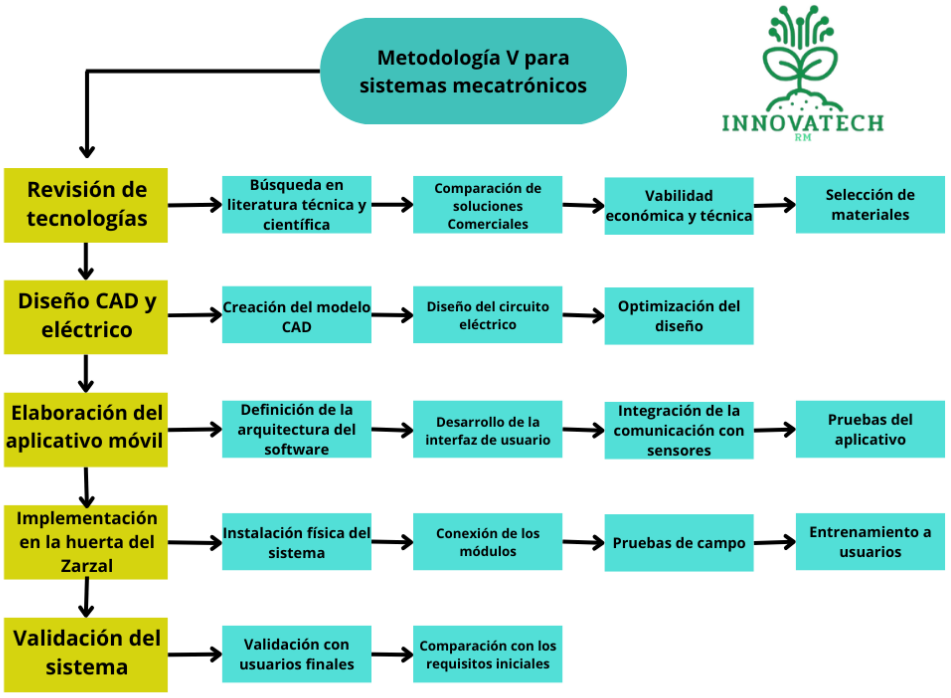

Figura 4. Modelo V adaptada para este proyecto. **Fuente**: Propia

La figura 4 muestra la metodología V adaptada para este proyecto, la cual se divide en cinco etapas, que van desde la revisión tecnológica, diseño CAD, eléctrico, cual es el paso a paso para la elaboración del aplicativo móvil, las faces para la implementación en la huerta del colegio el Zarzal, asi como las capacitaciones que se brindan a los estudiantes del colegio y la validación del sistema ya implementado en la huerta del colegio del Zarzal.

El proyecto se enfoca en la participación activa de estudiantes y docentes en fases clave. mediante la **metodología acción participativa.** Durante la fase de diagnóstico, se identifican las necesidades de la huerta y se analizan las condiciones del entorno. Para esto se hicieron visitas previas a la huerta para verificar el área en la que esta ubicado el prototipo, asi como una reunión con las personas a cargo de la misma, para saber que era lo que se pretendía hacer en la huerta, a lo cual se hizo una propuesta en la que se planteo un control de riego mediante sensores de humedad en el suelo, un sensor de nutrientes de suelo que mide nitrógeno, potasio y fosforo del suelo, asi

como el monitoreo de la temperatura, humedad ambiente y por ultimo medir cual es la turbidez del agua, esto para evitar taponamiento del sistema de riego y el sobrecalentamiento de la electroválvula. Y que el envió de todos estos datos se hace mediante el protocolo de comunicación lora, debido a la ausencia de internet en la huerta.

La revisión bibliográfica se realiza mediante un mapeo sistemático, en el cual se usan las siguientes palabras clave: LoraWan, Internet of things, Precision farming, Renewable energy, Agricultural automation, Agricultural data analytics, Low Power Wide Area Network, Rural, Wireless communication y Energy efficiency y a cada una se le dio 5 sinonimos y esto genera la siguiente cadena de búsqueda: (LoraWan) AND (Internet of things OR IoT OR Connected devices network OR Internet of Everything OR Object connectivity OR Interconnected device infrastructure) AND (Precision farming OR Precision agriculture OR Smart farming OR Digital farming OR Agricultura 4.0 OR Precision crop management) AND (Renewable energy OR Clean energy OR Sustainable energy OR Green power OR Alternative energy) AND (Agricultural automation OR Farm automation OR Agricultural robotics OR Automated farming OR Mechanized agriculture OR Smart agriculture) AND (Agricultural data analytics OR Farm data analysis OR Agri-analytics OR Agricultural data insights OR Crop data analytics OR Farming data intelligence) AND (Low Power Wide Area Network OR LPWAN OR Energy-efficient network OR Long-range low-power network OR Low-energy wide-range connectivity OR Low-power connectivity solution) AND (Rural OR Countryside OR Remote areas OR Rural regions OR Outlying districts OR Non-urban areas) AND (Wireless communication OR Wireless networking OR Radio communication OR Mobile communication OR Wireless technology OR Radio frequency communication) AND (Energy efficiency OR Energy conservation OR Energy optimization OR Efficient energy utilization OR Energy saving measures OR Energy productivity)

Las bases de datos que en las que se uso esta cadena de búsqueda fueron: Academic Google, ScienceDirect, MDPI e IEEE Xplore, esto con el fin de filtrar los artículos y tesis relacionadas a este prototipo IOT. Para el diseño eléctrico de la pcb y el circuito de control, se usa el programa Proteus 8 y para el diseño CAD se usa Autodesk Inventor Professional 2023.

A continuación, se describe a detalle cada una de las actividades a realizar en cada una de las fases de la metodología.

7.2.1 **Revisión de tecnologías para el desarrollo del prototipo**

- **Búsqueda en literatura técnica y científica**: Realizar una revisión exhaustiva de artículos científicos, patentes y reportes de proyectos similares para evaluar las tecnologías disponibles.
- **Comparación de soluciones comerciales**: Investigar y comparar soluciones comerciales que ofrecen sistemas de monitoreo de variables ambientales (sensores NPK, humedad, temperatura).
- **Análisis de viabilidad económica y técnica**: Evaluar el costo-beneficio de las tecnologías seleccionadas, asegurando que sean viables tanto en términos de costos como de su capacidad de integración en el proyecto.
- **Selección de materiales**: Determinación de los materiales que serán usados en la fabricación del prototipo, priorizando la durabilidad y el bajo costo.

7.2.2 Diseño CAD y eléctrico del prototipo a implementar

- **Creación del modelo CAD**: Modelado de las estructuras mecánicas del prototipo, incluyendo carcasas y soportes para los componentes electrónicos y sensores.
- **Diseño del circuito eléctrico**: Elaboración de esquemas eléctricos para la interconexión de los sensores, microcontroladores y módulos de comunicación.
- **Optimización del diseño**: Iteraciones del diseño para minimizar el consumo energético y mejorar la resistencia a las condiciones ambientales de la huerta.

7.2.3 Elaboración del aplicativo móvil para la recolección de datos

- **Definición de la arquitectura del software**: Establecer la estructura de la aplicación, incluyendo la interfaz de usuario, la comunicación con los sensores y la gestión de datos.
- **Desarrollo de la interfaz de usuario**: Diseñar una interfaz intuitiva que permita visualizar las variables ambientales de la huerta (NPK, humedad, temperatura).
- **Integración de la comunicación con sensores**: Programación de la lógica que permitirá que la aplicación reciba datos en tiempo real desde los sensores a través de la red LoRa.
- **Pruebas del aplicativo**: Realizar pruebas del software en diferentes dispositivos móviles para asegurar su correcto funcionamiento y optimización.

7.2.4 Implementación en la huerta del Zarzal

- **Instalación física del sistema**: Colocación de los sensores en el suelo, montaje de paneles solares y disposición de los dispositivos en sus ubicaciones definitivas.
- **Conexión de los módulos**: Interconectar los módulos de sensores, sistema de riego, y comunicación LoRa, asegurando que todos los subsistemas trabajen de manera coordinada.
- **Pruebas de campo**: Verificar que el sistema funcione correctamente bajo las condiciones ambientales reales de la huerta. Realizar ajustes si es necesario.
- **Entrenamiento a usuarios**: Capacitar al personal encargado del huerto en el uso del sistema y la aplicación móvil, asegurando que puedan interpretar los datos y hacer ajustes si es necesario.
- En la fase de implementación, los estudiantes y docentes colaborarán en la instalación, aprendiendo sobre su uso y funcionamiento.

7.2.5 Validación del sistema

- **Validación con usuarios finales**: Recolectar feedback del personal de la huerta para validar que el sistema cumple con las expectativas y necesidades planteadas.
- **Comparación con los requisitos iniciales**: Revisar los requisitos iniciales del proyecto y asegurar que el sistema cumple con todas las especificaciones funcionales y no funcionales.
- **Medición de impacto ambiental**: Evaluar el impacto del sistema en la huerta, como mejoras en la eficiencia del riego, ahorro de agua y energía, y mejora en la productividad de los cultivos.

Finalmente en la fase de evaluación y ajuste, los participantes proporcionarán retroalimentación basada en la operación del sistema, permitiendo mejoras en su rendimiento y efectividad (Calvo & Candón-Mena, 2023). Esto con el fin que los docentes y estudiantes del colegio se familiaricen con estas tecnologías e interactúen con la misma.

8. MARCO TEÓRICO

Para una mejor comprensión de la temática abordada, relacionada con el desarrollo de soluciones tecnológicas para la agricultura de precisión y planes de negocio, es fundamental establecer un marco conceptual claro que permita comprender los principios y tecnologías involucradas. Definir conceptos como la Agricultura de Precisión, IoT, y tecnologías como LoRa y LoRaWAN es esencial para alinear los objetivos del proyecto con las capacidades tecnológicas disponibles. Esto garantiza que las decisiones de diseño y la implementación se basen en un entendimiento sólido de las herramientas y metodologías que impulsan la innovación en este campo, facilitando la integración de soluciones eficientes y adaptadas a las necesidades específicas del sector agrícola.

Asimismo, la definición de herramientas estratégicas como el Modelo de Negocio y el Lienzo de propuesta de valor son fundamental, para garantizar que las soluciones planteadas sean viables tanto técnica como económicamente. Estas nos permiten identificar de manera estructurada quiénes son los clientes objetivo, cuáles son sus necesidades específicas, y cómo las tecnologías desarrolladas pueden satisfacer esas necesidades de forma eficiente y sostenible.

8.1 Agricultura de precisión

La Agricultura de Precisión (AP) engloba un conjunto de tecnologías destinadas a mejorar la producción agrícola mediante el uso eficiente de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para la toma de decisiones y su implementación efectiva. Estas técnicas se centran en las diferentes etapas de la producción agrícola, desde la siembra hasta la cosecha, con el objetivo de optimizar el uso de insumos y mejorar el rendimiento de los cultivos. Su propósito es garantizar una gestión adecuada de los recursos agrícolas, aprovechando la variabilidad espacial del terreno y la precisión temporal para aumentar la productividad en la agricultura. (Rambauth Ibarra, G.E. 2022)

La Agricultura de Precisión (AP) se basa en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para ofrecer un monitoreo continuo de los cultivos. Esta herramienta facilita la recopilación y procesamiento de datos en tiempo real, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones agrícolas. Ofrece un análisis detallado de las características de los cultivos y variables como temperatura, clima y suelo, con el objetivo de apoyar a agricultores y técnicos en la toma de decisiones fundamentadas. (Acosta Carabalí, A. L., & Valverde Donneys, S. 2020)

El propósito principal de la Agricultura de Precisión es reconocer la variabilidad dentro de los campos y gestionar cada parcela de manera individual y adaptada a sus características específicas. Esto implica comprender las diferencias de producción en la superficie de los cultivos y observar los diversos factores que influyen en su desarrollo. A través de la implementación de tecnologías como sistemas de información geográfica, sensores, sistemas de procesamiento de datos y actuadores, la Agricultura de Precisión permite a los agricultores adaptarse a las necesidades cambiantes de los cultivos y mejorar la eficiencia en la producción agrícola. (Acosta Carabalí, A. L., & Valverde Donneys, S. 2020)

8.2 Sistemas IOT

El término Internet de las Cosas (IoT), de procedencia anglosajona, se refiere a la conexión de objetos físicos, de ahí el término "cosas", que están equipados con sensores, software integrado y otras tecnologías que les permiten comunicarse entre sí y con otros dispositivos a través de internet y redes. El propósito principal de esta interconexión es facilitar el intercambio de datos entre los objetos conectados. (Rambauth Ibarra, G. E. 2022)

La combinación de IoT y sensores inteligentes está transformando los métodos agrícolas tradicionales en una agricultura inteligente que se distingue por su mayor eficiencia. Los enfoques tecnológicos habilitados por IoT en la agricultura también permiten evaluar aspectos como la salud y erosión del suelo, las necesidades de fertilizantes, el estado de la fertilidad del suelo y la calidad de los cultivos. (Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. 2023)

Los elementos fundamentales de los sistemas inteligentes de monitoreo de cultivos basados en IoT son los sensores dispuestos en el campo para recolectar información sobre diversos parámetros ambientales, como temperatura, humedad, humedad del suelo y niveles de nutrientes. Estos sensores suelen estar interconectados, lo que facilita la transmisión de datos en tiempo real a una plataforma centralizada alojada en la nube. (Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. 2023)

IoT se emplea en diversas aplicaciones de agricultura inteligente, abarcando desde la agricultura en campo abierto y en ambientes controlados como invernaderos, hasta la cría de ganado, la maquinaria agrícola, el almacenamiento de granos y más. (Miles, B., Bourennane, E. B., Boucherkha, S., & Chikhi, S. 2020)

La implementación de IoT permite a los agricultores potenciar el proceso de producción al monitorear las plantaciones, gestionar el suelo y el agua, programar el riego, optimizar el uso de fertilizantes, controlar plagas con productos químicos como herbicidas y rastrear las entregas. Estas tareas se pueden llevar a cabo utilizando datos de sensores, imágenes, sistemas de gestión de información agrícola, sistemas de posicionamiento global (GPS) y redes de comunicación. Esta integración conduce a la optimización de recursos limitados. (Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, D., Papini, N., Gobbi, F., & Scorzoni, A. 2021)

Del análisis efectuado, se destacan ventajas comunes en los sistemas IoT para la automatización del riego, como la optimización en el uso del agua, con reducciones que oscilan entre el 20% y el 45%, así como la disminución de los costos operativos debido a una menor necesidad de mano de obra. Además, las soluciones que se basan en redes de sensores inalámbricos facilitan la escalabilidad en grandes extensiones de cultivo. El monitoreo remoto del estado del sistema y los datos sensorizados en tiempo real permiten a los agricultores tomar decisiones oportunas. (Molina, L. G. V., & Molina, C. O. G. 2023)

8.3 Tecnologías Lora y LoraWan

La solución implementada con base en LoRaWAN tiene el potencial de mejorar la agricultura a través del monitoreo del campo, lo que puede ahorrar tiempo y esfuerzo a los agricultores y reducir el uso excesivo de recursos. Esta solución resulta especialmente adecuada para los agricultores rurales debido a su bajo costo y facilidad de implementación. Es fundamental colocar los sensores en cajas con circulación de aire para garantizar la precisión de los datos y prolongar la vida útil de los sensores. (Singh, R. K., Aernouts, M., De Meyer, M., Weyn, M., & Berkvens, R. 2020)

LoRa es la abreviatura de "Long Range", que significa "Largo Alcance" en español. Esta tecnología, desarrollada por Semtech, se utiliza en soluciones de IoT. Los dispositivos LoRa emplean LoRaWAN, que es el protocolo estándar de comunicaciones utilizado para establecer la conexión y la transmisión de datos en redes LoRa. (Oquelis Guerrero, Á. A., & Landa Vega, D. C. 2020)

Una red LoRa utiliza una topología de conexión en forma de estrella, en la cual cada nodo o dispositivo final puede enviar mensajes a múltiples gateways distribuidos. LoRaWAN, cuando se utilizan dispositivos de Clase A, tiene un consumo de energía reducido, lo que lo hace ideal para su uso con baterías. Esto resulta especialmente ventajoso en aplicaciones como la agricultura, ya que elimina la necesidad de una fuente de alimentación externa en los campos. Además, los sensores pueden operar con la energía de la batería durante varios años. (H. Choque. 2020)

La tecnología LoRaWAN se destaca como la opción más apropiada para aplicaciones de IoT, gracias a su capacidad para realizar comunicaciones a larga distancia con un consumo de energía reducido, además de ser accesible para cualquier persona sin costos adicionales. (Varandas, L., Faria, J., Gaspar, P. D., & Aguiar, M. L. 2020)

Cuando se trata de garantizar una cobertura efectiva, es crucial contar con tecnologías de largo alcance. Dentro de las opciones más destacadas para aplicaciones agrícolas de IoT se encuentran dos tecnologías emergentes: IEEE 802.11ah y LoRa/LoRaWAN. El protocolo IEEE 802.11ah, también conocido como WiFi-HaLow, lanzado en 2017 como una versión nueva de la tecnología WiFi en la banda sub-gigahercios, aún no ha sido ampliamente adoptado en el ámbito agrícola. Por otro lado, la tecnología LoRaWAN ha demostrado su aplicabilidad en la agricultura inteligente a través de pruebas de concepto y demostraciones realizadas en eventos como el Mobile World Congress, la feria de telefonía móvil más importante del mundo. (Valente, A., Silva, S., Duarte, D., Cabral Pinto, F., & Soares, S. 2020)

8.4 Modelo de negocio

En la literatura sobre modelos de negocios, se destaca la importancia de la asociación, la creación de valor compartido y la cooperación. Por otro lado, en la estrategia de negocios se enfatizan conceptos como la captura de valor, la ventaja competitiva y la competencia (Zott, Amit, R., & Massa, L., 2011).

Es fundamental aclarar que diseñar o conceptualizar un modelo de negocios es diferente de aplicarlo exitosamente en una organización. La implementación de un modelo de negocios está influenciada por factores externos a la empresa. La estrategia corporativa se enfoca en analizar y adaptar el modelo a estos factores que afectan a la organización. El análisis del entorno permite identificar fuerzas externas que influyen sobre la empresa, tales como las fuerzas del mercado, las fuerzas de la industria y las fuerzas macroeconómicas (Osterwalder & Pigneur, 2010).

Comprender la dinámica de estas fuerzas externas facilita detectar cambios en las tendencias de los consumidores o la aparición de nuevas necesidades, lo que podría requerir ajustes en el modelo de negocios, o incluso su evolución. Un modelo de negocios no debe ser estático; es

crucial evaluarlo de manera continua para asegurar que se adapte al entorno en el que opera la empresa. Si es necesario, cada bloque del lienzo debe actualizarse para reflejar las condiciones reales del entorno empresarial [REF].

8.5 Lienzo de la propuesta de valor

El lienzo de la propuesta de valor es una herramienta visual que se divide en tres partes: el perfil del cliente, donde se detallan las características de un grupo específico de personas, y el mapa de valor, que define cómo se generará valor para ese grupo de clientes. La conexión, que es el tercer componente, se logra cuando ambas partes coinciden. El perfil del cliente organiza de manera detallada las tareas, frustraciones y expectativas de un segmento de clientes (Osterwalder et al., 2015):

- **Trabajos del cliente**: lo que los clientes intentan solucionar en su vida personal o profesional.
- **Frustraciones**: los riesgos o dificultades que enfrentan al realizar esas tareas.
- **Alegrías**: los resultados o beneficios que los clientes buscan obtener.

El mapa de valor, por otro lado, explica los elementos de una propuesta de valor dentro de un modelo de negocio. Se compone de productos y servicios, aliviadores de frustraciones y creadores de alegrías:

- **Productos y servicios**: lista sobre la cual se construye la propuesta de valor.
- **Aliviadores de frustraciones**: cómo los productos y servicios reducen las frustraciones del cliente.
- **Creadores de alegrías**: cómo estos productos y servicios generan resultados positivos para el cliente.

8.6 Marco de referencia

8.6.1 Antecedentes

La búsqueda de antecedentes se realizó en las bases de datos Academic Google, ScienceDirect, MDPI, IEEE Xplore, usando palabras clave tales como LoraWan, Internet of things, Precision farming, Renewable energy, Agricultural automation, Agricultural data analytics, Low Power Wide Area Network, Rural, Wireless communication, Energy efficiency. Entre las referencias encontradas se destacan algunas que tiene un enfoque direccionado al objetivo del plan de negocio de la empresa que se quiere crear. A seguir se describen algunos puntos relevantes de estas referencias.

A nivel internacional, Valente, A., Silva, S., se enfocaron en desarrollar nodos LoRaWAN de bajo consumo para aplicaciones en agricultura de precisión. Mediante la integración de sensores SDI-12 y la creación de una biblioteca de clústeres para agricultura. E implementaron un sistema de IoT para monitoreo y análisis de datos en viñedos, con la posibilidad de predecir la calidad del vino mediante herramientas de Machine Learning. (Valente, A., Silva, S., Duarte, D., Cabral Pinto, F., & Soares, S. 2020).

Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, aborda el monitoreo de parámetros del suelo y del ambiente en el escenario de Agricultura de Precisión en IoT. Presentando un enfoque de modelado original dedicado a sensores de bajo costo de contenido de agua en el suelo. Realizando análisis de diferentes sensores de humedad del suelo, evaluaron su comportamiento y discutieron la arquitectura IoT aplicada a la agricultura para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. (Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, D., Papini, N., Gobbi, F., & Scorzoni, A. 2021).

H. Choque proporciona información sobre la implementación de desarrollos tecnológicos en el área rural, destacando la necesidad de proyectos IoT en la agricultura. También propone una

metodología de desarrollo de sistemas IoT con LoRaWAN para monitorear condiciones óptimas de crecimiento en cultivos, facilitando la gestión eficiente de las siembras. Además, explora tecnologías de telecomunicaciones y se sugiere una metodología para identificar necesidades y oportunidades en la implementación de sistemas IoT en agricultura. (H. Choque. 2020).

Un modelo de agricultura inteligente que utiliza tecnologías de bajo costo y bajo consumo de energía Elhattab, K., & Abouelmehdi, K, buscan operar en áreas rurales sin acceso a internet y electricidad. Destacando el uso de ESP32, protocolo de transmisión de largo alcance (LoRa) y paneles solares con batería para alimentar equipos de IoT. El enfoque se centra en mejorar la eficiencia de las técnicas agrícolas mediante la monitorización y el riego precisos. (Elhattab, K., & Abouelmehdi, K. 2024)

De esta forma, se puede observar que los antecedentes presentados demuestran la creciente importancia de la implementación de tecnologías IoT, redes de comunicación de baja potencia y técnicas de Agricultura de Precisión en diversas regiones, tanto a nivel nacional como internacional.

Los desarrollos en monitoreo de parámetros del suelo, el uso de sensores de bajo costo y la integración de sistemas IoT destacan como elementos clave para mejorar la productividad y la gestión en la agricultura. Además, las investigaciones han subrayado la importancia de adaptar estas tecnologías a las condiciones locales, especialmente en áreas rurales con limitaciones de acceso a internet y electricidad. Este enfoque permite no solo mejorar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas, sino también contribuir al desarrollo sostenible y al bienestar de las comunidades rurales.

A nivel nacional, Candro et al. realizaron un estudio piloto de mercado para identificar patrones de comportamiento en los consumidores, preferencias y demanda potencial en el mercado. Además, diseñaron herramientas de estudio piloto de clientes, analizaron fuerzas que impactan el negocio y propusieron servicios de drones para la agricultura. La investigación busca potenciar un

diseño más preciso del plan de negocios y la estrategia corporativa para la empresa GreenFalcon SAS. (Candro et al., 2022).

