

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA EN HUERTOS URBANOS COMO
HERRAMIENTA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS Y LA
EFICIENCIA DE LA AGRICULTURA URBANA EN BOGOTÁ**

MATEO GUZMÁN SALAZAR

JUAN SEBASTIÁN SILVA MEDINA

DANIEL JOSÉ MARTÍNEZ ACEVEDO

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C

13 DE JUNIO 2024

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	3
Introducción.....	4
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
Definición del problema.....	6
Justificación.....	7
Análisis de requerimientos	10
Marco teórico.....	11
Análisis de restricciones.....	15
Ambientales	15
Económicas.....	15
Legales.....	16
Salud y seguridad	18
Socioculturales.....	19
Metodología.....	20
Diseño 3D del sistema embebido.....	20
Microcontrolador y sensores	21
Plataforma de telemetría.....	22
Análisis de costos.....	23

Análisis de resultados.....	29
Diseño de la placa PCB	29
Aplicativo Móvil.....	32
Modelado 3D del sistema embebido	41
Referencias	47

Resumen ejecutivo

La presente investigación presenta un proyecto enfocado en la implementación de un sistema telemétrico para huertos urbanos. El objetivo principal es mejorar el mantenimiento y cuidado de los huertos mediante sensores que miden la humedad del suelo, calidad del aire, conductividad eléctrica y temperatura. Esto permite un monitoreo en tiempo real, optimización del riego, control de condiciones ambientales y detección temprana de problemas. El proyecto incluye el diseño de una placa PCB, un aplicativo móvil intuitivo, modelado 3D del sistema embebido y la fabricación de prototipos con impresión 3D. Se destaca el uso de la plataforma Firebase de Google para la recopilación de datos y el lenguaje de programación Dart con el framework Flutter para el desarrollo del aplicativo móvil. El enfoque se centra en ofrecer una experiencia de usuario completa y eficaz, brindando una visión detallada y personalizada de cada sensor del cultivo. Con un diseño listo para la manufactura y un análisis de costos detallado, el proyecto busca contribuir al éxito de la agricultura urbana a través de la tecnología telemétrica.

Palabras claves: *Huertos urbanos, Sistema telemétrico, software, aplicación móvil, cultivos, agricultura urbana.*

Introducción

En las últimas décadas, ha habido una transformación drástica en los diversos patrones urbanos globales, marcada por un aumento significativo en la migración de la población desde áreas rurales remotas o aisladas hacia centros urbanos prósperos (Swanepoel et al., 2021). Los objetivos de desarrollo de algunas organizaciones políticas, comerciales, industriales, académicas, medioambientales y sociales están centrados en estos fenómenos de migración insostenible (Gómez-Villarino et al., 2021). Según el Programa de Asentamientos Urbanos de las Naciones Unidas, para el año 2030, el 60,4% de la población mundial residirá en áreas urbanas, en comparación con el 50,0% actual (Pinto et al., 2022).

Las industrias relacionadas con la producción de alimentos y ganadería serán las más impactadas por el fenómeno migratorio descrito anteriormente, así como la proyectada población de 9.7 mil millones de personas para el año 2050, lo que generará una carga ecológica considerable sobre una variedad de sistemas productivos (Kah et al., 2018). Para satisfacer la demanda y oferta de productos rurales y