Salazar Bravo, C. M. de Villa Rica, Cauca Se enfocaron en el diseño de una red inalámbrica de baja potencia de transmisión y bajo consumo eléctrico utilizando la técnica de modulación LoRa®. Propusieron un circuito de monitoreo de la humedad en el suelo cultivable de maíz en la Finca La Habana. Obteniendo como resultado una red LoRa de bajo consumo eléctrico, reduciendo los recursos de infraestructura. (Salazar Bravo, C. M. 2023).

En la ciudad de Pereira Jaramillo Pérez & Pulgarín Giraldo desarrollaron una plataforma de bajo costo para monitorear las condiciones micro climáticas favorables al surgimiento del hongo Botrytis cinerea en el cultivo de Mora de Castilla en el departamento de Risaralda. Seleccionando tecnologías adecuadas para el dispositivo, diseñaron un prototipo para recolectar datos edafoclimáticos y se implementarlo. Con el fin de mejorar la producción agrícola mediante la optimización de recursos y la aplicación de tecnologías de bajo costo en la agricultura de precisión. (Jaramillo Pérez & Pulgarín Giraldo. 2022).

Rambauth Ibarra realizo una revisión conceptual de la Agricultura de Precisión (AP) y aborda cómo las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) facilitan su implementación en la producción agrícola. Analizan las tecnologías como Big Data, IoT, GPS y analítica que contribuyen a optimizar los procesos agrícolas y mejorar la rentabilidad. (Rambauth Ibarra, G. E. 2022).

Figueroa Jaimes, C. T, & Lay de León investigaron la automatización en la agricultura colombiana, analizando el uso de tecnología para mejorar la productividad y rentabilidad en el sector. Recopilaron datos a través de encuestas para comprender la percepción y recursos económicos de los campesinos, con el objetivo de proponer medidas para fomentar el desarrollo

tecnológico y social en la agricultura del país. (Figueroa Jaimes, C. T., & Lay de León (Director-tutor), R. N. 2023).

9. ESTUDIO DE MERCADO

9.1 Benchmarking

En Colombia, existen muchas empresas que ofrecen soluciones tecnológicas en distintos sectores. Por ejemplo, Grupo Acre se dedica al alquiler de maquinaria como drones y cámaras, además de proporcionar formación, tutoriales y asesoría comercial (Agricultura de Precisión | Grupo Acre Colombia, s. f.). Kamur ofrece servicios técnicos de automatización y sistemas de riego para el sector agroindustrial, incluyendo diagnóstico, configuración y capacitación (Servicios - KAMUR Sistemas de Riego Automatizados, 2018). AGROSAVIA trabaja en la generación de conocimiento y desarrollo tecnológico agropecuario a través de la investigación y transferencia de tecnología (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, s. f.). En el planteamiento de problema se mencionan dos empresas colombianas regionales aquí en el departamento del Cauca, que se dedican a brindar servicios similares, pero falta mencionar otra más; como lo es: DURMAN que son distribuidores a nivel mundial de sistemas de conducción de fluidos, usados en construcción residencial y comercial para el manejo del agua en los cultivos (Durman, 2024).

SMAF que tienen un enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia energética en la producción agroindustrial, industrial y energías alternativas, donde ofrecen soluciones tecnológicas como lo son los sistemas de riego e invernaderos. (Ingeniería SMAF, s. f.). AgroAP realiza MFS - Mapeo de Fertilidad de Suelos, SSC -Seguimiento Satelital de Cultivos, VRT -Recomendación de Insumos en Tasa Variable, MA -Mapeo Aplicación Insumos en Tasa Variable, MP -Mapeo de Producción, MDE -Modelo Digital de Elevación - Pendientes, TOP -Levantamiento Topográfico Drones (AgroAP, 2021). Solinftec ofrece el servicio de software para la agroindustria, haciendo monitoreo de las plantaciones como la caña de azúcar y otras plantaciones (SOLIX AG ROBOTICS, s. f.) y Netafim que realiza líneas de goteo, goteros aspersores, micro aspersores y otros emisores, si como filtros, válvulas, tubería flexible y tuberías PE. Conectores Stands para aspersión ReGen™ y productos sustentables (Products and Solutions, s. f.). Estas empresas son algunas de las que se dedican a brindar servicios de agricultura de precisión.

A nivel internacional existen muchas otras, como lo son: SmartRural que es una empresa española que realiza desarrollo de software enfocado en la agricultura, analítica de datos, soluciones WebGis y servicio de satélites (SMARTRURAL S.L., 2023). Tecnosem empresa argentina que brinda el servicio de Señales de Corrección GNSSS Terrastar Trimble/Omnistar Prueba de Palatabilidad, Calibración de dosificadores Imágenes Aéreas y Procesamiento de datos (Tecnosem, 2020). Hortielectric empresa española que diseña, desarrollo e implantación de aplicaciones de automatización de procesos para el ámbito agrícola, desde pequeños programas para la automatización individual de procesos, hasta complejos sistemas de automatización total de planta integrando todos los sistemas y subsistemas. Controles de clima en invernaderos totalmente adaptados a la necesidad del cliente. Automatización de salas de calderas, automatización de tratamiento y gestión de agua y residuos Aplicaciones para máquinas sembradoras, carros de riego. Aplicaciones para sistemas logísticos, visualización de valores meteorológicos y gestión de alarmas, y aplicaciones totalmente personalizadas para centros de investigación (Hortielectric. Sistemas de Automatización y Control de Procesos Para el Sector Agrícola. |, s. f.). ProximaSistem de España que realiza sistemas de riego agrícola inteligente, supervisión de pívots, Control Bombeo Solar, Control Inalámbrico de Válvulas y Sensores de Humedad del suelo (Proxima Systems, 2021). Y LainHolding de Costa Rica que brinda servicios de invernaderos automatizados inteligentes, Riego inteligente IOT, Agricultura de precisión inteligente IOT, Agricultura sustentable IOT, Monitoreo de animales IOT, psicultura intensiva inteligente IOT (Mgarita, 2024).

Aunque existen más empresas en este ámbito, pocas se enfocan en soluciones de baja potencia para pequeños agricultores e instituciones educativas, ya que, en la actualidad, los agricultores enfrentan diversos obstáculos al intentar adoptar la agricultura de precisión. Las opciones tecnológicas disponibles suelen ser costosas, lo que limita su accesibilidad para muchos agricultores. Además, la necesidad de una conexión a internet estable supone un desafío en áreas rurales donde la conectividad es deficiente. Por último, la complejidad de las tecnologías existentes puede dificultar su implementación para agricultores con bajos niveles de habilidades tecnológicas.

A través de esta investigación de mercado, se examina el panorama competitivo del sector de la agricultura de precisión, utilizando el benchmarking como herramienta principal para el análisis. Se identifican áreas clave, funcionalidades, características y estrategias con el fin de mejorar el posicionamiento en el mercado.

Este benchmarking se basa en un análisis detallado de diferentes pequeñas, medianas y grandes empresas a nivel regional, nacional e internacional, enfocándose específicamente en aquellas que brindan servicios de agricultura de precisión. El objetivo es comparar las características esenciales, tecnologías y enfoques que distinguen a estas empresas líderes en este sector. El análisis busca perfeccionar las prácticas de nuestro startup y ofrecer soluciones innovadoras para los clientes.

Se seleccionaron diecisiete empresas dedicadas a la agricultura de precisión, las cuales se distribuyen en dos empresas caucanas, diez empresas a nivel nacional y cinco internacionales como se visualiza en la figura 5, con el fin de clasificar y comparar sus principales funcionalidades y características en este estudio de mercado. Cada una de estas empresas cuenta con servicios especializados, algunos únicos y otros compartidos, que las hacen destacar en el mercado. Las cuales se agrupan en regionales, nacionales e internacionales. A continuación, se presenta una comparativa resumiendo todo lo mencionado anteriormente de cada empresa:

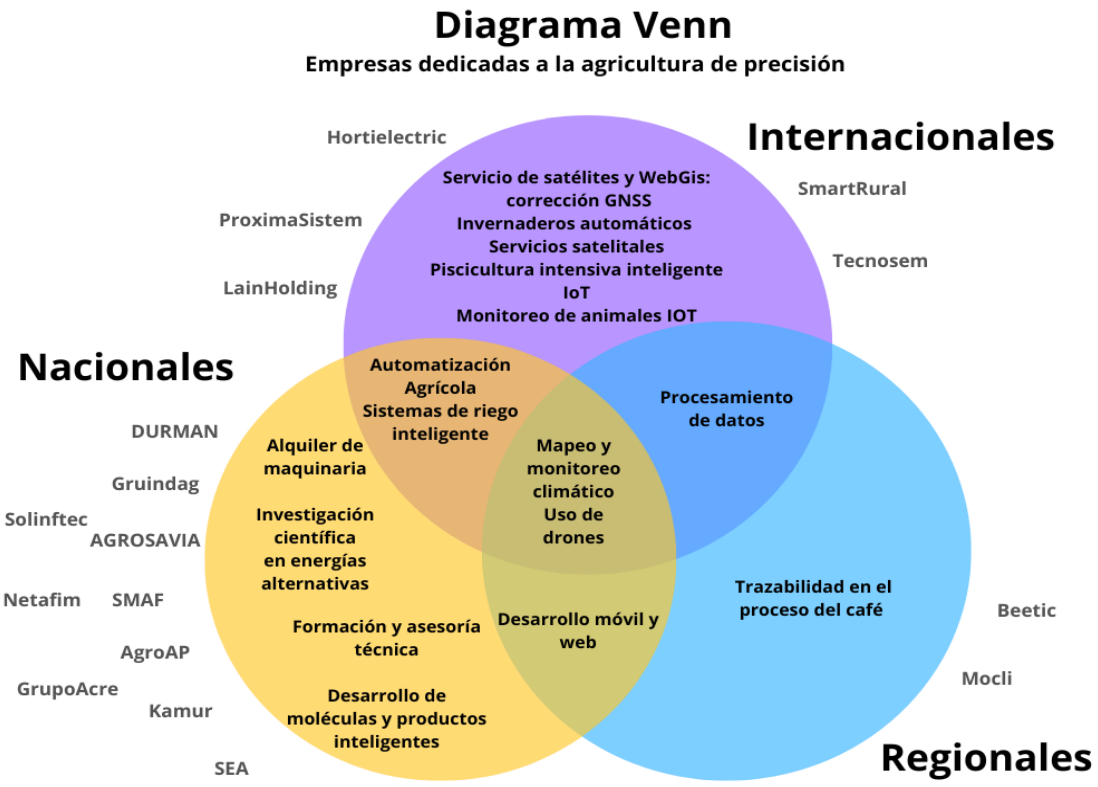

Figura 5. Diagrama de Venn con empresas regionales, nacionales e internacionales.

Fuente: Propia

9.2 Encuesta

Se realizo una encuesta al publico en general, tanto a campesinos, como familiares, amigos, estudiantes y algunos grupos de Facebook relacionados con agricultura y tecnología. Esto mediante un formulario de Google forms. Con el fin de evaluar si estas personas estarían dispuestas a adquirir los servicios de Innovatech RM, saber cuales son los potenciales clientes y que haga parte del estudio de viabilidad del proyecto.

Pregunta 1. ¿En qué se desempeña actualmente?

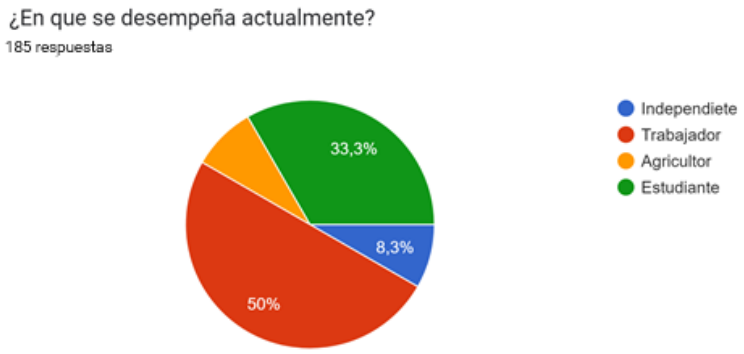

Figura 6. Pregunta número 1. **Fuente**: Propia

Pregunta 2. ¿Conoce usted los términos como "Agricultura de precisión" o "IoT"?

Figura 7. Pregunta número 2. **Fuente**: Propia

Pregunta 3. ¿Tiene usted huertas, cultivos o invernaderos?

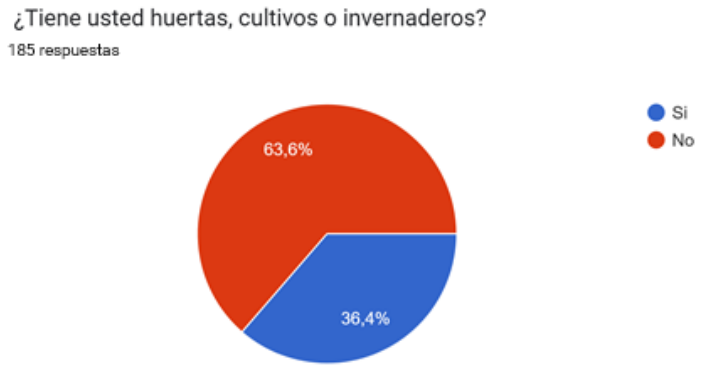

Figura 8. Pregunta número 3. **Fuente**: Propia

Pregunta 4. ¿Sabe para qué sirve la tecnificación o monitorización de los procesos agrícolas?

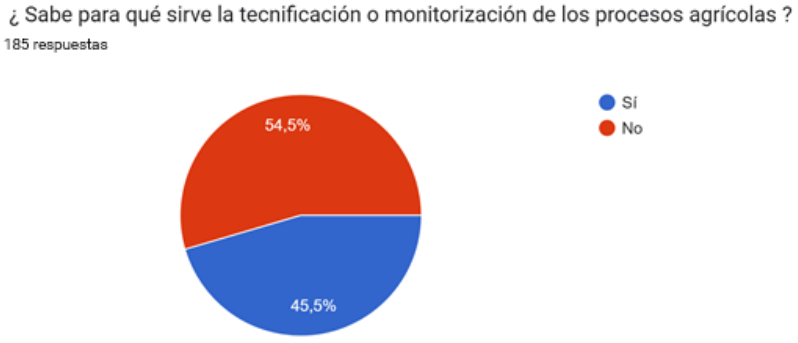

Figura 9. Pregunta número 4. **Fuente**: Propia

Pregunta 5. ¿Cuenta con tecnología en sus cultivos (vivero, huerta, cafetal, etc.)?

Figura 10. Pregunta número 5. **Fuente**: Propia

Pregunta 6. ¿Usted, como agricultor, invertiría en proyectos tecnológicos como el de Innovatech RM?

Figura 11. Pregunta número 6. **Fuente**: Propia

Pregunta 7. ¿Tiene acceso a internet en su hogar?

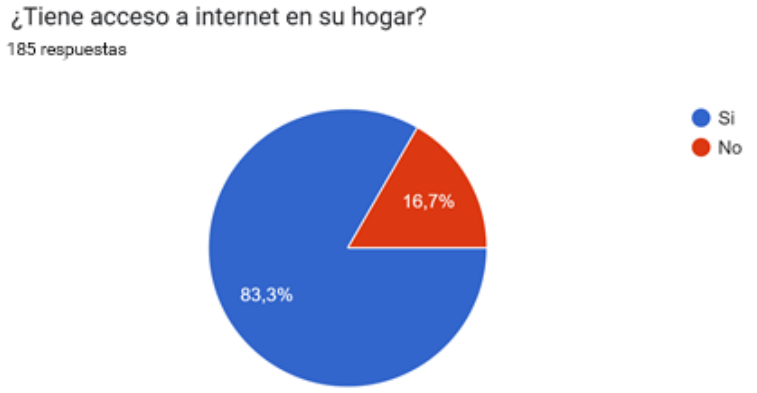

Figura 12. Pregunta número 7. **Fuente**: Propia

Pregunta 8. ¿Tiene algún celular, computador portátil personal o familiar?

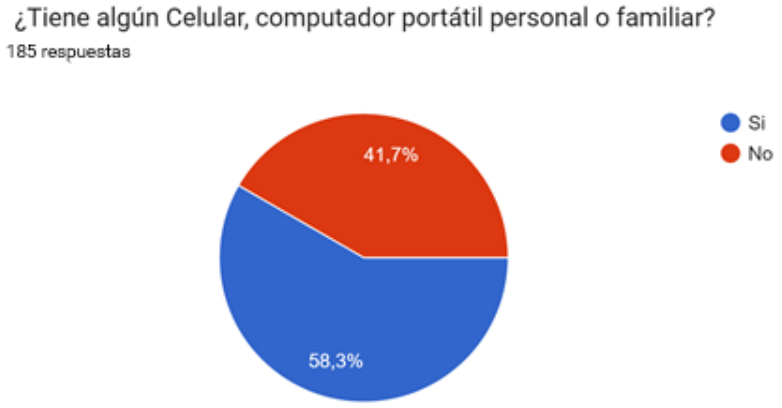

Figura 13. Pregunta número 8. **Fuente**: Propia

Pregunta 9. ¿Qué medios utiliza para comunicarse?

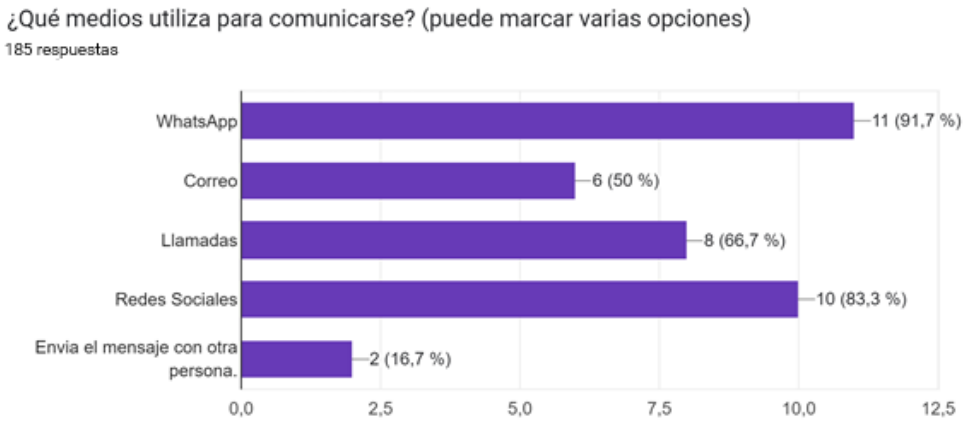

Figura 14. Pregunta número 9. **Fuente**: Propia

10. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO Y OPERATIVO

10.1 Lienzo de la propuesta de valor

Para la elaboración de la propuesta de valor, se tiene en cuenta todos los servicios que brinda Innovatech RM, se tiene en cuenta las actividades que realizan los potenciales clientes y cual es el mercado objetivo al que se quiere llegar. En la Figura 15 muestra la estructura detallada de la propuesta de valor.

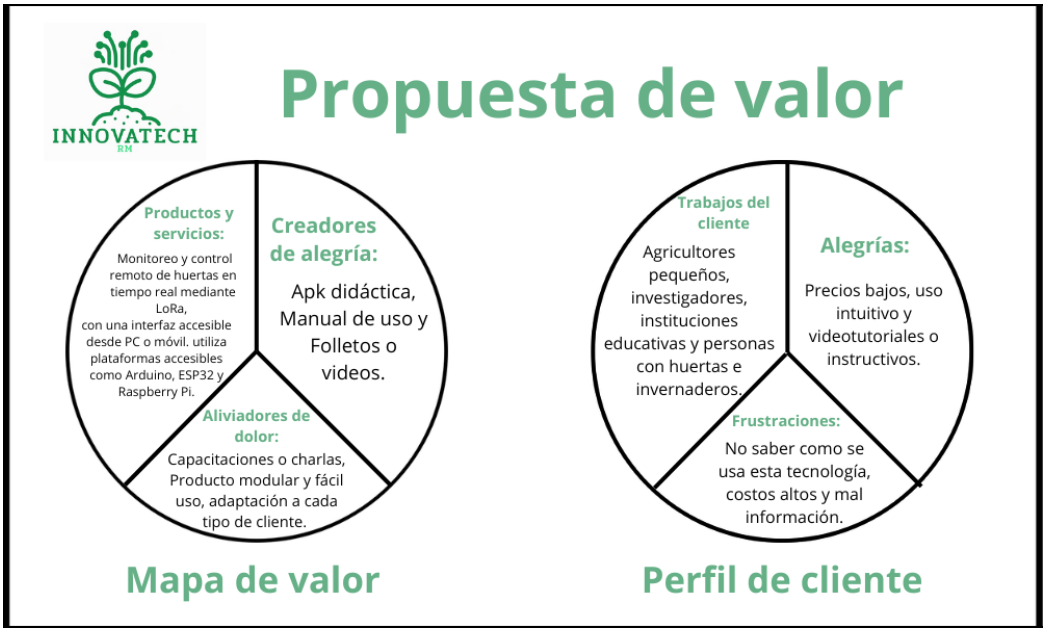

Figura 15. Modelo para el desarrollo de la propuesta de valor. Fuente: Propia

10.1.1 Características Clave

Las características clave de la propuesta de valor son todas las actividades y características que brinda esta Startup y donde se menciona las áreas en las que se enfoca.

- **Automatización y Control Remoto:** Monitoreo en tiempo real y control de huertas mediante una interfaz accesible desde cualquier PC o teléfono móvil, utilizando el protocolo de comunicación LoRa.

- **Energía Sostenible:** Solución completamente autónoma gracias a la integración de energía solar fotovoltaica, lo que reduce los costos operativos a largo plazo.

- **Tecnología Comercial Accesible:** Utilizamos plataformas como Arduino, ESP32 y Raspberry Pi, lo que facilita la implementación y reduce costos, haciendo accesible la tecnología de precisión a los agricultores de pequeña escala.

10.1.2 Beneficios para el Cliente:

Esta sección muestra todos los beneficios que obtendrán los clientes al adquirir algún producto o servicio que brinda Innovatech RM. Como se mencionan a continuación.

- **Aumento de la Eficiencia y Productividad:** Optimizamos el uso de recursos como el agua y los nutrientes del suelo, mejorando la calidad de los cultivos con un menor esfuerzo humano.

- **Reducción de Costos:** Al integrar energías renovables y sistemas automatizados, se reducen los costos de operación y mantenimiento a largo plazo.

- **Fácil Implementación y Mantenimiento:** Gracias al uso de tecnologías comerciales y al diseño pensado para pequeñas explotaciones agrícolas, nuestros productos son fáciles de instalar y mantener sin la necesidad de expertos técnicos.

- **Diferenciación en el Mercado:** A diferencia de las soluciones actuales, que suelen estar dirigidas a grandes productores, **INNOVATECH RM** se enfoca en democratizar la agricultura de precisión, ofreciendo una opción accesible y eficiente para los agricultores de subsistencia y pequeña escala mediante un aplicativo móvil, permitiéndoles competir con soluciones de mayor envergadura.

10.2 Modelo basado en el lienzo Canvas

Para la elaboración de modelo de negocio basado en el lienzo Canvas; presentan algunas consideraciones clave para su implementación. Según Osterwalder & Pigneur, durante el proceso de implementación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: (Puga, Y. G. (2023)).

- Reconocer la existencia de una necesidad y tener una motivación real para crear un nuevo modelo de negocios.

- Estar al tanto de las nuevas tecnologías, las necesidades de los clientes y el entorno empresarial.

- Realizar varias sesiones de lluvia de ideas para perfeccionar el contenido de cada bloque del lienzo.

- Diseñar diversas opciones de modelos de negocios y elegir la más adecuada.

- Gestionar el modelo de negocios con base en la respuesta del mercado, adaptándolo según sea necesario.

- El modelo Canvas es mucho más que una simple lista de verificación; debe verse como una herramienta valiosa para crear el modelo deseado.

- El modelo de negocios final se describe a través de cada uno de los nueve bloques del lienzo y mediante el análisis de las relaciones entre ellos.

En la figura 16 se muestra el modelo de negocio ya realizado y definidos todos los puntos que se deben contemplar en este lienzo, para su desarrollo se tuvo en cuenta toda la parte de estudio de mercado, mediante encuestas, revisión bibliográfica y el benchmarking, con el fin de definir cual es el enfoque que toma la Startup Innovatech RM y cual es su modelo de negocio.

Figura 16. Modelo de negocio Canvas. **Fuente**: Propia

El modelo de negocios se desarrolla a partir de un estudio de mercado basado en benchmarking, una revisión bibliográfica, encuestas realizadas y un análisis de las necesidades del mercado. Estas actividades permitieron diseñar una propuesta alineada con las demandas del sector agrícola, en especial para el contexto del Colegio El Zarzal y los pequeños agricultores.

El benchmarking permitió identificar empresas que ofrecen soluciones tecnológicas similares a nivel nacional e internacional. A nivel regional no se encontraron servicios de agricultura de precisión, mientras que las opciones nacionales son limitadas y poco accesibles para pequeños productores. Además, este estudio incluyó la realización de encuestas que revelaron que las soluciones actuales no son accesibles para este segmento de mercado. Estos hallazgos confirmaron una oportunidad clara para ingresar al mercado.

La revisión bibliográfica incluyó investigaciones sobre creación de valor y tendencias tecnológicas en el sector agrícola. A continuación, se describen de manera mas amplia cuales son todas las actividades que se muestran en el modelo de negocio.

10.2.1 Propuesta de valor

- INNOVATECH RM ofrece una solución integral de automatización para huertas, especialmente dirigida a pequeños agricultores, que permite el control remoto y en tiempo real de las variables críticas del suelo (humedad, temperatura, y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio). El sistema se destaca por:

- **Automatización y Control Remoto**: Los usuarios pueden monitorear y controlar el sistema de riego desde cualquier dispositivo conectado (PC o móvil) a través de LoRa.

- **Energía Sostenible**: El sistema es energéticamente autónomo gracias a la integración de energía solar fotovoltaica, lo que reduce los costos operativos a largo plazo.

- **Accesibilidad y Bajo Costo**: Al utilizar tecnologías comerciales como Arduino, ESP32 y Raspberry Pi, el sistema es accesible y de bajo costo, lo que democratiza el acceso a la tecnología de precisión.

- **Optimización de Recursos**: El monitoreo continuo del suelo permite una gestión eficiente del riego y de los nutrientes, lo que incrementa la productividad agrícola y reduce el desperdicio de recursos.

10.2.2 Segmento de clientes

- INNOVATECH RM se enfoca en Pequeños y medianos agricultores y campesinos, que buscan optimizar el uso de sus recursos (agua, fertilizantes) y mejorar la productividad de sus cultivos mediante tecnologías accesibles.

- Instituciones educativas (como el Colegio El Zarzal), que están interesadas en proyectos de sostenibilidad, automatización y energía renovable, y que pueden utilizar la solución en sus huertas educativas.
- Cooperativas y asociaciones agrícolas que buscan soluciones tecnológicas para sus miembros.
- Organizaciones gubernamentales y ONG dedicadas a la agricultura sostenible y la implementación de tecnologías que favorecen el desarrollo rural.

10.2.3 Canales

- **Ventas directas**: A través de acuerdos con agricultores y cooperativas locales.
- **Plataformas digitales**: Promoción y venta de productos y servicios a través de una página web oficial y redes sociales.
- **Talleres y ferias agrícolas**: Participación en eventos locales para la demostración del producto.
- **Proyectos educativos**: Implementación del prototipo en instituciones educativas como herramienta de aprendizaje y prueba de concepto.

10.2.4 Relación con los clientes

- **Soporte técnico personalizado**: Instalación y mantenimiento del sistema automatizado con asistencia técnica periódica.
- **Capacitación**: Talleres y cursos de formación para enseñar a los agricultores y estudiantes a usar y mantener el sistema.

- **Atención postventa**: Asistencia remota para solucionar problemas o ajustes del sistema.
- **Comunidad en línea**: Creación de una comunidad digital de usuarios para intercambiar experiencias, soluciones y actualizaciones del sistema.

10.2.5 Actividades clave

- **Desarrollo tecnológico**: Investigación y desarrollo de nuevas funcionalidades para el sistema de automatización, como la integración de más sensores (pH del suelo, conductividad eléctrica).
- **Fabricación e instalación:** Producción de kits de automatización y su posterior instalación en las huertas.
- **Soporte técnico y mantenimiento**: Servicios continuos de soporte, actualizaciones y mantenimiento.
- **Capacitación a clientes**: Programas educativos y talleres para enseñar a los usuarios cómo implementar y operar el sistema.
- **Marketing y ventas**: Promoción del sistema en ferias agrícolas, redes sociales, y mediante alianzas con cooperativas y asociaciones agrícolas.

10.2.6 Recursos clave

- **Componentes tecnológicos**: como sensores NPK, de humedad de suelo, sensores de turbidez de agua electroválvulas y temperatura, paneles solares, microcontroladores (Arduino, ESP32), y dispositivos de comunicación LoRa.
- **Software**: Plataforma de gestión y monitoreo remoto de datos, que incluye análisis y visualización de datos en tiempo real.

- **Equipo técnico**: Ingenieros de mecatrónica, desarrolladores de software y técnicos en instalación y mantenimiento.
- **Proveedores**: Aliados para la adquisición de componentes electrónicos, paneles solares, y hardware de control.
- **Alianzas estratégicas**: Cooperativas agrícolas, instituciones educativas y entidades gubernamentales que faciliten la implementación y promoción del sistema.

10.2.7 Socios clave

- **Proveedores de componentes electrónicos y energéticos**: Empresas que suministran las tecnologías clave como sensores, microcontroladores y paneles solares.
- **Instituciones educativas**: Como el Colegio El Zarzal, que actúan como plataformas para la implementación de prototipos y formación.
- **Organizaciones gubernamentales y ONG**: Asociaciones que promuevan la tecnología en la agricultura y la sostenibilidad energética.
- **Distribuidores locales**: Empresas o asociaciones que faciliten la distribución de los kits a nivel regional.

10.2.8 Estructura de costos

- **Costos de hardware**: Adquisición de sensores, controladores, paneles solares, y equipos de comunicación LoRa.
- **Desarrollo de software**: Costos asociados al desarrollo y mantenimiento de la plataforma de monitoreo y control.

- **Costos de instalación y mantenimiento**: Mano de obra, transporte y materiales necesarios para la instalación y soporte técnico.
- **Capacitación y formación**: Costos de organización de talleres y formación a los agricultores y usuarios.
- **Marketing y distribución**: Promoción del sistema en redes sociales, ferias, y distribución de kits.

10.2.9 Fuentes de ingreso

- **Venta de equipos y sistemas**: Ingresos derivados de la venta directa de los kits de automatización (sensores, controladores, paneles solares, etc.).
- **Mantenimiento y soporte técnico**: Servicios de mantenimiento preventivo y correctivo, así como actualizaciones de software y hardware.
- **Capacitación y consultoría**: Servicios de formación especializada en el uso del sistema y asesoría técnica para mejorar la eficiencia agrícola.
- **Licencias de uso del software**: Suscripción a plataformas en la nube para el monitoreo de datos y análisis avanzados.

10.3 Análisis DOFA

Para la elaboración de la matriz DOFA del proyecto INNOVATECH RM, se realizaron diversas actividades que permitieron identificar los factores clave del entorno interno y externo. En primer lugar, se analizaron las limitantes de la empresa, como los recursos técnicos y financieros disponibles, y el hecho de que el desarrollo del prototipo se hizo desde cero, lo que implicó un costo inicial elevado. También se llevó a cabo un benchmarking, que evidenció que a nivel nacional

existen pocas empresas dedicadas a soluciones tecnológicas similares, y que a nivel regional no hay competidores directos, lo que representa una oportunidad estratégica. Adicionalmente, se realizaron encuestas a los usuarios potenciales, las cuales indicaron un gran interés por este tipo de soluciones tecnológicas y una disposición favorable a adquirir servicios como los que ofrece el proyecto. Estas actividades, junto con el desarrollo del prototipo, su implementación en el Colegio El Zarzal, y la validación técnica y funcional del sistema, permitieron recopilar la información necesaria para estructurar una matriz DOFA que refleje de manera integral la situación actual y las proyecciones del proyecto. La Figura 17 muestra a detalle el análisis DOFA de la Startup INNOVATECH RM.

Figura 17. Análisis DOFA. **Fuente**: Propia

10.4 Estructura organización del startup INNOVATECH RM

La figura 18 muestra la estructura organizacional de la empresa y como están interconectados los departamentos de la Startup INNOVATECH RM.

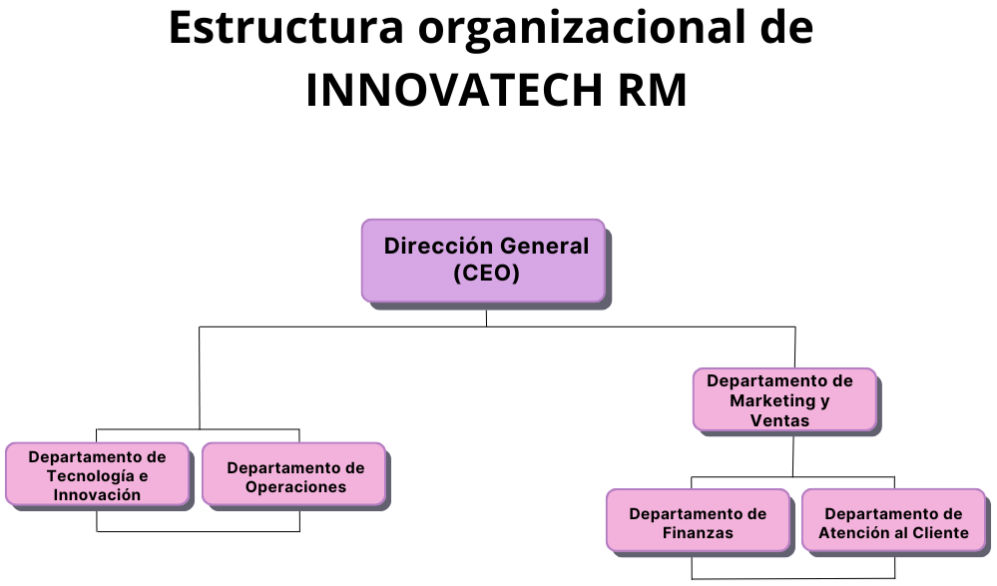

Figura 18. Estructura organizacional del Startup INNOVATECH RM. **Fuente**: Propia

10.4.1 Dirección General (CEO)

Función principal: Es la cabeza de la empresa, quien toma las decisiones clave y establece la visión estratégica a largo plazo. El CEO coordina las acciones de todos los departamentos y asegura que los recursos estén alineados con los objetivos de la empresa.

10.4.2 Departamento de Tecnología e Innovación

Función principal: Se encarga del desarrollo tecnológico y la innovación. Este departamento se ocupa de la investigación y desarrollo de nuevas soluciones, como el diseño de

hardware y software para la automatización de huertas. También supervisa la implementación de tecnologías IoT, control de sensores (NPK, humedad, temperatura, entre otros), y el mantenimiento de los sistemas tecnológicos.

10.4.3 Departamento de Operaciones

Función principal: Gestiona las operaciones diarias de la empresa. Se encarga de la planificación y ejecución de las actividades relacionadas con la instalación de sistemas en las huertas, manejo del personal técnico, y aseguramiento de que los procesos de automatización y mantenimiento se realicen correctamente. Su objetivo es optimizar los recursos y garantizar que todo funcione de manera eficiente.

10.4.4 Departamento de Marketing y Ventas

Función principal: Es responsable de la promoción y comercialización de los productos y servicios de la empresa. Esto incluye crear estrategias para captar nuevos clientes, mejorar la visibilidad de la empresa en el mercado, gestionar redes sociales y plataformas digitales, y desarrollar campañas de ventas para ofrecer las soluciones tecnológicas de agricultura de precisión a pequeños agricultores.

10.4.5 Departamento de Finanzas

Función principal: Gestiona todos los aspectos financieros de la empresa. Esto incluye la elaboración de presupuestos, análisis de rentabilidad, obtención de financiamiento, y asegurarse de que los recursos económicos se utilicen de manera eficiente. Además, se ocupa de la relación con inversores y la búsqueda de fondos para el crecimiento de la empresa.

10.4.6 Departamento de Atención al Cliente

Función principal: Proporciona soporte postventa a los clientes, solucionando problemas técnicos y atendiendo quejas o sugerencias. Además, este departamento recopila retroalimentación de los usuarios para mejorar continuamente los productos y servicios, asegurando que los clientes estén satisfechos con la automatización de las huertas, invernaderos y otros servicios de INNOVATECH RM.

11. ESTUDIO FINANCIERO

El estudio financiero nos permite observar si INNOVATECH RM es económicamente viable, por medio del análisis de los costos de producción, implementación y operación del sistema de automatización de la huerta, con la determinación de inversiones iniciales, costos fijos, costos variables, precio del prototipo y punto de equilibrio de la Startup.

11.1 Inversión inicial para la creación de INNOVATECH RM

La tabla 1 muestra las inversiones iniciales en maquinaria, herramienta y personal necesario para la constitución y puesta en marcha de INNOVATECH RM.

Tabla 1. Inversiones iniciales. **Fuente**: Propia

Inversiones fijas requeridas: Maquinaria, herramientas y personal requerido para iniciar.				
N	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**
1	Computadores	2	$ 3.000.000,00	$ 6.000.000,00
2	Celulares	2	$ 700.000,00	$ 1.400.000,00
3	Monitores	2	$ 400.000,00	$ 800.000,00
4	Fuentes de voltaje	2	$ 380.000,00	$ 760.000,00
5	Multímetro	2	$ 170.000,00	$ 340.000,00
6	Equipo de protección	2	$ 100.000,00	$ 200.000,00
7	Kit de herramientas	2	$ 100.000,00	$ 200.000,00
8	Mesa de trabajo	2	$ 200.000,00	$ 400.000,00
9	Silla	2	$ 200.000,00	$ 400.000,00
10	Papeleo para legalizar este startup	1	$ 1.000.000,00	$ 1.000.000,00
11	Estación de soldadura	1	$ 350.000,00	$ 350.000,00
12	Desarrollador móvil	1	$ 2.500.000,00	$ 2.500.000,00
13	Ingeniero Mecatrónico (Afines)	1	$ 2.500.000,00	$ 2.500.000,00
TOTAL				**$ 16.850.000,00**

Para saber cuál es el costo del desarrollo del prototipo se deben tener en cuenta los gastos fijos como variables en la elaboración del este producto, la siguiente tabla muestra los gastos fijos requeridos para el funcionamiento de este startup.

11.2 Costos Fijos

La tabla 2 muestra todos los costos fijos necesarios para el funcionamiento mes a mes de la empresa.

Tabla 2. Costos fijos. **Fuente**: Propia

COSTOS FIJOS			
N	**DESCRIPCIÓN**	**VALOR MENSUAL**	**VALOR ANUAL**
1	Local	$ 600.000,00	$ 7.200.000,00
2	Servicios públicos	$ 250.000,00	$ 3.000.000,00
3	Internet	$ 90.000,00	$ 1.080.000,00
4	Licencia de programas	$ 30.000,00	$ 360.000,00
5	Desarrollador móvil	$ 2.500.000,00	$ 30.000.000,00
6	Ingeniero Mecatrónico (Afines)	$ 2.500.000,00	$ 30.000.000,00
TOTALES		**$ 5.970.000,00**	**$ 71.640.000,00**

11.3 Costos Variables

En los costos variables del proyecto se contempla todo lo necesario para la elaboración del proyecto de IoT que se realizó en la huerta el Zarzal.

Tabla 3. Costos variables del prototipo. **Fuente**: Propia

GASTOS VARIABLES				
N	DESCRIPCIÓN	Cantidad	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Arduino UNO R3	2	$ 30.399,00	$ 60.798,00
2	Modulo Bluetooth HC-05	1	$ 21.000	$ 21.000,00
3	DHT-22	1	$ 11.900	$ 11.900,00
4	SIG0040	4	$ 5.500	$ 22.000,00
5	Electroválvula 12VDC	1	$ 35.000	$ 35.000,00
6	Relay 5v	1	$ 7.000	$ 7.000,00
7	VIS1698	2	$ 55.000	$ 110.000,00
8	PANEL SOLAR 12V-5W	1	$ 50.000	$ 50.000,00
9	LM2596	2	$ 17.000	$ 34.000,00
10	Batería Respaldo 6V 4.5A	1	$ 33.500	$ 33.500,00
11	JUMPERS 20 cm	3	$ 5.000	$ 15.000,00
12	Protoboards 102 - Bread Board MB-102	1	$ 13.000	$ 13.000,00
13	1N5822	1	$ 511	$ 511,00
14	XL6009	1	$ 19.500	$ 19.500,00
15	NPK	1	$ 341.530	$ 341.530,00
16	PCB	1	$ 190.000	$ 190.000,00
17	Impresión 3D	1	$ 193.000	$ 193.000,00
18	Tubería plástica	4	$ 13.000	$ 52.000,00
19	Tubo metal	1	$ 18.000	$ 18.000,00
20	Cable	1	$ 40.000	$ 40.000,00
21	Manguera riego	1	$ 34.000	$ 34.000,00
22	Viáticos	1	$ 400.000	$ 400.000,00
23	Cemento Kg	5	$ 1.000	$ 5.000,00
24	Pegante Tubería	1	$ 7.500	$ 7.500,00
25	Lija	1	$ 1.600	$ 1.600,00
26	Limpiador	1	$ 5.500	$ 5.500,00
27	codos tubería	11	$ 700	$ 7.700,00
28	Estaño y crema	1	$ 4.500	$ 4.500,00
29	Hoja cegueta	1	$ 5.500	$ 5.500,00
30	Silicona	1	$ 20.000	$ 20.000,00
31	Tornillería	1	$ 18.500	$ 18.500,00
32	Pintura	1	$ 43.500	$ 43.500,00
33	Conectores manguera	8	$ 1.500	$ 12.000,00
34	Conectores rápidos	20	$ 1.000	$ 20.000,00
35	Otros	1	$ 100.000,00	$ 100.000,00

TOTAL	$	1.953.039,00

11.4 Costo prototipo

La tabla 4 muestra el costo total del prototipo, sin tener en cuenta las ganancias ni el IVA.

Tabla 4. Costo Prototipo. **Fuente**: Propia

COSTO PROTOTIPO		
N	**DESCRIPCIÓN**	**Valor**
1	Costos Fijos	$ 5.970.000,00
2	Costos Vartiables	$ 1.953.039,00
TOTAL		**$ 7.923.039,00**

Precio de Venta con margen de ganancia del 40%, sin contar el impuesto IVA.

Tabla 5. Precio de venta sin IVA. **Fuente**: Propia

PRECIO DE VENTA SIN IVA				
N	**DESCRIPCIÓN**	**Valor**	**% de ganancia**	**Precio sin IVA**
1	Costo producción	$ 7.923.039,00	40%	$ 13.205.065,00

Precio de Venta con margen de ganancia del 40%, contando con el impuesto IVA.

Tabla 6. Precio de venta con IVA. **Fuente**: Propia

PRECIO DE VENTA CON IVA				
N	**DESCRIPCIÓN**	**Valor**	**% de ganancia**	**Precio con IVA**

1	Costo producción	$ 7.923.039,00	40%	$ 15.714.027,35

La tabla 7 muestra el punto de equilibrio que debe tener Innovatech RM para su funcionamiento.

Tabla 7. Punto de equilibrio. **Fuente**: Propia

PUNTO DE EQUILIBRIO PARA EL PROTOTIPO	
Qe= Costos Fijo / (Precio unitario - costo variable unitario)	
QeProducto 1=	0,9170853139

Se estima vender 20 prototipos al año, para alcanzar el punto de equilibrio se deben vender 0.92 dispositivos IOT para no estar en perdidas debido a los costos fijos que conlleva este desarrollo.

12. PROTOTIPADO

Este prototipo de agricultura de precisión con IoT en las huertas del colegio El Zarzal, ubicado en una zona con acceso limitado a Internet y suministro de energía en el departamento del Cauca, Colombia, surge como respuesta a la necesidad de fomentar la alfabetización digital entre los jóvenes. A través de la implementación de sensores IoT y sistemas de riego automatizados, se busca optimizar la gestión de recursos de manera sostenible. Los estudiantes han mostrado interés ante la introducción de nuevas tecnologías. No obstante, la falta de conectividad en zonas rurales ha sido una barrera para el uso de herramientas tecnológicas en estos territorios. Hoy en día, los avances tecnológicos y la expansión de la cobertura de Internet en diversas regiones han abierto la posibilidad de aprovechar las TIC para mejorar la calidad de vida y adquirir nuevos conocimientos, promoviendo el desarrollo sostenible y preservando las prácticas agrícolas desde la juventud.

12.1 Requerimientos del prototipo

Como primer paso, se llevó a cabo una reunión con el equipo responsable de la huerta del Colegio El Zarzal para identificar las necesidades técnicas del sistema. De esta sesión se derivaron varios requerimientos, destacando la implementación de un sistema de riego automatizado. Esto era crucial, ya que las plántulas estaban experimentando problemas de sobre riego debido al método manual existente. Además, se resaltó la necesidad de monitorear los nutrientes del suelo, lo que permitiría una planificación y control más preciso del proceso de abonado.

Dado que la huerta se encuentra en una ubicación sin acceso a la red eléctrica, se estableció que el sistema debía operar con energías renovables. Asimismo, se definió que los datos recopilados por los sensores debían ser accesibles desde el salón de clase a través de una aplicación móvil o web, facilitando el análisis y monitoreo por parte de los estudiantes. Se optó por utilizar

microcontroladores Arduino para que los estudiantes pudieran comprender el funcionamiento del sistema, favoreciendo así el aprendizaje práctico.

Para el control de riego, se consideró la necesidad de medir la humedad del suelo, seleccionando el sensor SIG0040. Este dispositivo se destaca por su facilidad de uso y programación, además de operar con un voltaje de 5V, cumpliendo con los requisitos técnicos del sistema. Adicionalmente, para medir la humedad y temperatura ambiental, se eligió el sensor DTH22, el cual ofrece mayor precisión en comparación con el DTH11 y un bajo consumo de corriente de 2.5mA, lo que permite ajustar la intensidad del riego según las condiciones climáticas.

El método de riego por goteo fue seleccionado para optimizar el uso del agua y reducir el desperdicio. Sin embargo, debido al uso de agua de lluvia, se consideró necesario controlar la turbidez del agua para evitar obstrucciones en las mangueras. Para ello, se integró el sensor VIS1698, que puede funcionar tanto en entradas analógicas como digitales y consume un máximo de 40mA de corriente. El sistema de riego se complementó con una electroválvula solenoide de 12VDC - 1/2" que funciona sin presión, aprovechando la gravedad para el flujo de agua.

En la medición de nutrientes en el suelo, se seleccionó el sensor NPK JXBS-3001-NPK-RS, el cual permite medir de forma precisa y rápida los niveles de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en diferentes tipos de suelo. Este sensor se ajustó tanto a las necesidades técnicas como al presupuesto del proyecto. Su integración con el Arduino requiere de un módulo conversor bidireccional TTL a RS485 utilizando el chip MAX485, necesario para adaptar la señal del sensor NPK y garantizar su correcta lectura por el microcontrolador.

Para enviar todos los datos recolectados por los sensores, se seleccionó el Módulo Transceptor LoRa SX1278 Ra-02 de 433 MHz. Este dispositivo es ideal para la huerta por su capacidad de transmitir información a largas distancias, alcanzando hasta 10 kilómetros según su especificación técnica, lo que lo hace perfecto para cubrir la ubicación remota de la huerta.

El protocolo LoRa (Long Range) ofrece varias ventajas en comparación con otras tecnologías de comunicación como Wi-Fi, Zigbee o Bluetooth (PEÑALÓ, Randy, et al, 2023). Su principal beneficio es el bajo consumo de energía, lo que lo hace especialmente adecuado para sistemas que dependen de energías renovables, como el de la huerta. Además, su capacidad de comunicación a larga distancia permite que los datos lleguen de manera confiable, incluso en zonas rurales con obstáculos, sin necesidad de repetidores adicionales (Olivares-Auza, J. D. 2020).

Otro punto fuerte de LoRa es su resistencia a las interferencias y el uso de bandas de frecuencia libres de licencias, lo que contribuye a reducir los costos de operación y facilita su implementación (PEÑALÓ, Randy, et al, 2023). A diferencia de Wi-Fi, que tiene un alcance más limitado y un mayor consumo de energía, LoRa se adapta mejor a proyectos IoT en áreas amplias y donde el ahorro de energía es esencial. En comparación con Zigbee, que también consume poca energía, LoRa sobresale por su mayor alcance, lo que permite cubrir toda la extensión de la huerta sin requerir una red de malla compleja.

Tabla 8. Requerimientos técnicos y funcionales del sistema. **Fuente**: Propia

Requerimiento	Especificación Técnica	Unidades Ingenieriles
Sistema de Riego Automatizado	Método: Riego por goteo. Control mediante electroválvula solenoide de 12VDC - 1/2". Función sin presión, aprovechando gravedad para flujo.	Voltaje: 12 VDC Diámetro de entrada: 1/2"
Control de Humedad del Suelo	Sensor: SIG0040. Fácil uso y programación. Voltaje de operación: 5V.	Voltaje: 5 VDC Corriente: Máx. 30 mA
Control Climático	Sensor de temperatura y humedad ambiental: DHT22. Mayor precisión que DHT11, bajo consumo.	Precisión de temperatura: ±0.5°C Consumo: 2.5 mA
Control de Turbidez del Agua	Sensor: VIS1698. Compatible con entradas analógicas y digitales.	Corriente: Máx. 40 mA
Medición de Nutrientes en Suelo	Sensor NPK: JXBS-3001-NPK-RS. Precisión alta para Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Integración mediante RS485 con MAX485.	Voltaje: 5-12 VDC Protocolo: RS485 TTL bidireccional

Alimentación Energética	Sistema basado en energías renovables debido a la falta de red eléctrica.	Fuente: Paneles solares
Transmisión de Datos	Tecnología LoRa: Módulo SX1278 Ra-02 (433 MHz). Transmisión a largas distancias.	Alcance: Máx. 10 km Frecuencia: 433 MHz
Acceso y Monitoreo	Visualización en aplicación móvil o web desde el salón de clases.	Interfaz web/móvil Datos accesibles en tiempo real
Microcontrolador	Arduino uno como unidad central para programación y aprendizaje práctico.	Procesador: ATmega328P Frecuencia: 16 MHz

12.2 Funcionalidad básica del prototipo

El funcionamiento principal del sistema es recolectar datos utilizando IoT y enviarlos a través de tecnología LoRa, permitiendo el monitoreo de variables como la temperatura y humedad ambiente, humedad del suelo, nutrientes en la tierra y turbidez del agua, además de controlar el riego mediante una electroválvula. El sistema se orienta a la agricultura de precisión con el fin de optimizar la eficiencia en el cultivo de hortalizas.

Un aspecto clave es analizar la acidez del suelo para determinar sus condiciones previas al cultivo, lo que facilita la creación de un plan de fertilización ajustado con fósforo, nitrógeno y potasio. Esto no solo mejorará la calidad de las plantas y su valor nutricional, sino que también proporcionará un control detallado de su desarrollo, asegurando al mismo tiempo un uso eficiente del agua para riego y la calidad de esta misma.

El prototipo tiene la capacidad de medir en tiempo real las principales variables relacionadas con el cultivo, transmitiendo la información a través de módulos LoRa. Los datos obtenidos pueden ser visualizados y almacenados en una aplicación móvil, facilitando su monitoreo continuo.

12.3 Diagrama de conexión del prototipo

La Figura 19 muestra la estructura detallada del prototipo donde se visualiza como es la conexión que tienen todos los componentes del prototipo de monitoreo automático en la huerta del colegio el Zarzal.

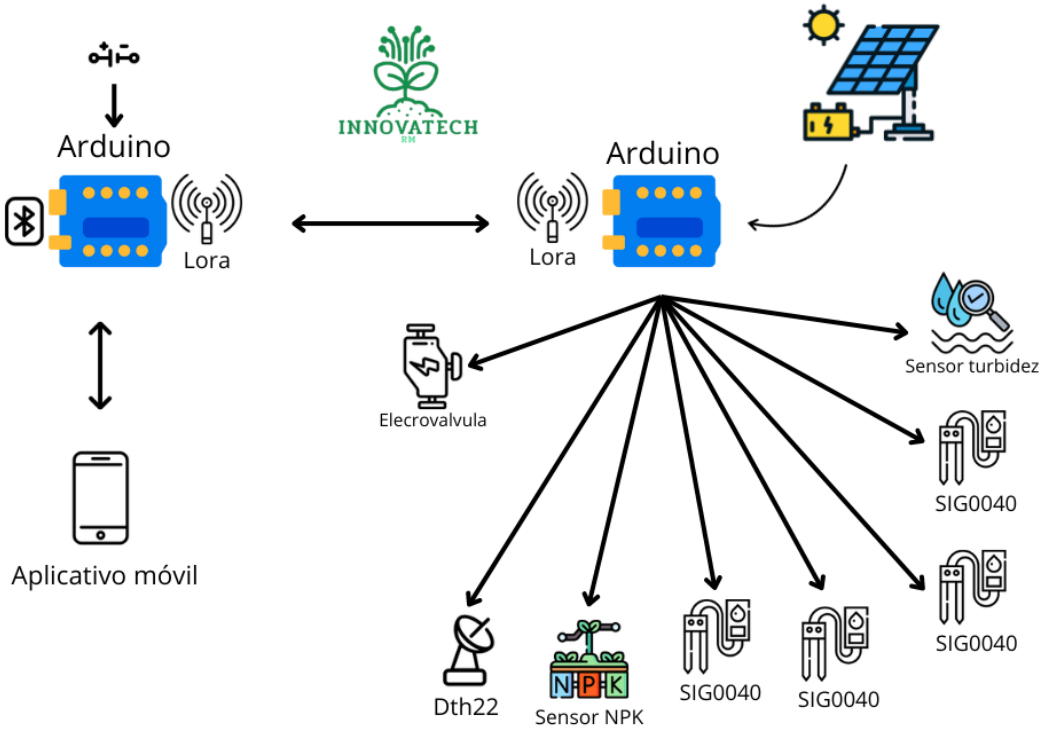

Figura 19. Diagrama de conexión del prototipo. **Fuente**: Propia

El sistema de transmisión está compuesto por cuatro tipos de sensores: DHT-22, SIG0040, VIS1698 y NPK. La comunicación se realiza mediante un módulo LoRa SX1278 RA02, controlado por un microcontrolador Arduino Uno R3. Para la automatización del riego, se utiliza una electroválvula solenoide de 12VDC y 1/2" con presión, activada mediante un módulo relay de 5V.

El sistema es alimentado por una batería recargable de 6V, 4.5/5 Ah, la cual se recarga a través de un panel solar de 12V y 5W.

El sistema de recepción incluye el mismo módulo SX1278 RA02, configurado para recibir datos, junto con un módulo Bluetooth que permite la conexión a un dispositivo móvil, facilitando el uso de una aplicación realizada en MIT App Inventor. Este apartado también está gestionado por un Arduino Uno R3 y alimentado mediante un cargador.

Para asegurar la durabilidad y reducir el impacto ambiental, el sistema de transmisión de datos está alojado en una caja diseñada para proteger los componentes de la lluvia y la radiación solar. Los sensores se conectan externamente mediante conectores rápidos, permitiendo una configuración modular. El sensor DHT22 está protegido por una pantalla de Stevenson, lo que previene que los datos se vean alterados por el calor acumulado. Se fabricaron cajas protectoras específicas para cada sensor y la electroválvula, mejorando su resistencia al agua y prolongando su vida útil. Estas cajas fueron impresas en 3D utilizando una impresora Ender 3 V3 KE y filamento PLA a base de un material biodegradable derivado del maíz.

La prioridad en la validación del prototipo es garantizar el óptimo funcionamiento de los dos sensores principales: el sensor de nutrientes NPK y el sensor de turbidez VIS1698. Para ello, se enfoca en su calibración adecuada y en la realización de estudios de laboratorio específicos para evaluar su precisión y fiabilidad en condiciones controladas. Estos estudios permiten ajustar ambos sensores a los parámetros necesarios para asegurar mediciones exactas en el entorno de la huerta, con el fin de optimizar su rendimiento en campo.

12.4 Validación de los requerimientos mediante pruebas en laboratorio

12.4.1 Modulo Bluetooth SIG0109A

En la Figura 20 se observa el módulo Bluetooth SIG0109A, este dispositivo diseñado para la comunicación inalámbrica de corto alcance mediante la tecnología Bluetooth. Se basa en el chipset BK3231 de Bequen Corporation, que entrega en un solo dispositivo altamente integrado un módulo Bluetooth 3.0. Este módulo es ampliamente usado para comunicaciones inalámbricas gracias a su conectividad con PC, tabletas, Smartphone y demás dispositivos de interfaz Bluetooth, además que el chip cuenta con una memoria flash interna para aplicaciones personalizadas (SIG0109A - Sigma Electrónica, 2024). Este módulo se implementa en el prototipo con el fin de hacer él envió de los datos que recibe el dispositivo Lora a su respectivo aplicativo móvil, y poderse visualizar de manera correcta y cuyas características son:

- Voltaje de trabajo 3.6V – 6V
- Bluetooth 3.0 compilant
- Cristal de referencia de 16MHz

Figura 20. Modulo Bluetooth SIG0109A. **Fuente**: Propia

12.4.2 Sensor de humedad de suelo Capacitivo V1.2

El Sensor de humedad de suelo capacitivo v1.2 (Figura 21) permite medir la humedad en el suelo utilizando el principio de capacitancia entre electrodos en lugar de resistencia, lo que aumenta considerablemente la vida útil del sensor. El electrodo posee una capa de protección anticorrosión para una mayor duración (no se oxida como el sensor resistivo). Compatible con Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32.

Características:

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC
- Corriente operación: 5mA
- Voltaje de la señal de salida: 0 a 5V (Analógico)
- Modelo: capacitive soil moisture sensor v1.2
- Vida útil: 3 años mín.
- Conector: PH2.0-3P
- Incluye: Electrodo y cable jumper hembra
- Dimensiones: 98*23 mm
- Peso: 15 gramos

Figura 21. Sensor de humedad de suelo capacitivo V1.2. **Fuente**: Propia

12.4.3 Sensor de humedad y temperatura ambiente DHT22

En la Figura 22 se observa el sensor DHT22 el cual nos permite medir la temperatura y humedad ambiente, este se utiliza comúnmente en proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Recolecta temperaturas en grados Celsius entre -40 y 80 grados, y lecturas de humedad relativa entre 0 y 100%. Es un dispositivo pequeño y económico que se conecta a un microcontrolador y se comunica mediante protocolo SPI (DHT22 - Sigma Electrónica, 2024). Cuyas características son:

- Voltaje de Operación: 3.3 a 5.5V
- Rango de Temperatura de -40 a 80°C
- Rango de Humedad de 0 a 99.9% de Humedad Relativa.
- Incluye cable de conexión de 3 hilos.

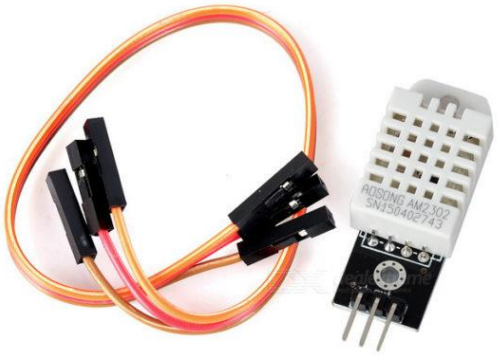

Figura 22. Sensor de temperatura y humedad ambiente DHT22. **Fuente**: Propia

12.4.4 Conexión electroválvula 12v

La Electroválvula 12VDC (Figura 23) es un dispositivo electromecánico que se utiliza para controlar el flujo de líquidos o gases mediante una señal eléctrica. Está compuesta por dos partes principales: un solenoide (una bobina de alambre que, al recibir corriente eléctrica, genera un campo magnético) y un cuerpo de válvula que regula el paso del fluido. Cuando la bobina es energizada, el campo magnético creado mueve un pistón o émbolo dentro de la válvula, abriéndola o cerrándola para permitir o detener el flujo del fluido (Electroválvula - Electronilab, 2024). Esta electroválvula deja pasar el flujo del agua cada que la tierra se encuentra baja de humedad, este porcentaje de humedad lo decide el usuario, Y cuyas características son:

- Presión de trabajo: 0.02 Mpa – 0.8 Mpa
- Temperatura de trabajo: 1 ℃ – 75 ℃
- Tiempo de respuesta (open): ≤ 0.15 sec
- Tiempo de respuesta (close): ≤ 0.3 sec
- Voltaje de actuación: 12VDC
- Vida útil: ≥ 50 millones de ciclos

Figura 23. Electroválvula 12VDC normalmente cerrada. **Fuente**: Propia

12.4.5 Sensor de nutriente de suelo NPK

En la Figura 24 se observa el sensor NPK, este permite obtener los niveles de los nutrientes de diferentes tipos de suelo, específicamente nitrógeno, fósforo y potasio. La referencia empleada es el modelo NPK-RS485-12V, el cual se alimenta con 5V y entrega una salida RS485. Dado que el microcontrolador no puede leer directamente este tipo de señal, se integró un módulo conversor TTL a RS485 (MAX485) para procesar las lecturas. Para verificar la precisión de los datos obtenidos de este sensor se tomaron 100 muestras por cada prueba, a 10cm, 30cm, 50cm con poca humedad de suelo y también con mucha humedad del suelo.

Figura 24. Sensor NPK usado en el proyecto. **Fuente**: Propia

Figura 25. Primera prueba en laboratorio con muestra de tierra a 10cm de profundidad con poca humedad. **Fuente**: Propia

Figura 26. Segunda prueba en laboratorio con muestra de tierra a 30cm de profundidad con poca humedad. **Fuente**: Propia

Figura 27. Tercera prueba en laboratorio con muestra de tierra a 50cm de profundidad con poca humedad. **Fuente**: Propia

Figura 28. Cuarta prueba en laboratorio con muestra de tierra a 10cm de profundidad con mucha humedad. **Fuente**: Propia

Figura 29. Quinta prueba en laboratorio con muestra de tierra a 30cm de profundidad con mucha humedad. **Fuente**: Propia

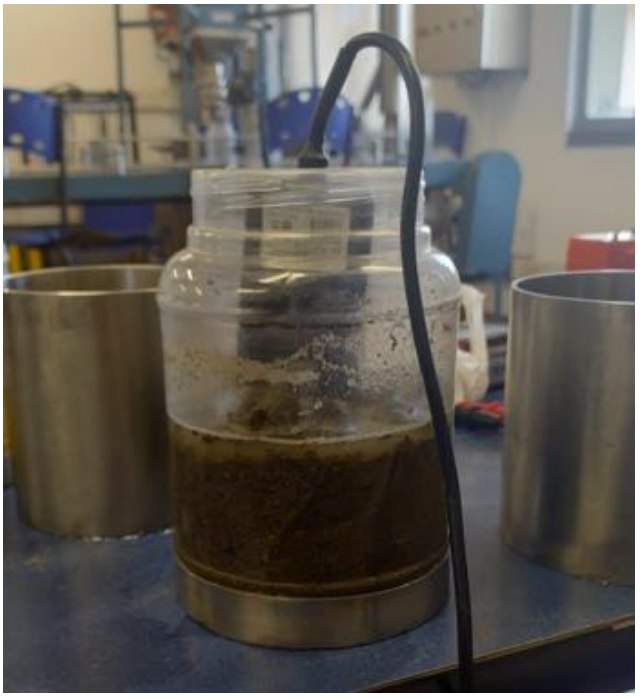

Figura 30. Sexta prueba en laboratorio con muestra de tierra a 50cm de profundidad con mucha humedad. **Fuente**: Propia

El análisis del sensor NPK se llevó a cabo a tres profundidades del suelo: 10 cm, 30 cm y 50 cm. Además, se evaluó la influencia de la humedad, comparando los niveles de nutrientes bajo condiciones de humedad normal y alta. Se recolectaron 100 muestras por cada profundidad de análisis, con un intervalo de 5 segundos entre cada medición.

En la figura 31 se muestra la relación entre el nivel de nitrógeno y la profundidad, donde se observa que, a mayor profundidad, el nivel de nitrógeno aumenta, especialmente en suelos con mayor humedad. Esto se debe a que el sensor obtiene lecturas más precisas cuando hay mayor continuidad en el terreno. Un comportamiento similar se refleja en los niveles de fósforo y potasio, como se ilustra en las figuras 31 y 32.

Se concluye que, para obtener lecturas más precisas del sensor, es recomendable humedecer ligeramente el suelo antes de la medición. Además, se observó que el suelo a mayor profundidad contiene niveles más altos de nutrientes, lo que sugiere una correlación entre la profundidad y la concentración de nutrientes en el terreno.

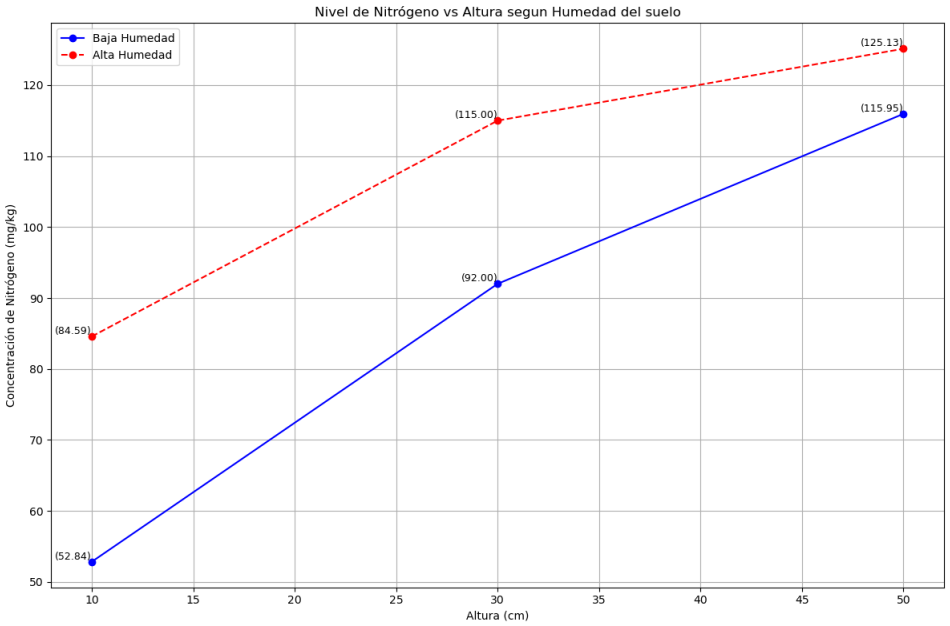

Figura 31. Nivel de nitrógeno vs altura según humedad del suelo. **Fuente**: Propia

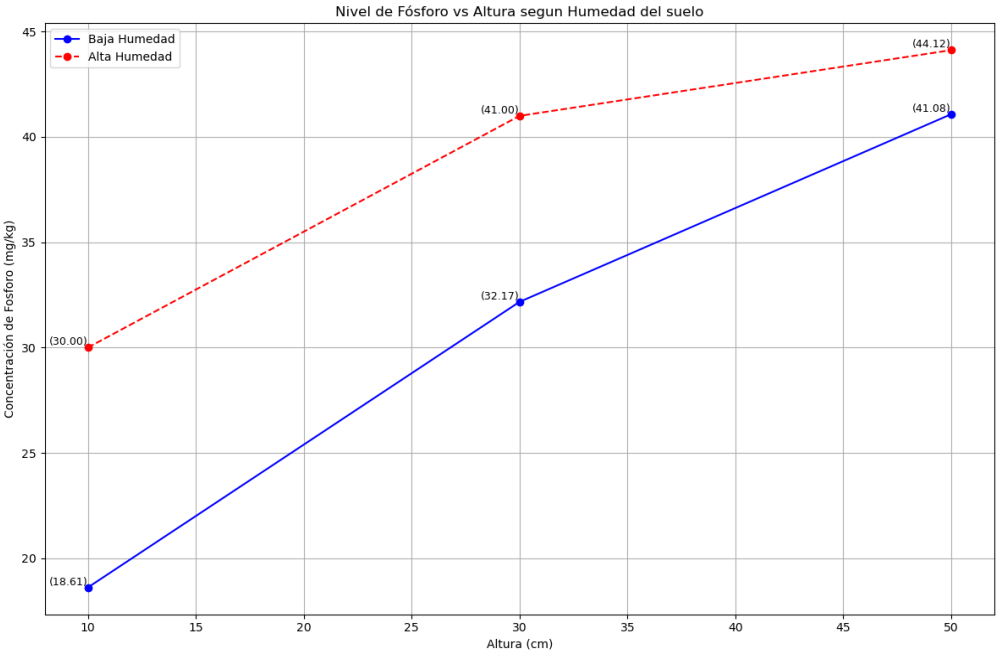

Figura 32. Nivel de fósforo vs altura según humedad del suelo. **Fuente**: Propia

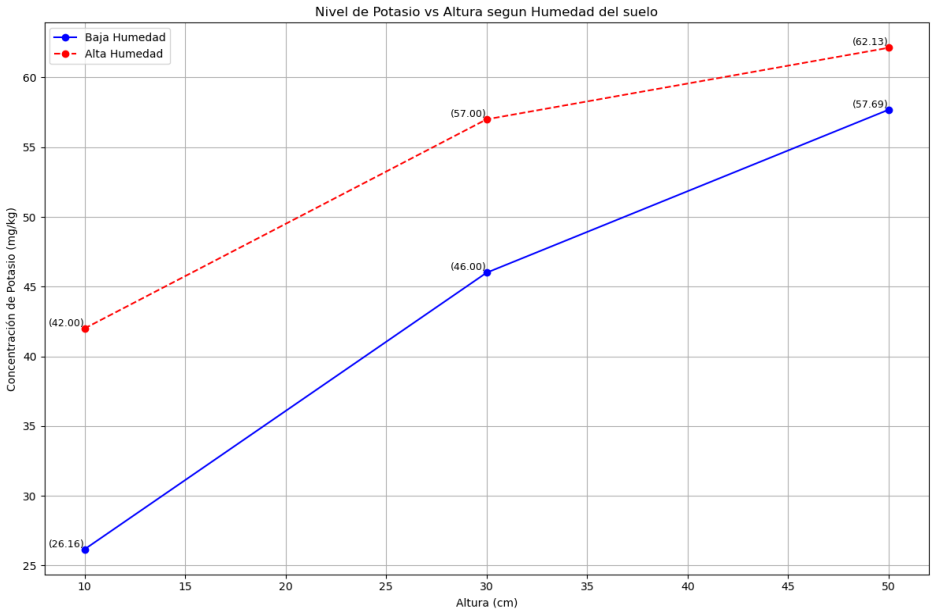

Figura 33. Nivel de potasio vs altura según humedad del suelo. **Fuente**: Propia

12.4.6 Sensor turbidez de agua VIS1698

En la Figura 34 se observa el sensor de turbidez que mide la turbidez del agua, permitiendo evaluar la calidad del agua utilizada en el riego de la huerta. En este estudio, se tomaron 3000 datos con el fin de calibrar de manera efectiva el sensor, distribuidas en tres categorías de calidad del agua para determinar cómo el nivel de suciedad afecta las lecturas del sensor.

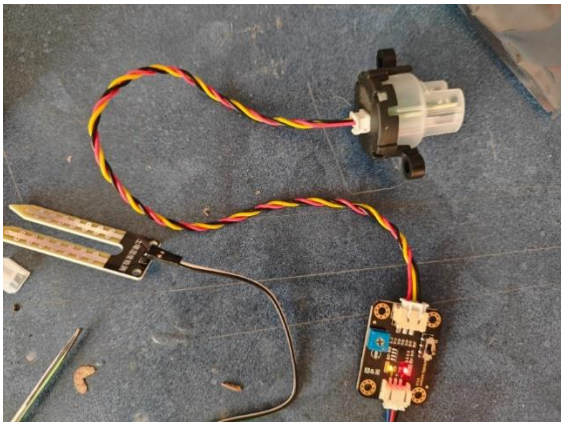

Figura 34. Sensor turbidez VIS1698. **Fuente**: Propia

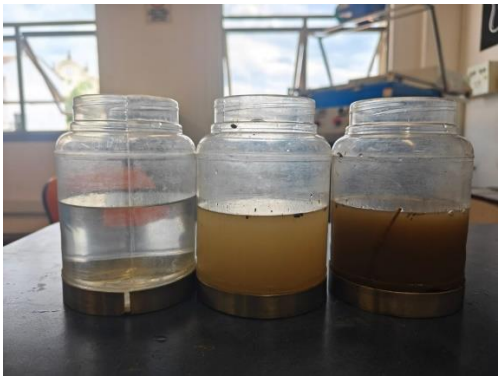

Figura 35. Tres tipos de agua usados para la calibración de los sensores. **Fuente**: Propia

Figura 36. Agua limpia con valor promedio de 0 de NTU. **Fuente**: Propia

Figura 37. Agua sucia con valor promedio de 1260.20 de NTU. **Fuente**: Propia

Figura 38. Agua sucia con valor promedio de 2402.84 de NTU. **Fuente**: Propia

Los datos obtenidos fueron analizados calculando la media para cada categoría y graficados. La figura 39 muestra la comparación de las Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU) para cada tipo de muestra. Para poder saber cuál es el valor óptimo de NTU que debe tener el agua, para que sea optimo el sistema de riego por goteo, asi como tambien a través de filtro que tiene la electroválvula, se realizó un análisis visual del agua, y los resultados indican que la calidad óptima del agua para riego debe ser inferior a 300 NTU.

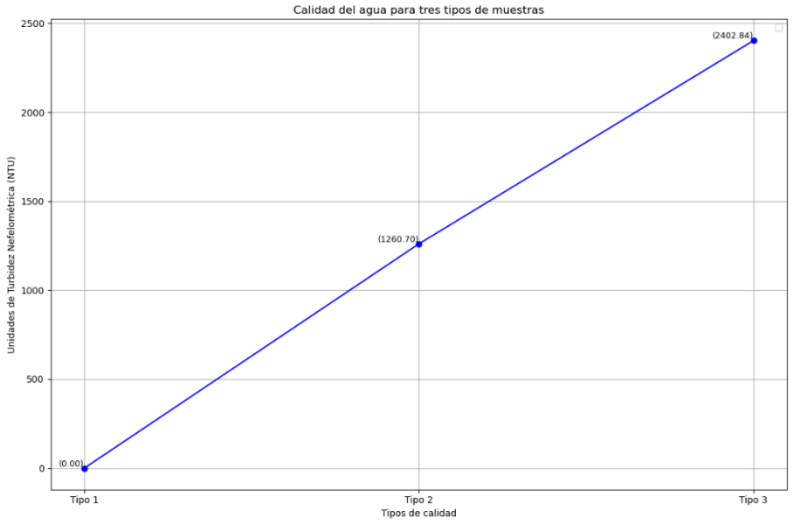

Figura 39. Cantidad de NTU en los tres tipos de calidad de agua. **Fuente**: Propia

12.4.7 Protocolo de comunicación Lora

Siguiendo los criterios establecidos para el desarrollo del prototipo, se seleccionó el módulo LoRa SX1278 433 MHz 10KM RA02 (Figura 40), cumpliendo con los requisitos detallados en la Tabla 1. Este módulo utiliza la tecnología de espectro ensanchado LoRa, que ofrece una capacidad de transmisión inalámbrica con un alcance teórico de hasta 10 kilómetros.

Tabla 9. Características técnicas que aprueban la selección del módulo. **Fuente.** Propia

Características técnicas del Módulo LoRa SX1278 Ra-02 433MHz	
Voltaje de funcionamiento	1,8 - 3,7V, 3.3V por defecto
Corriente de trabajo	menos de 10.8mA
Transmisión	menos de 120mA
Modo de suspensión	0.2uA
Temperatura de trabajo	-40ºC a 85°C

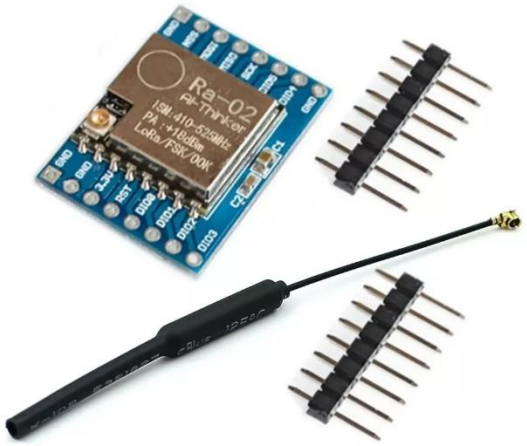

Figura 40. Modulo Lora SX178 433MHz 10KM RA02 + Antena. **Fuente.** Propia

Para la implementación y pruebas de comunicación mediante el módulo LoRa, se seleccionó la librería LoRa desarrollada por Sandeep Mistry (Mistry, S. (s/f), 2024), disponible en el gestor de librerías de Arduino. Inicialmente, se intentó utilizar la librería LoRaLib, recomendada en varios tutoriales debido a sus amplias funcionalidades y versatilidad. Sin embargo, al revisar su repositorio, se verificó que LoRaLib ya no es compatible con versiones recientes, lo que motivó el cambio hacia la librería de Sandeep Mistry. Esta última ofrece un soporte estable y ejemplos prácticos que simplifican el proceso de configuración y pruebas.

Los ejemplos incluidos en la librería LoRa de Sandeep Mistry fueron útiles como punto de partida, ya que contienen código de referencia básico para configurar la transmisión y recepción de datos mediante el protocolo LoRa. En el código de referencia (Figura 41), se estableció una estructura fundamental para la transmisión de datos, en la que la función LoRa.beginPacket(); inicia el envío del paquete, y LoRa.endPacket(); finaliza la transmisión, enviando el contenido que se encuentra entre ambas instrucciones. Para esta prueba inicial, se envió el mensaje "hello" junto con una variable de conteo llamada counter, que facilita la verificación del flujo de datos en cada transmisión.

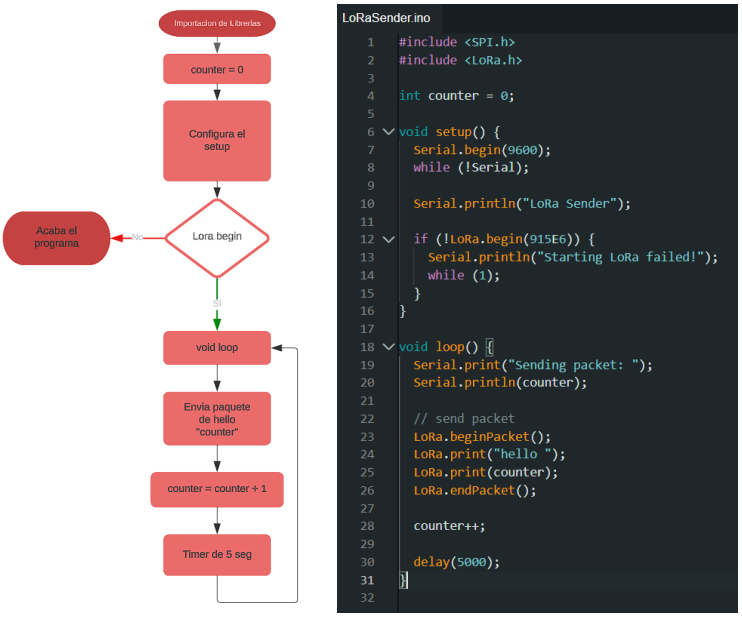

Figura 41. Ejemplo de código de la Librería LoRa para Transmisión y diagrama de flujo. **Fuente:** Propia.

En términos de ajustes específicos, es necesario modificar la frecuencia de transmisión configurada en la instrucción LoRa.begin(915E6), que originalmente está establecida para 915 MHz, adaptándola a 433 MHz, que es la frecuencia de operación del módulo SX1278 utilizado en el proyecto. Este cambio fue fundamental, ya que la frecuencia incorrecta impediría la comunicación efectiva entre dispositivos y comprometería el desempeño del sistema.

Con esta configuración ajustada, se realizaron varias pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la estabilidad de la transmisión de datos a través del módulo LoRa en la frecuencia adecuada. Las pruebas realizadas arrojaron resultados satisfactorios, con un rango de comunicación de aproximadamente 1 km en áreas con obstáculos y hasta 3 km en línea de vista despejada. Adicionalmente, se evaluó la duración de la batería, logrando una operación continua de aproximadamente 36 horas sin recarga. Estos resultados confirman la efectividad del módulo LoRa en el prototipo, tanto en términos de alcance como de autonomía, antes de agotarse. Estos resultados confirman la viabilidad y eficacia de nuestro prototipo.

Tabla 10. Pines implementados tanto del SX1278 como del Arduino Uno. **Fuente:** Propia

Pin del LoRa SX1278	Pin del Arduino Uno	Descripción
MOSI	Pin 11	Envía información del Arduino al LoRa.
MISO	Pin 12	Recibe información del LoRa hacia el Arduino.
SCK	Pin 13	Marca el ritmo de envío y recepción de información entre el Arduino y el LoRa.
NSS (CS)	Pin 10	Activa la comunicación entre el Arduino y el LoRa.
RST	Pin 9	Permite reiniciar el módulo LoRa si es necesario.
DIO0	Pin 2	Indica al Arduino cuando el LoRa recibe un mensaje.
VCC	3.3V	Proporciona energía al módulo LoRa.
GND	GND	Conecta el módulo LoRa y el Arduino a tierra (negativo).

La Tabla 10 presenta los pines necesarios para la correcta operación del módulo LoRa, junto con una breve descripción de la funcionalidad de cada uno. Estos pines cumplen roles específicos dentro del sistema, facilitando la comunicación y el control del módulo. La identificación clara de cada pin y su propósito permite una conexión precisa y efectiva, optimizando así el desempeño del sistema y minimizando posibles errores de conexión o configuración.

12.4.8 Panel solar

En la Figura 42 se observa el panel implementado, este dispositivo convierte la energía solar en electricidad continua. Se utiliza para proporcionar energía a dispositivos electrónicos, como luces, cargadores de baterías y otros equipos de pequeña escala.

Características:

- TAMAÑO: 48.5 x 36 x 2.8 CM
- POTENCIA: 20 W

- VOLTIOS: 18.5 V
- CORRIENTE MÁXIMA: 1.08 A
- VOLTAJE CIRCUITO ABIERTO: 22.1 A
- CORRIENTE CORTOCIRCUITO: 1.16 A
- TENSIÓIN MÁXIMA DEL SISTEMA: 1000 V
- EFICIENCIA DE LA CELDA: 16.30
- EFICIENCIA DEL MÓDULO: 11.45
- RANGO TEMPERATURA: 45C A -2C
- MARCO: ALUMINIO
- PESO: 2.3 KG

Figura 42. Panel solar de 20W. **Fuente:** Propia.

12.4.9 Otros componentes electrónicos

Estos componentes son necesarios para la adaptación de las señales de algunos sensores, así como, la regulación de la alimentación del dispositivo, mediante reguladores de voltaje, que van de la batería a los sensores, microcontroladores, electroválvula y la regulación del voltaje del panel hacia la batería.

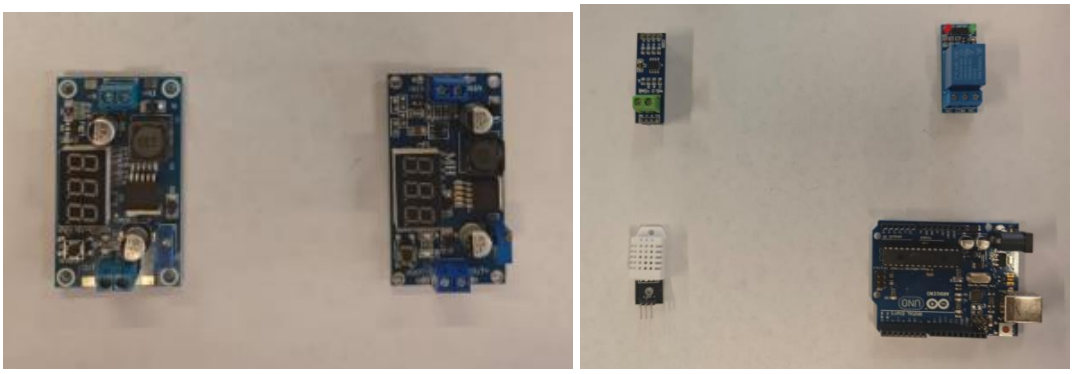

Figura 43. Otros componentes electrónicos: XL6009, LM2596, Rele 5v, DHT22, Modulo RS485 a TTL y un Arduino uno R3. **Fuente:** Propia.

Figura 44. Electroválvula y batería de 6.5v. **Fuente:** Propia.

12.5 Esquema eléctrico del prototipo

La figura 45 ~~se~~ evidencia el esquemático de conexiones electrónicas y eléctricas de los dispositivos de control. Para la visualización correcta de la figura se encuentra en la sección de anexos. (Ver anexo A).

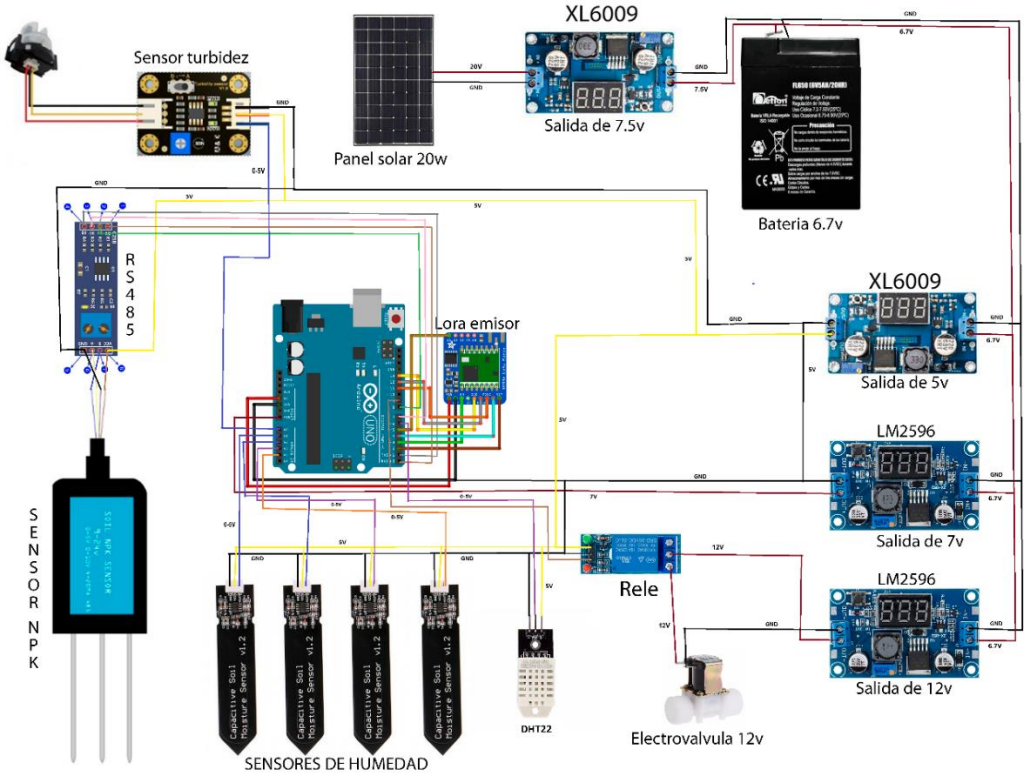

Figura 45. Diagrama eléctrico del prototipo. **Fuente:** Propia.

12.6 Diagrama de flujo del código Arduino del prototipo

A continuación, se muestra en la figura 46 el diagrama de flujo del prototipo.

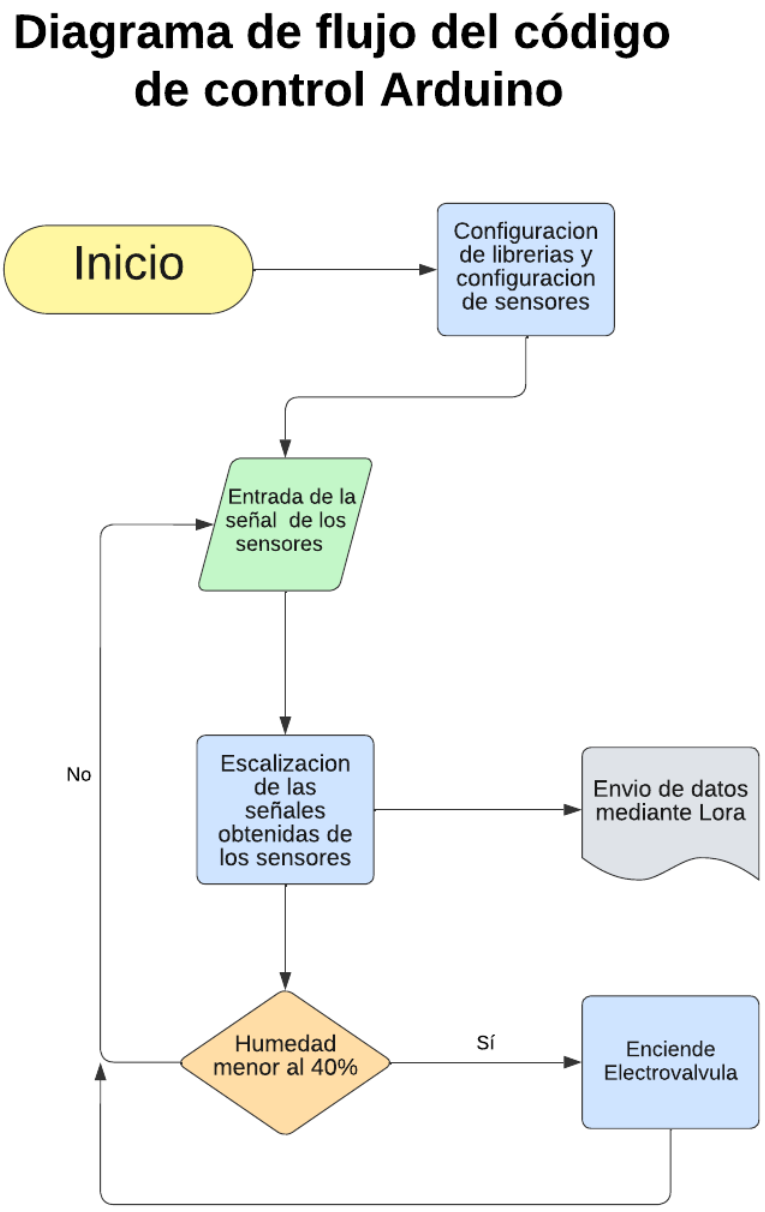

Figura 46. Diagrama de flujo del código del prototipo. **Fuente:** Propia.

El código del sistema monitorea diversas variables del entorno mediante sensores. Utiliza un DHT22 para medir temperatura y humedad relativa del aire, cuatro sensores analógicos para medir la humedad del suelo en diferentes puntos, un sensor de turbidez para evaluar la calidad del agua, y un módulo RS485 para leer los valores de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo.

El sistema recopila datos y calcula un promedio de la humedad del suelo, que, junto con los valores de nutrientes y la turbidez del agua, se imprimen en el monitor serial y se envían a través del protocolo de comunicación lora. Además, controla una motobomba que se activa cuando la humedad de cualquiera de los sensores es inferior al 60%.

12.7 Diseño de la PCB

Como se menciona en el marco teórico una PCB es sumamente importante para este prototipo, ya que al implementarse eliminamos cableado excesivo, así como la facilidad de colocar conectores rápidos, eliminar ruidos en las señales y que así sean más precisas las mediciones.

Para la elaboración de la PCB de este prototipo se usó el programa Proteus 8, en el cual se diseñó del diagrama de conexión de cada componente, así como el diseño de la PCB, se muestra en las figuras 47, 48, 49 y 50.

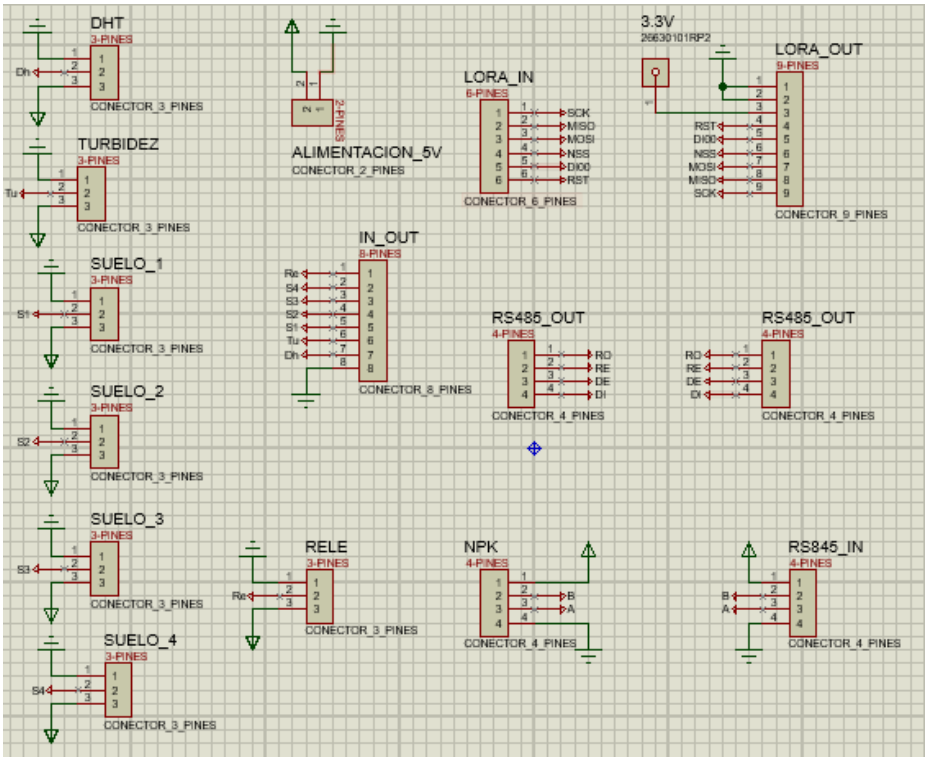

Figura 47. Diseño del circuito en el programa Proteus. **Fuente**: Propia

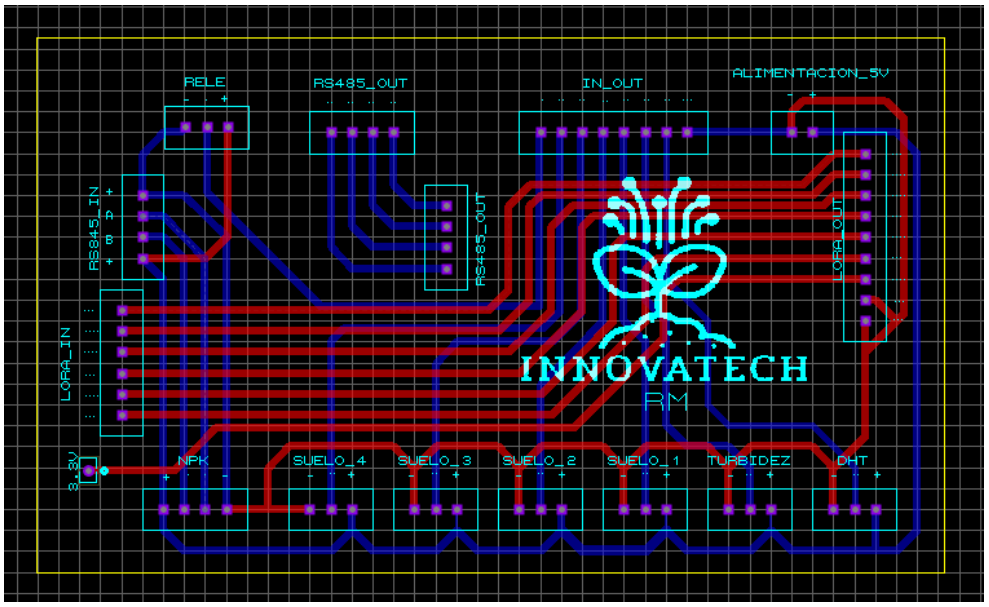

Figura 48. Diseño de la PCB en el programa Proteus. **Fuente**: Propia

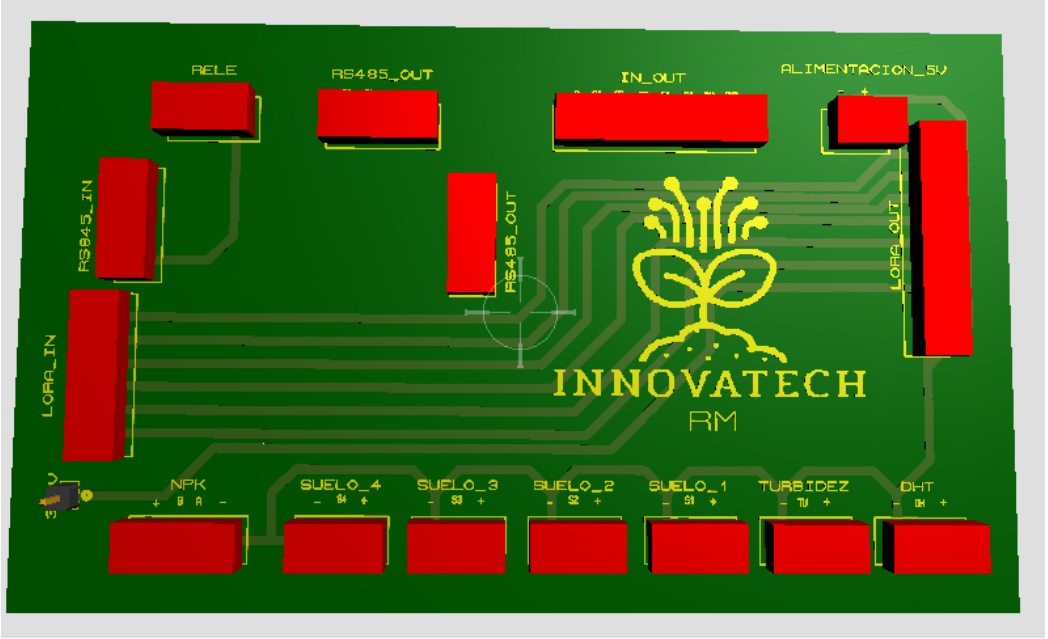

Figura 49. Visualización de la PCB parte frontal. **Fuente**: Propia

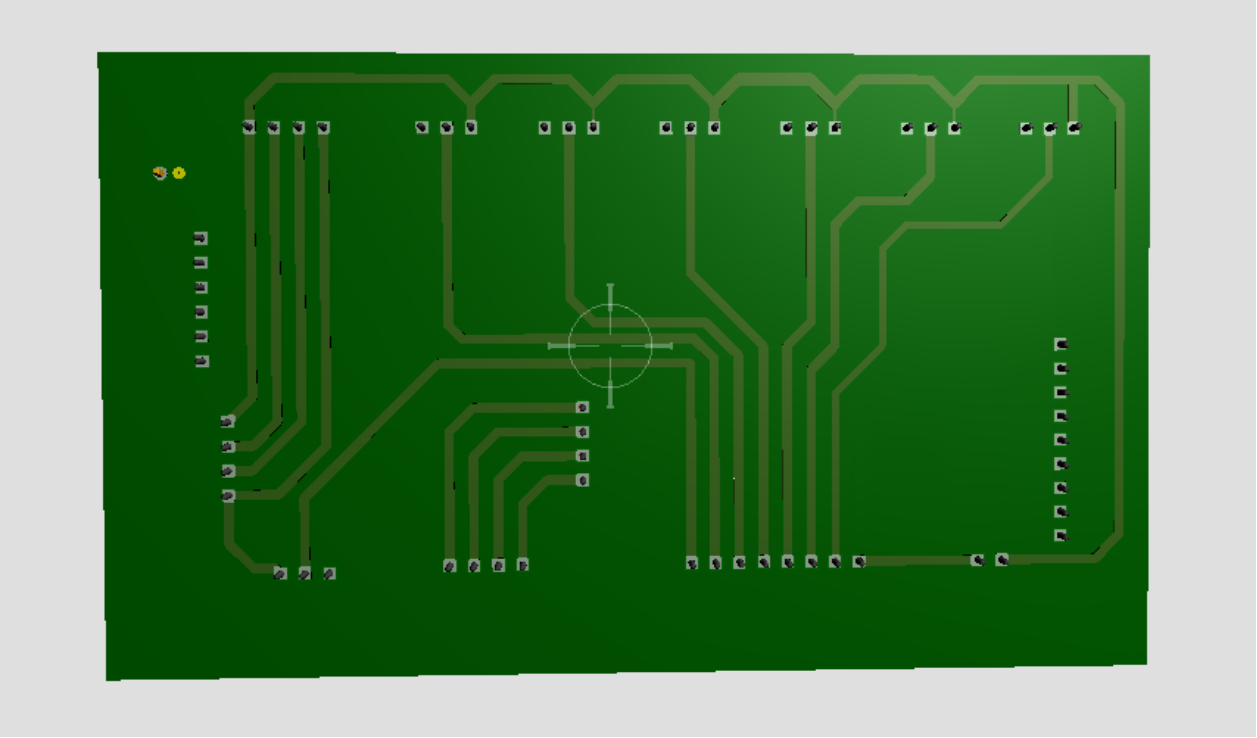

Figura 50. Visualización de la PCB parte trasera. **Fuente**: Propia

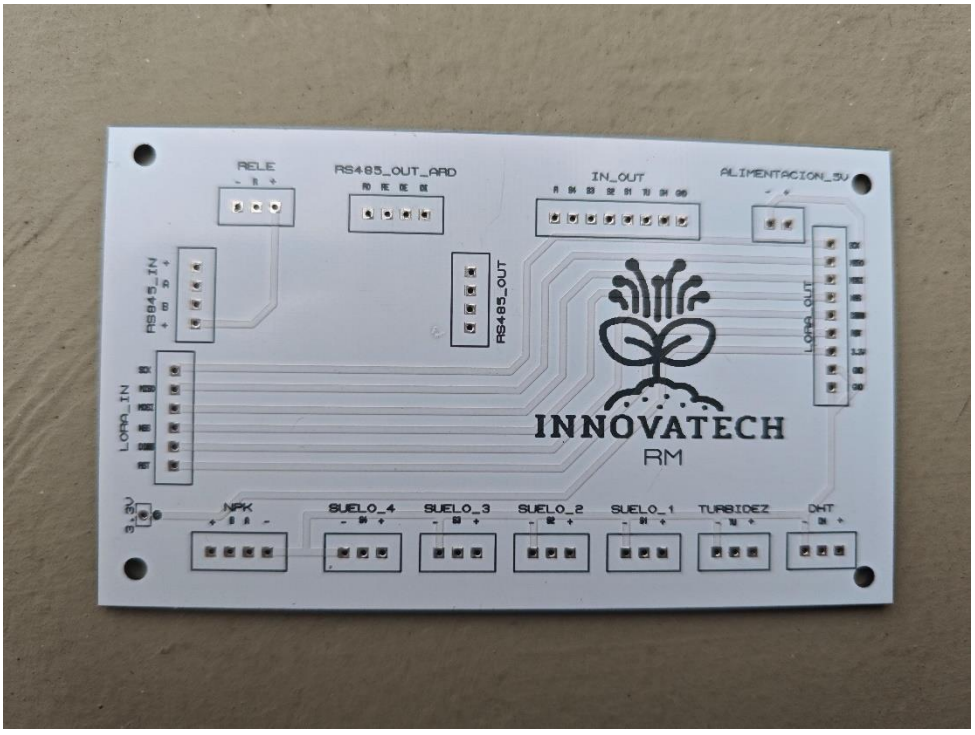

Figura 51. Visualización de la PCB ya impresa. **Fuente**: Propia

12.8 Diseños para impresión 3D de cada módulo y prototipo

El diseño de modelos 3D para cada módulo se centra en proporcionar una protección robusta ante condiciones ambientales adversas, tales como la exposición prolongada al sol y la lluvia, factores que podrían afectar negativamente el rendimiento y durabilidad del sistema. Con este propósito, se desarrollaron modelos específicos para resguardar los sensores y la electroválvula, asegurando que cada componente esté adecuadamente protegido. El proceso de diseño comenzó con una serie de mediciones precisas de cada elemento para garantizar un ajuste exacto, seguido de la creación de los modelos en CAD utilizando el software Inventor 2023. En la Tabla 11 se observa el paso a paso que se siguió para realizar cada impresión.

Tabla 11. Proceso paso a paso para la realización de las impresiones 3D. **Fuente:** Propia.

No.	Paso	Descripción
1	Medición de cada dispositivo	Se realizó una medición precisa de cada dispositivo utilizando un pie de rey, para obtener las dimensiones exactas que asegurarán un ajuste óptimo en el diseño final.
2	Boceto a mano alzada de las mediciones	Con las medidas tomadas, se elaboraron bocetos preliminares a mano, permitiendo visualizar y conceptualizar las formas y proporciones del diseño protector antes de digitalizarlo.
3	Desarrollo del diseño protector en Inventor 2023	Se creó el diseño detallado del protector en el software CAD Inventor 2023, basado en los bocetos y medidas obtenidos, asegurando un ajuste preciso para cada componente.
4	Ajuste del diseño en laminador Orca Slicer	El diseño final fue ajustado en el software de laminado Orca Slicer, donde se optimizaron parámetros de impresión, como la densidad de relleno y la altura de capa, para un equilibrio entre resistencia y calidad de impresión.
5	Configuración de la impresora Ender 3 V3 KE	Se preparó la impresora Ender 3 V3 KE, seleccionando el material PLA y ajustando los parámetros de impresión específicos (temperatura, velocidad, etc.) para obtener resultados óptimos de acuerdo con el diseño laminado.
6	Limpieza de pieza y postprocesado	Tras la impresión, se llevó a cabo la limpieza de la pieza y un postprocesado utilizando primer y pintura automotriz, para mejorar la resistencia y el acabado estético de la pieza final.

En la figura 51 se observa el boceto del protector de la electroválvula, en las figuras 52 y 53 se puede observar el proceso completo llevado a cabo para la fabricación de los protectores de la electroválvula, siguiendo el mismo paso a paso utilizado en los demás diseños. Este proceso asegura que cada componente tenga la protección adecuada, respetando las dimensiones y especificaciones requeridas para su funcionamiento en el prototipo.

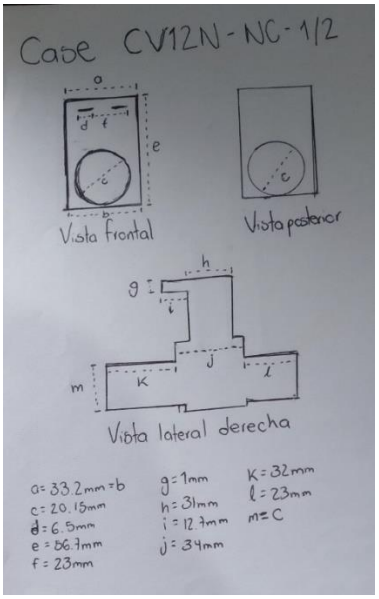

Figura 51. Boceto de la electroválvula de 12V. **Fuente**: Propia.

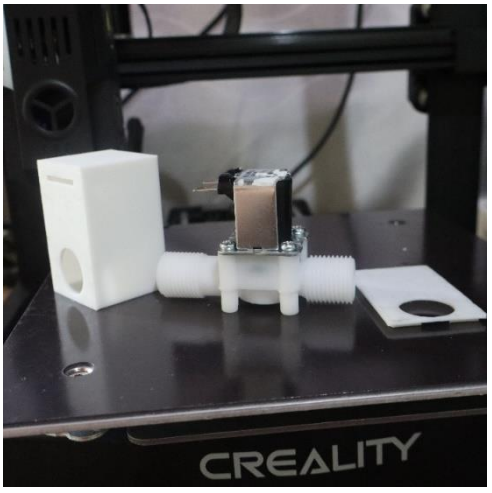

Figura 52. Diseño impreso en 3D junto a la electroválvula de 12V. **Fuente**: Propia.

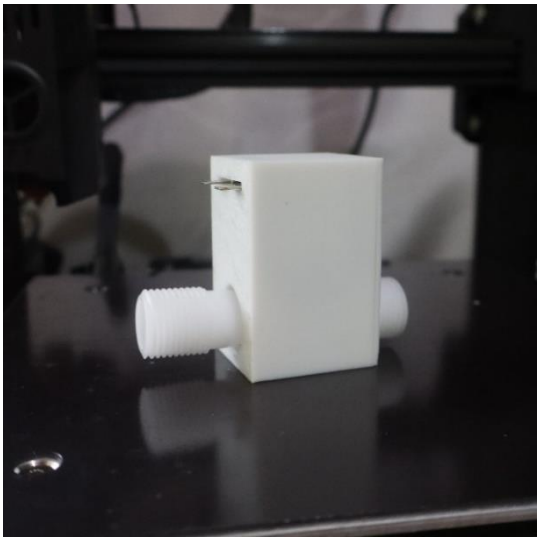

Figura 53. Diseño impreso en 3D montada en la electroválvula. **Fuente**: Propia.

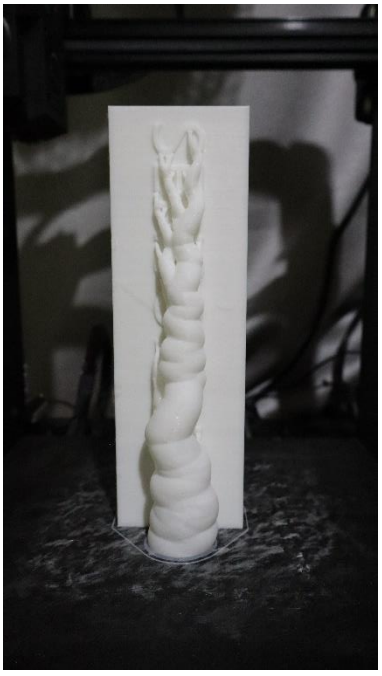

Figura 54. Impresión de diseño de caja para sensor NPK. **Fuente:** Propia

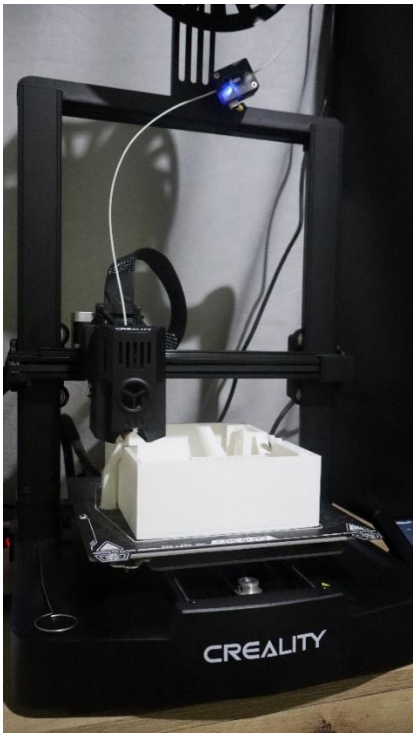

Figura 55. Impresión de diseño de caja para almacenamiento de control. **Fuente:** Propia

En los distintos modelos impresos, se utilizó una densidad de relleno del 10% como configuración estándar. Sin embargo, para la impresión de la caja principal, se consideraron las necesidades específicas del diseño, dado que este componente debe soportar el peso y las fuerzas generadas por todos los elementos integrados en el sistema. Por esta razón, se incrementó la densidad de relleno al 50%, garantizando una estructura más robusta y resistente, capaz de cumplir con los requerimientos mecánicos. En la sección de anexos se encuentra el código g de cada pieza diseñada y las imágenes de las demás piezas. (Ver anexo B).

12.9 Análisis de tensión de la caja de control principal

Para realizar el análisis de tensión de la caja de control del prototipo, inicialmente se definió el material PLA (ácido poliláctico) en Autodesk Inventor Professional 2023 (Figura 56),

asignándole sus características físicas necesarias para el estudio. Entre los datos requeridos para la simulación se incluyeron:

- **Módulo de Young**: Representa la relación entre la tensión y la deformación en el rango elástico del material, indicando su rigidez.

- **Densidad**: Es la relación entre la masa y el volumen del material, fundamental para calcular cargas y peso del diseño.

- **Límite de elasticidad**: Define la máxima tensión que el material puede soportar sin sufrir deformación permanente.

- **Resistencia máxima a tracción**: Es el valor máximo de tensión que el material puede resistir antes de fracturarse.

Para obtener estas propiedades, se utilizó la base de datos Mathweb (Overview of Materials for Polylactic Acid (PLA) Biopolymer, s. f., 2024), la cual permite una búsqueda eficiente de parámetros materiales. Posteriormente, se aplicó una carga de 200 N al modelo, ajustada a partir de la carga real de 50 N calculada con la fórmula $F=m\cdot g$, donde la masa de la caja de control es de 5 kg y la aceleración debida a la gravedad es 10m/s^2 . El ajuste realizado permitió obtener un valor visible del coeficiente de seguridad en el software, resultando en un factor de seguridad de 6.9 (Tabla 11), lo que garantiza la confiabilidad estructural del diseño bajo las condiciones evaluadas.

Figura 56. Creación del material PLA en Inventor. **Fuente:** Propia

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	793931 mm^3	
Masa	0,984474 kg	
Tensión de Von Mises	0,0011534 MPa	7,9635 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,515711 mm
Coeficiente de seguridad	6,90651 su	15 su

Tabla 11. Resumen del resultado de análisis de tensión. **Fuente:** Propia.

En la Figura 57 se muestran los puntos fijos de la caja de control, representados por los dos orificios circulares de la caja. Además, se identifican las caras donde se aplican las cargas correspondientes, tanto la de gravedad como el peso de los componentes internos del prototipo. En este caso, la carga de gravedad se aplica en la cara superior, indicada por una sola flecha, mientras que la carga de los componentes internos se aplica en la cara de color azul, representada por dos flechas.

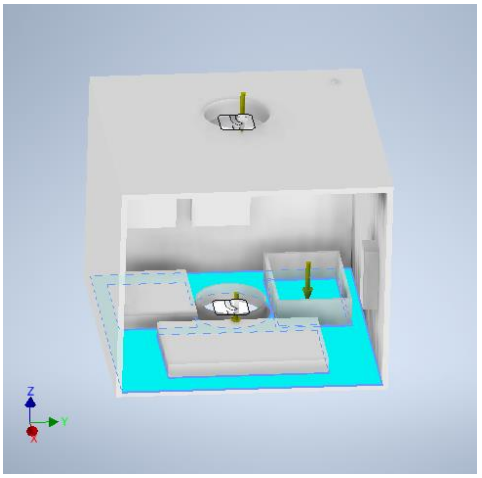

Figura 57. Caras seleccionadas. **Fuente:** Propia

En la Figura 58, la tensión de Von Mises no supera el límite de elasticidad del PLA que según la base de datos es de 55 MPa, lo que indica que la caja no experimentará deformaciones

plásticas bajo las condiciones de carga evaluadas. En la sección de anexos se encuentra el informe de análisis que genera el software Inventor. (Ver anexo C).

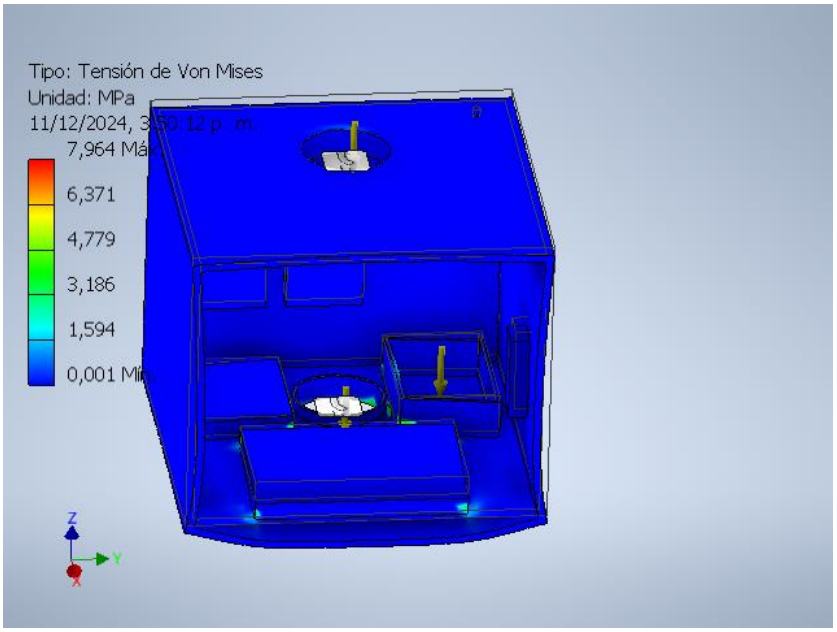

Figura 58. Tensión de Von Mises. **Fuente:** Propia

En la Figura 59, se muestra el desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza, con un valor máximo de 0.5157 mm, lo cual es aceptable, considerando que se está evaluando una carga cuatro veces superior a la que la estructura soportará en condiciones reales.

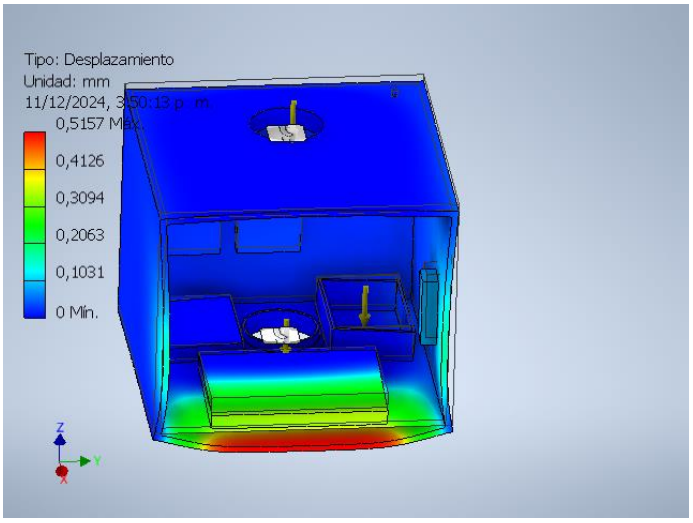

Figura 59. Desplazamiento. **Fuente:** Propia

Finalmente, en la Figura 60, el coeficiente de seguridad calculado es 6.91, lo que significa que la estructura puede soportar una carga máxima seis veces superior a la carga esperada. Es valor es obteniendo mediante la división del límite de elasticidad del material y la tensión de Von Mises.

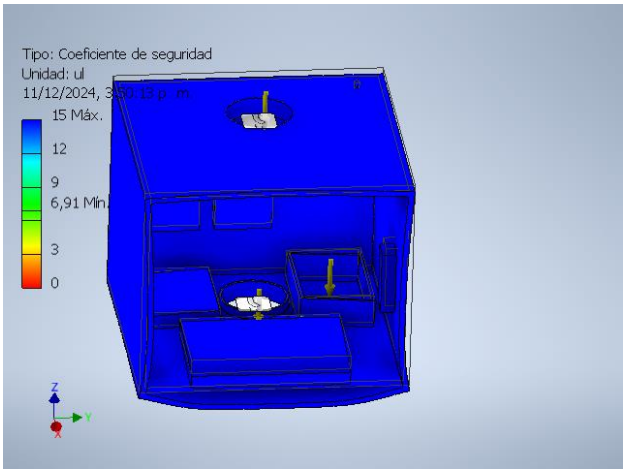

Figura 60. Coeficiente de seguridad. **Fuente:** Propia.

12.10 Desarrollo de aplicativo móvil (APK)

El desarrollo del aplicativo móvil tiene como propósito principal permitir la visualización de los datos capturados desde un prototipo, mediante comunicación Bluetooth entre el Arduino Uno y el módulo HC-05. La interfaz debe ser intuitiva y fácil de usar, ofreciendo funcionalidades clave como visualización de datos en tiempo real, almacenamiento de información y monitoreo continuo del prototipo. Estas características facilitan el análisis y el seguimiento de los parámetros operativos del sistema, mejorando la experiencia del usuario al interactuar con el dispositivo.

Considerando los requisitos específicos del aplicativo, se eligió App Inventor como plataforma de desarrollo, ya que es una herramienta visual que permite diseñar y programar aplicaciones móviles (APK) de manera eficiente y sin complejidad. Esta elección fue motivada por la facilidad de uso que ofrece App Inventor, especialmente en la integración de módulos Bluetooth 2.0 como el HC-05, lo que resulta fundamental para la conexión con el hardware del prototipo.

Inicialmente, se contempló el desarrollo en React Native debido a su versatilidad y rendimiento en aplicaciones móviles multiplataforma. Sin embargo, surgieron limitaciones técnicas al intentar integrar la conectividad Bluetooth 3.0, ya que React Native ofrece soporte nativo principalmente para Bluetooth 5.0. Adaptar el aplicativo a las especificaciones de Bluetooth 3.0 requeriría el uso de librerías externas, algunas de las cuales estaban desactualizadas o descontinuadas, dificultando así la compatibilidad y estabilidad del sistema.

Por estas razones, se decidió emplear App Inventor como la opción más adecuada, ya que ofrece una experiencia de desarrollo simplificada y cumple con los requisitos de comunicación Bluetooth de manera nativa. La plataforma permite diseñar aplicaciones funcionales en menos tiempo y con menor complejidad, maximizando así la eficiencia en el desarrollo del proyecto.

12.10.1 Diagrama de flujo aplicativo móvil.

En la Figura 61 se muestra el diagrama de flujo del aplicativo móvil. Al iniciar, la pantalla presenta una interfaz intuitiva y básica (Figura 62). Esta interfaz permanece inactiva hasta que el usuario se conecte al módulo Bluetooth y comienza a recibir datos. Una vez que se reciben los datos, la interfaz se actualiza automáticamente cada 3 segundos. Este comportamiento cambia cuando se presiona el botón de "Guardar", lo que inicia el proceso de almacenamiento de los datos recolectados. El proceso se detiene una vez transcurre el tiempo determinado o al presionar nuevamente el botón de "Guardar". Todo esto se descarga en el celular del usuario en un formato csv.

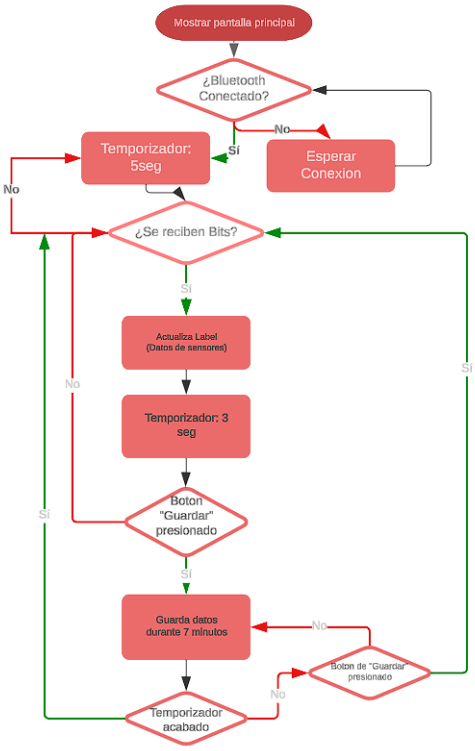

Figura 61. Diagrama de flujo del código del aplicativo móvil. **Fuente:** Propia.

Figura 62. Pantalla inicial del aplicativo móvil. **Fuente:** Propia.

12.11 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de implementación y pruebas del prototipo en la huerta. A través de las siguientes imágenes, se busca mostrar el progreso y las diferentes etapas del montaje del sistema, desde la preparación del terreno hasta la instalación de los componentes clave del prototipo. Estas imágenes ilustran tanto el montaje físico como el funcionamiento de los sensores y la infraestructura, proporcionando una visión integral del proyecto y cómo se va materializando en el entorno real. A través de esta sección, se evidencian los avances realizados y la validación de las funcionalidades del sistema en el campo.

En la Figura 63, se presenta una vista aérea tomada por un dron de la huerta donde se llevará a cabo la implementación de nuestro prototipo. Esta imagen proporciona una perspectiva más amplia y detallada del terreno, permitiendo comprender mejor las dimensiones del área y el lugar exacto donde se instalará el sistema, asegurando una planificación adecuada para su disposición, ya que el área que cubre el dispositivo es de 90m^2.

Figura 63: Vista aérea de la huerta donde se implementará el prototipo. **Fuente**: Propia.

La Figura 64, se muestra el proceso de apertura de las zanjas necesarias para enterrar el tubo por donde pasará todo el cableado del sistema. Este proceso se realizó con la colaboración de los estudiantes de grado 8 del Colegio El Zarzal. Este paso es esencial para proteger los cables y asegurar su integridad a largo plazo, evitando posibles daños por factores externos. En la Figura 65, se observa el avance de la instalación de la tubería, mostrando cómo se ha completado una gran parte del proceso. En la sección de anexos se encuentra una capacitación realizada a los estudiantes del grado sexto hasta noveno con el microcontrolador Arduino y algunos. (Ver anexo D).

Figura 64: Apertura de zanjas para enterrar el tubo de cableado. **Fuente**: Propia.

Figura 65: Instalación de la tubería para el cableado. **Fuente**: Propia

Ya con la tubería instalada se realizó la instalación tubo de acero que sirve como base de soporte para el prototipo (Figura 66). Este tubo fue enterrado a 60 cm de profundidad y rellenado

con una mezcla de cemento y arena delgada. Esta medida asegura la estabilidad del prototipo, protegiéndolo de caídas causadas por vientos fuertes o cualquier otro accidente en la huerta.

Figura 66: Tubo de acero enterrado y relleno, con instalación de la tubería y cableado interno. **Fuente**: Propia.

Y una vez instalado el prototipo completamente, la Figura 67 ilustra cómo se ve el tubo de soporte del prototipo y la tubería de cableado, Las imágenes de la Figura 68 y la Figura 69 muestran los sensores de humedad del suelo y NPK en funcionamiento, destacando la movilidad del sensor NPK, ya que este es desmontable, lo cual mediante un conector rápido se conecta y desconecta a la caja de control y tiene un rango de 3 metros a la redonda en el cual alcanza el cable, permitiendo medir los nutrientes del suelo en las distintas eras de la huerta.

Figura 67: Prototipo instalado en la huerta con diseño impreso en 3D posprocesado. **Fuente**: Propia.

Figura 68: Sensor de humedad de suelo en su área de trabajo. **Fuente**: Propia.

Figura 69: Sensor NPK en su área de trabajo. **Fuente**: Propia.

En la Figura 70, se muestra la electroválvula en funcionamiento, evidenciando cómo, a través de la gravedad, se impulsa el agua necesaria para el sistema de riego. Este paso es fundamental para validar la operación del sistema de riego, asegurando que el flujo de agua se gestione adecuadamente.

Figura 70: Funcionamiento de la electroválvula mediante llave de paso. **Fuente**: Propia.

La Figura 71 presenta una vista interna del prototipo, donde se pueden observar los componentes esenciales, tales como el microcontrolador Arduino Uno, la PCB diseñada, el módulo LoRa, la batería, y los módulos de subida y bajada de voltaje. Esta imagen valida el ensamblaje y la disposición de los elementos dentro de la estructura, asegurando que cada componente se encuentra correctamente instalado y listo para su operación.

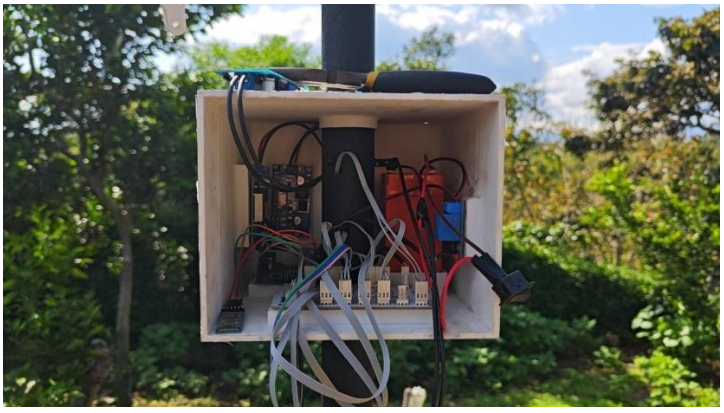

Figura 71: Perspectiva interna de la caja de control del prototipo. **Fuente**: Propia.

Finalmente, la Figura 72 se ilustra la interfaz de la aplicación móvil que permite visualizar los datos recolectados de los sensores, en este caso, la temperatura ambiente, humedad ambiente, la humedad del suelo, nitrógeno, fosforo, potasio y la turbidez. Y una interfaz básica para conectarnos al módulo bluetooth y adicional el botón de guardar que nos permite almacenar de manera interna los datos recolectados en un formato CSV.

Figura 72: Interfaz de visualización en la APK. **Fuente**: Propia.

13. CONCLUSIONES

El análisis DOFA de INNOVATECH RM destaca un fuerte potencial gracias a su innovación tecnológica, uso de energías renovables y facilidad de uso, que lo hacen atractivo para el sector agrícola. Las oportunidades de crecimiento son amplias, impulsadas por la demanda de soluciones sostenibles y apoyo gubernamental. Sin embargo, el proyecto enfrenta desafíos como la dependencia tecnológica, altos costos iniciales y competencia en el mercado. Una de las debilidades más críticas, es la falta de experiencia de mercado: Aunque el proyecto está bien planteado, la falta de experiencia previa en el mercado podría presentar desafíos en términos de competencia y penetración en el sector agrícola. Superar estas debilidades y gestionar las amenazas externas será crucial para el éxito y expansión del proyecto, todo esto aprovechando una de las mayores oportunidades y fortalezas que presenta esta Startup como lo es la facilidad de uso del prototipo y mantenimiento, lo que mejora su aceptación entre usuarios con poca experiencia técnica, y que no hay competencia directa en la región del Cauca.

El benchmarking realizado evidencia que el proyecto tiene un fuerte potencial competitivo. A nivel nacional, existen pocas empresas que ofrecen soluciones de agricultura de precisión como las que se proponen, y a nivel regional existen empresas como Mocli o Beetic, pero no son competidores directos ya que se dedican a otras áreas de la agricultura de precisión. Esto representa una ventaja estratégica significativa para establecerse en el mercado local. Aprovechando esta oportunidad y enfocándose en la diferenciación tecnológica y sostenibilidad, el proyecto puede posicionarse rápidamente. Sin embargo, es fundamental abordar los desafíos técnicos y financieros para asegurar un crecimiento sólido y sostenible.

La elaboración del prototipo en el Colegio El Zarzal tuvo un costo elevado de 7.923.039$ pesos colombianos, principalmente debido al tiempo invertido en el desarrollo que fue de 5.970.000$ pesos colombianos esto en los costos fijos. Y los elementos tecnológicos utilizados con un valor de 1.953.039$ de pesos colombianos. El diseño y la implementación personalizada requeridos para la creación del sistema fueron los factores más costosos. Sin embargo, al producirse

en masa, estos costos se reducirían significativamente, ya que los gastos asociados al tiempo de desarrollo se distribuyen y optimizan, haciendo que la tecnología empleada sea más asequible y viable para su aplicación a mayor escala.

El proyecto logró cumplir completamente con los requerimientos iniciales planteados. El prototipo fue desarrollado y entregado con éxito, integrando todas las funciones necesarias, exceptuando el sistema de riego debido, a que no se logró financiar el tanque de agua que nos permitiría implementar este riego, lo cual nos afectó para poder realizar el análisis del ahorro del sistema de riego por goteo. Pera la medición efectiva de las variables del suelo, nitrógeno, fosforo, potasio, humedad de suelo, humedad ambiente, temperatura ambiente y turbidez del agua fueron correctas asegurando su buen desempeño en la huerta del colegio El Zarzal. Los sensores presentaron rangos de medición en los nutrientes valores que van entre 10 y 30 mg/kg de suelo para los nutrientes de nitrógeno, potasio y fosforo.

Las encuestas realizadas reflejan que la comunidad está muy interesada en estas soluciones tecnológicas. Las personas reconocen los beneficios de utilizar herramientas innovadoras para mejorar la gestión de sus cultivos y expresaron una clara disposición a adoptar y adquirir servicios similares en el futuro. Ya que al realizar las encuestas los datos obtenidos muestran que un 66,7% de las personas estarían dispuestas a invertir en soluciones tecnológicas de este tipo y un 16.7% serian potenciales compradores-

La autonomía del sistema fue satisfactoria según las pruebas realizadas, obteniéndose que la batería, tras un uso diario continuo durante una semana, mantuvo un voltaje superior a 6.7V, lo que indica una buena eficiencia y capacidad de carga para soportar su operación sin interrupciones.

Como mejora al proyecto, se recomienda comparar las mediciones obtenidas de un análisis de suelo con las proporcionadas por el sensor NPK, para así validar la precisión y fiabilidad de los datos entregados por el sensor.

14. BIBLIOGRAFÍA Y WEB-GRAFÍA

Abud, V., Caoduro, M., Casquero, M. E., & Castelano, S. M. Elaboración de tablero con indicadores para evaluar el impacto en la aplicación de agricultura de precisión (Bachelor's thesis). http://hdl.handle.net/11086/549331

Acosta Carabalí, A. L., & Valverde Donneys, S. (2020). Desarrollo de un sistema de monitoreo y transmisión de datos por medio inalámbrico, para cultivos de hortalizas en Buenos Aires (Cauca). https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/267

Durman. (2024, 21 marzo). Agricultura - Durman Colombia. Durman - Durman. https://durman.com.co/agricultura/

Agricultura de precisión | Grupo Acre Colombia. (s. f.). Grupo Acre Colombia. https://grupoacre.co/catalogo-sector/agricultura-de-precision/

AgroAP. (2021, agosto 16). Forma innovadora de gerenciar el campo. *AgroAP. https://agroap.com/*

Graessler, I., & Hentze, J. (2020). The new V-Model of VDI 2206 and its validation. at-Automatisierungstechnik, 68(5), 312-324.

Banderas Chaguay, J. I. (2022). Percepciones de los agricultores frente a las tecnologías de la agricultura de precisión (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022). http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13349

Beetic – Innovación para el campo. (s/f). Beetic.Co. 2024, de http://www.beetic.co/

Bermúdez, M. J. V., Larrea, J. W. H., Melo, J. O. S., & Carchi, M. (2023). Monitoreo IoT en un Sistema Aeropónico para el cultivo de la Lechuga Orgánica: IoT Monitoring in an Aeroponic System for the cultivation of Organic Lettuce. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias

Sociales y Humanidades, 4(2), 380-390. https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.618

Blasco, J. & Cubero, S. (2023). Sensores, datos y tecnologia de precision en el sector agricola. Oleo, 191, 22-25. https://hdl.handle.net/20.500.11939/8553

Boix Agulló, F. (2023). Diseño y desarrollo de un sistema de riego inalámbrico para implementar una agricultura de precisión. https://hdl.handle.net/11000/31587

Carvajal, D. (2023). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. http://dx.doi.org/10.17613/4dxc-9s26

Calvo, D., & Candón-Mena, J. (2023). Cartografías tecno políticas: propuesta para el mapeo colaborativo desde la investigación-acción participativa. Cuadernos. info, (54), 23-44. http://dx.doi.org/10.7764/cdi.53.51847

Cedeño, C. M., Guijarro, C. A., & Jaramillo, N. G. (2021). Análisis financiero: una herramienta clave para la toma de decisiones de gerencia. 593 digital Publisher CEIT, 6(3), 87-106.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (s. f.). AGROSAVIA. Recuperado 21 de septiembre de 2024, de https://www.agrosavia.co/

Das, G. P., Gould, I., Zarafshan, P., Heselden, J., Badiee, A., Wright, I., & Pearson, S. (2022). Applications of robotic and solar energy in precision agriculture and smart farming. In Solar energy advancements in agriculture and food production systems (pp. 351-390). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00011-0

DHT22 - Sigma electrónica. (2024, 20 septiembre). Sigma Electrónica. De https://www.sigmaelectronica.net/producto/dht22/

Elate SA. (2019, 28 junio). La importancia de los circuitos impresos en el sector de la

domótica. https://elatesa.com/la-importancia-de-los-circuitos-impresos-en-el-sector-de-la-domotica/

Electrovalvula - Válvula Solenoide AgUA 12 VDC - 1/2" NC - Electronilab. (2024, 16 septiembre). Electronilab. https://electronilab.co/tienda/electrovalvula-valvula-selenoide-agua-12v-dc-12/

Elhattab, K., & Abouelmehdi, K. (2024). Intelligent agriculture system using low energy and based on the use of the internet of things. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 13(2), 1286-1297. https://doi.org/10.11591/eei.v13i2.6346

Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Umer, T., & Zikria, Y. B. (2020). Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review. Electronics, 9(2), 319. https://doi.org/10.3390/electronics9020319

Federación Nacional de Cafeteros. (s/f). Federación Nacional de Cafeteros. 2024, de https://federaciondecafeteros.org/

Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. Revista Ingeniería Agrícola, 11(1), 67-74.

Ingeniería SMAF. (s. f.). Servicios. SMAF. https://www.smaf.com.co/service.html

Izquierdo Úbeda, H. (2023). Proyecto de automatización de un invernadero de producción de tomates. Universitat Politècnica de València. http://hdl.handle.net/10251/197407

Jaramillo Pérez, L y Pulgarín Giraldo, J. (2022). Diseño de dispositivo de bajo costo para el monitoreo de variables climáticas y humedad del suelo en agricultura de precisión. Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: https://hdl.handle.net/11059/14123

Landinez, S. P. C., Rodríguez, P. E. C., & Gómez, D. F. S. (2019). Diseño e implementación

de un software para la trazabilidad del proceso de beneficio del café. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 20(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1588

Laverde, A. (2024, 13 julio). [Vídeo]¿PCB qué es y para que sirve? |Normas IPC|Certificación|ALDELTA.https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/pcb-que-es-y-para-que-sirve/

Método Lean Startup: ¿Qué es? ¿Cómo se aplica? (s. f.). https://www.mastermarketing-valencia.com/marketing-digital/blog/metodo-lean-startup/

Mgarita. (2024). Proyectos IOT e innovación, LAIN HOLDINGS. https://lainholding.com/

Miles, B., Bourennane, E. B., Boucherkha, S., & Chikhi, S. (2020). A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. Computer Communications, 164, 148-157. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.10.009

Mistry, S. (s/f). arduino-LoRa: An Arduino library for sending and receiving data using LoRa radios. https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa

MOCLI – MOCLI. (s/f). Mocli.co. 2024, de https://mocli.co/

Molina, L. G. V., & Molina, C. O. G. (2023). Utilización de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego. Dominio de las Ciencias, 9(4), 1731-1748. https://doi.org/10.23857/dc.v9i4.3691

Monteiro, A., Santos, S., & Gonçalves, P. (2021). Precision agriculture for crop and livestock farming—Brief review. Animals, 11(8), 2345. https://doi.org/10.3390/ani11082345

Ojeda Beltran, A. (2022). Plataformas Tecnológicas en la Agricultura 4.0: una Mirada al Desarrollo en Colombia. Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications, 3(1), 9–18. https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02

Olivares-Auza, J. D. (2020). Estudio sobre las características del protocolo de transmisión de LoRa.

Oquelis Guerrero, Á. A., & Landa Vega, D. C. (2020). Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico. https://hdl.handle.net/11042/4665

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2011). Generación de modelos de negocio: Un manual para visionarios, revolucionarios y retadores. Ediciones Deusto

PEÑALÓ, Randy, et al. ANÁLISIS COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO LORA Y WIFI EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADO EN INVERNADERO. Para pedidos y canjes, 2023, p. 140.

Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, D., Papini, N., Gobbi, F., & Scorzoni, A. (2021). Monitoring soil and ambient parameters in the iot precision agriculture scenario: An original modeling approach dedicated to low-cost soil water content sensors. Sensors, 21(15), 5110. https://doi.org/10.3390/s21155110

Plazas Aquite, L. O., Candro Cuineme, D. F., & Diaz Rojas, M. J. (2022). Plan de negocios para la creación de una empresa de servicios de captura y analítica de datos, basados en tecnología UAV (drones) apoyado en inteligencia artificial (IA) para la planeación, seguimiento y control de proyectos agrícolas (Master's thesis, Maestría en Gerencia de Proyectos).

Proxima Systems. (2021, 18 junio). Automatización industrial y automatización agrícola. Proxima Systems. https://www.proximasystems.net/

Products and Solutions. (s/f). Netafim.co, de https://www.netafim.co/productos-soluciones/

Puga, Y. G. (2023). El lienzo de modelo de negocios o modelo canvas: herramienta para emprendedores. Revista FAECO sapiens, 6(1), 347-363.

Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. Journal of Agriculture and Food Research, 14, 100776. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776

Rambauth Ibarra, G. E. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications, 3(1), 34–38. https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.04

Colqui, Y. J. A. (2019). El método Lean Startup. Cómo crear empresas de éxito utilizando la innovación continua de Eric Ries. Emprende y Transforma, 1(1), 83-88.

Rodríguez González, L. J. (2020). Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica. https://hdl.handle.net/10893/19416

Rodríguez-Robles, J., Martin, Á., Martin, S., Ruipérez-Valiente, J. A., & Castro, M. (2020). Autonomous sensor network for rural agriculture environments, low cost, and energy self- charge. Sustainability, 12(15), 5913. https://doi.org/10.3390/su12155913

Ruiz López, E. (2024). Aplicación del método Lean Startups para un modelo de negocios de importación de ropa para damas, caballeros y niños en la ciudad de Esmeraldas (Doctoral dissertation, PUCESE-Escuela de Licenciatura en Negocios Internacionales).

Salazar Bravo, C. M. (2023). Diseño de una red inalámbrica de baja potencia para la agricultura de precisión en la finca" La Habana"–Villa Rica, Cauca.

Servicios - KAMUR Sistemas de riego automatizados. (2018, 17 agosto). KAMUR Sistemas de Riego Automatizados. https://kamur.com.co/servicios/

SIG0040 - Sigma electrónica. (2024, 18 septiembre). Sigma Electrónica. https://www.sigmaelectronica.net/producto/sig0040/

Singh, R. K., Aernouts, M., De Meyer, M., Weyn, M., & Berkvens, R. (2020). Leveraging LoRaWAN technology for precision agriculture in greenhouses. Sensors, 20(7), 1827. https://doi.org/10.3390/s20071827

SMARTRURAL S.L. (2023, 14 abril). SmartRural - SmartRural. SmartRural. https://smartrural.net/

SOLIX AG ROBOTICS. (s. f.). Solinftec.com, de https://www.solinftec.com/es-la/

Sosa-Savedra, J. C., Trejo-Estrella, M. A., García-García, A. L., Barceina-Sánchez, J. D. O., Velázquez-González, R. S., & Hernández-Tovar, R. (2023). Implementación de la metodología V como eje de desarrollo de un tribómetro de perno en disco. Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI, 11(Especial4), 21-29. https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial4.11358

Sott, M. K., Furstenau, L. B., Kipper, L. M., Giraldo, F. D., Lopez-Robles, J. R., Cobo, M. J. & Imran, M. A. (2020). Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: state of the art, challenges and future trends. IEEE Access, 8, 149854-149867. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016325

Valente, A., Silva, S., Duarte, D., Cabral Pinto, F., & Soares, S. (2020). Low-cost LoRaWAN nodefor agro-intelligenceIoT. Electronics, 9(6), 987. https://doi.org/10.3390/electronics9060987

Tecnosem. (2020, 20 abril). Tecnosem - Soluciones para la Agricultura Moderna. https://www.tecnosem.com.ar/

Varandas, L., Faria, J., Gaspar, P. D., & Aguiar, M. L. (2020). Low-cost IoT remote sensor mesh for large-scale orchard monitorization. Journal of Sensor and Actuator Networks, 9(3), 44. https://doi.org/10.3390/jsan9030044

Zott, Amit, R., & Massa, L. (2011). The Business Model: Recent Developments and Future Research. Journal of Management, 37(4), 1019-1042. Doi: 10.1177/0149206311406265

Paul, A., Sreedevi, K., Sharma, S.S., Anjana, V.N. (2022). Polylactic Acid (PLA). In: Thomas, S., AR, A., Jose Chirayil, C., Thomas, B. (eds) Handbook of Biopolymers. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6603-2_44-1

ANEXOS

ANEXO A

Anexo A1. Diagrama eléctrico del prototipo.

URL: DIAGRAMA

ANEXO B

- **Anexo B1.** Diseños de caja de control y código G.

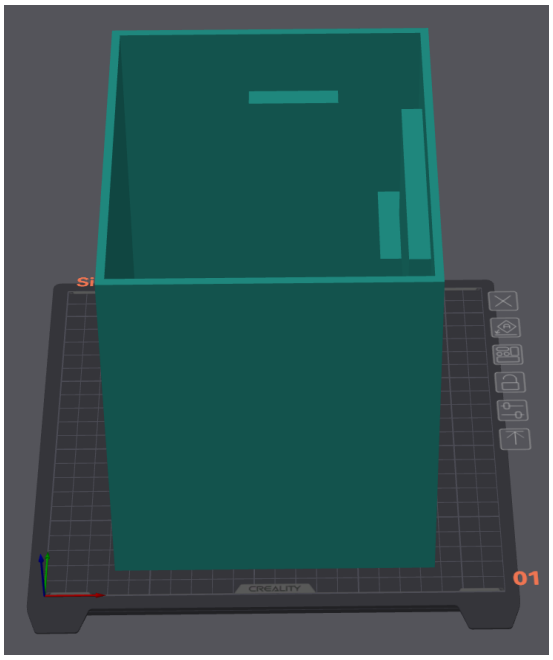

Figura 1. Diseño de caja de control en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

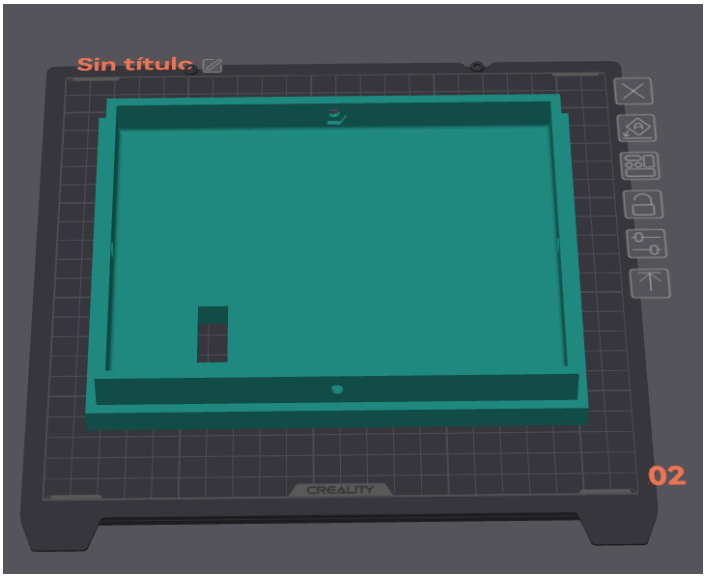

Figura 2. Diseño de la tapa de la caja de control en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

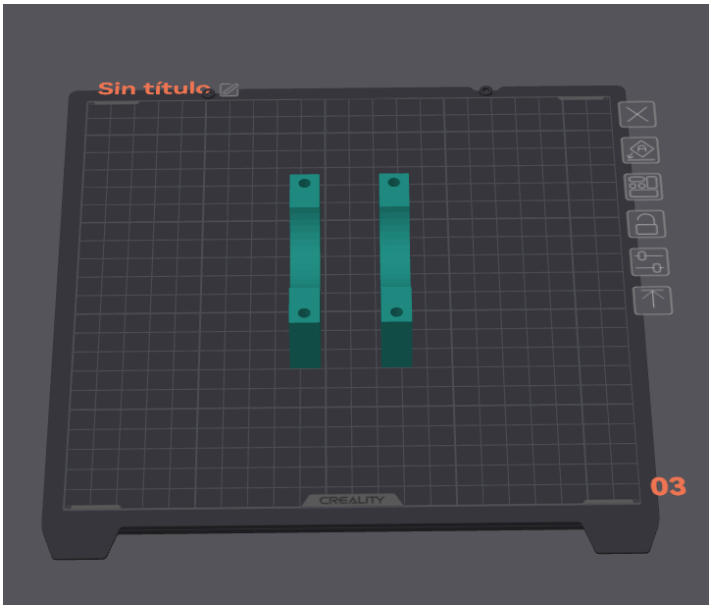

Figura 3. Soporte de la caja de control en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

- **Anexo B2**. Diseños de protector de electroválvula y código G.

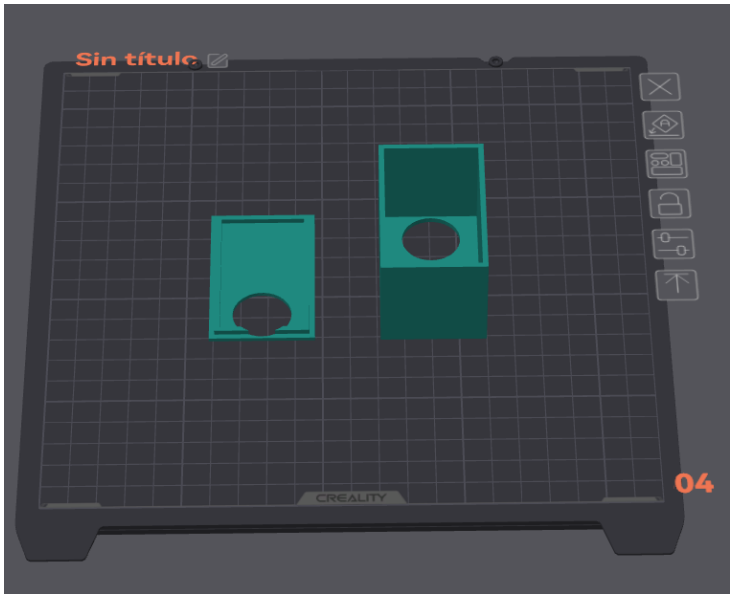

Figura 4. Protector de electroválvula en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

- **Anexo B3.** Diseños de Stevenson del DHT 22 y código G.

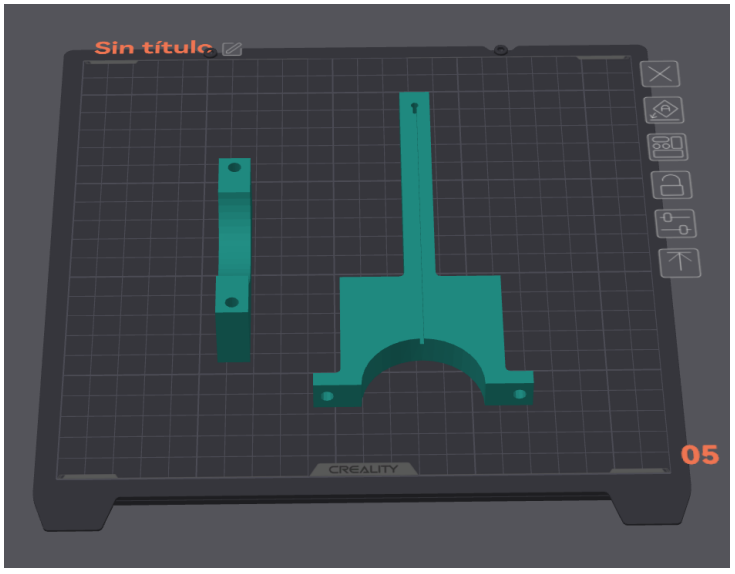

Figura 5. Brazo del Stevenson “DHT 22” en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

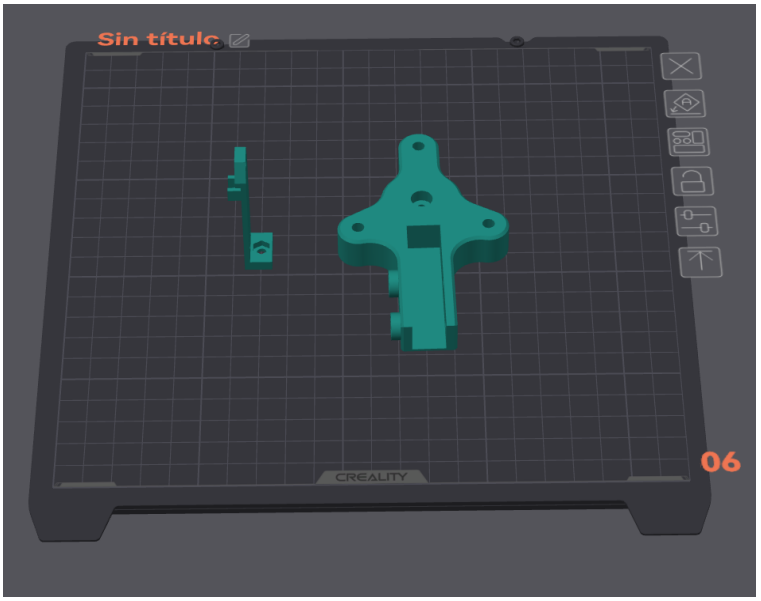

Figura 6. Base del Stevenson “DHT 22” en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

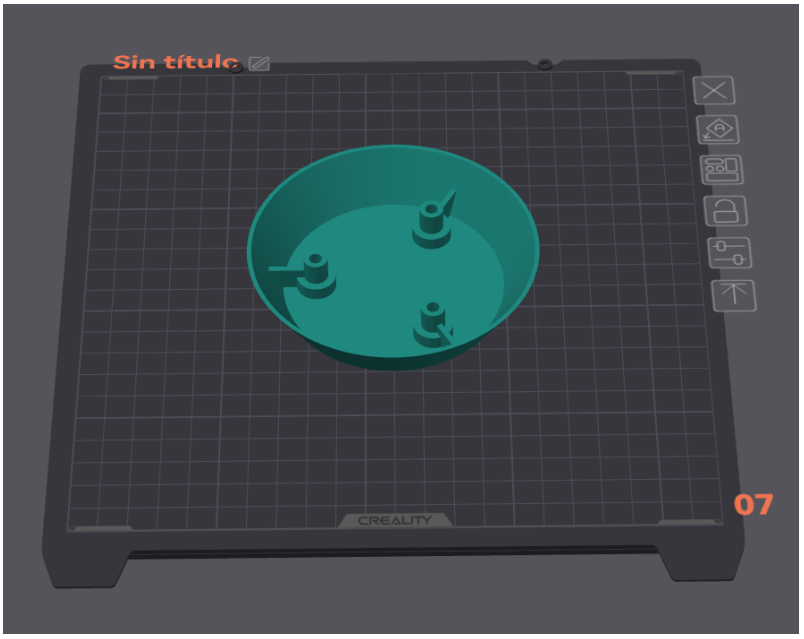

Figura 7. Tapa del Stevenson “DHT 22” en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

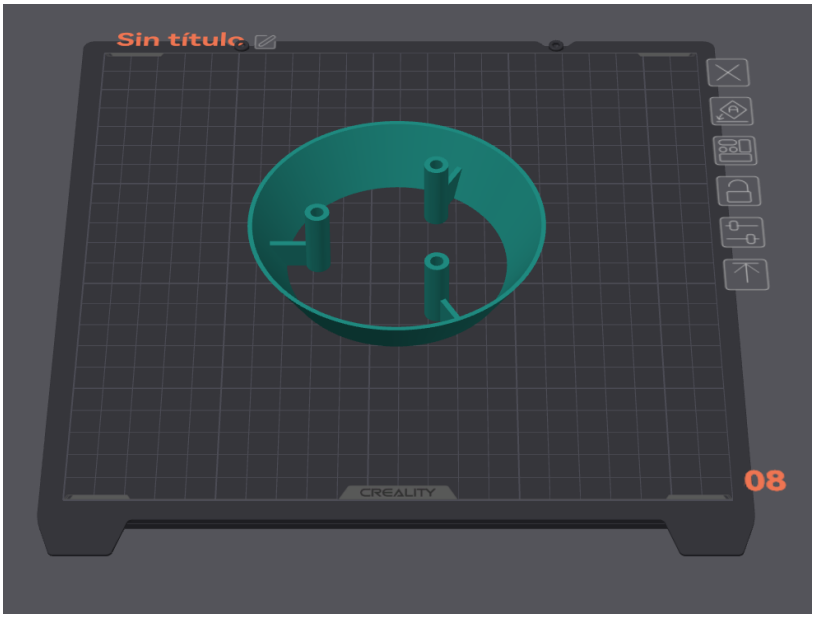

Figura 8. Segunda base del Stevenson “DHT 22” en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

Nota: La pieza de la figura 8 se encarga de darle altura a la base.

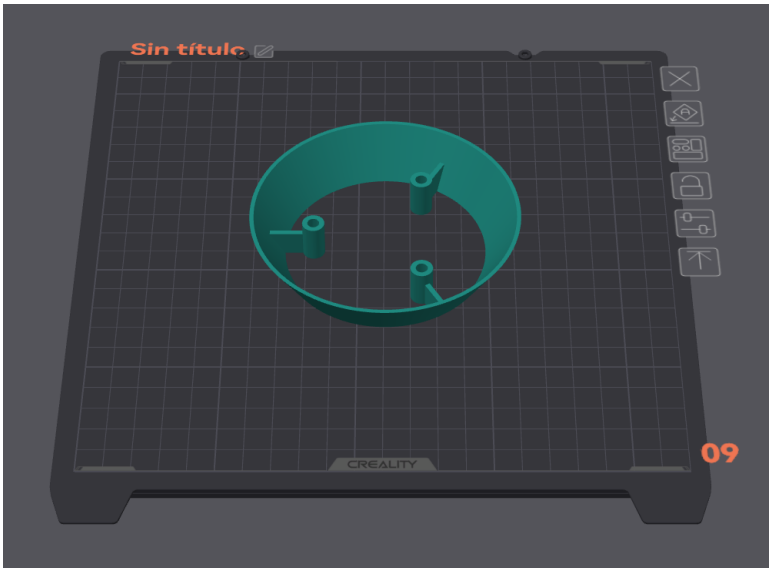

Figura 9. Cuerpo del Stevenson “DHT 22” en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

Nota: De la figura 9 se imprimieron cuatro de las mismas.

URL: GCODE

- **Anexo B4**. Diseños de caja de transporte del sensor NPK y código G.

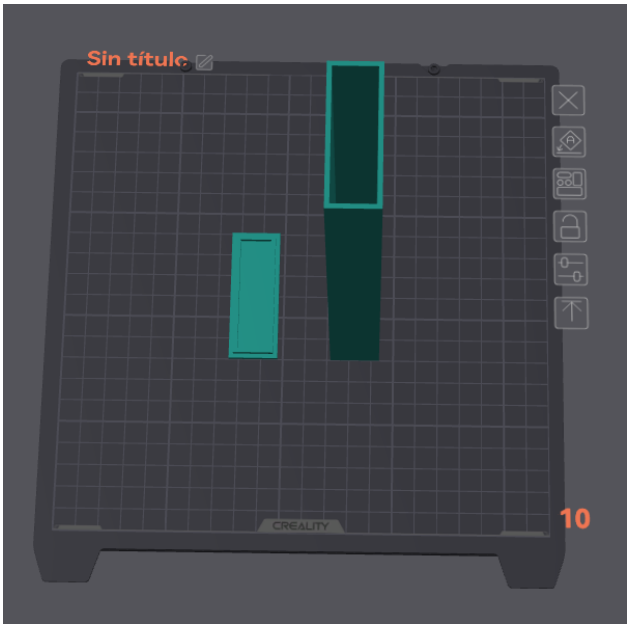

Figura 10. Caja de transporte del sensor NPK en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

- **Anexo B5.** Diseños de caja de transporte del sensor NPK y código G.

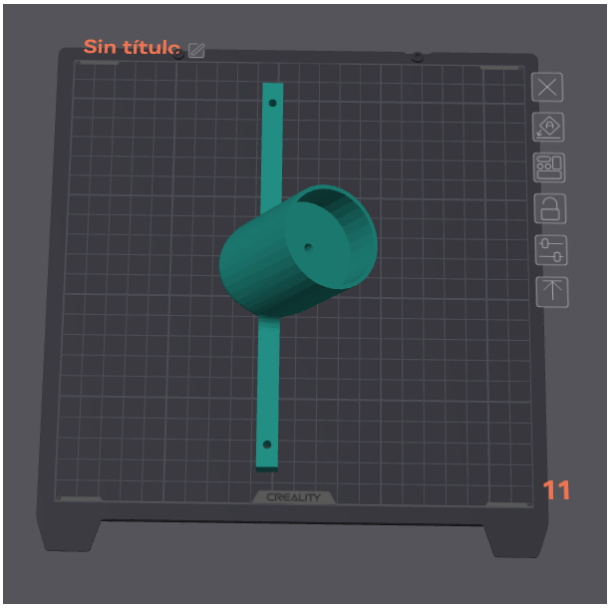

Figura 11. Brazo de soporte del panel solar en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

- **Anexo B6.** Diseños de protector de sensor de humedad y código G.

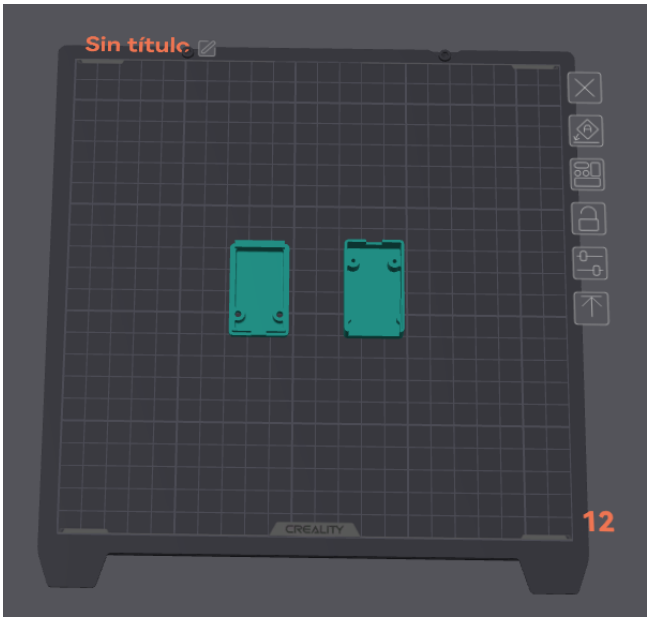

Figura 12. Protector del sensor de humedad en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

- **Anexo B7**. Diseño de conector de T cuatro y código G.

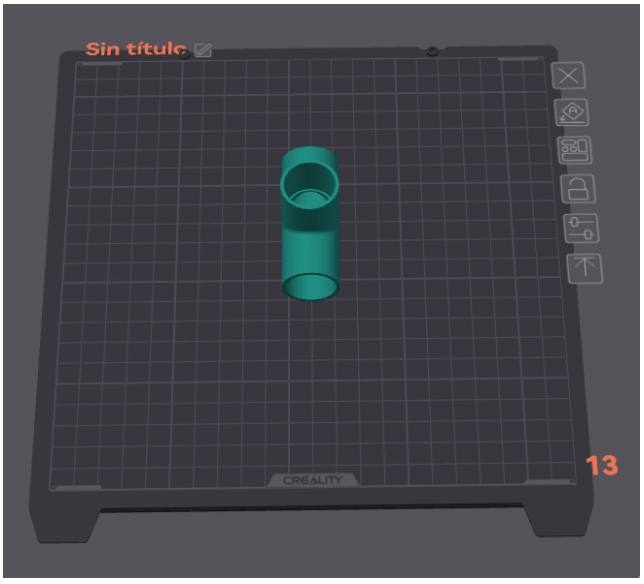

Figura 13. Diseño de conector de T cuatro en software OrcaSlicer. **Fuente:** Propia

URL: GCODE

ANEXO C

- **Anexo C1.** Informe de análisis de tensión.

URL: ENLACE

ANEXO D

- **Anexo D1.** Fotografías de capacitación a los estudiantes del colegio el Zarzal

Figura 14. Capacitación a estudiantes. **Fuente:** Propia

Figura 15. Capacitación a estudiantes. **Fuente:** Propia

Figura 16. Capacitación a estudiantes. **Fuente:** Propia

Figura 16. Imagen aérea del colegio el Zarzal. **Fuente:** Propia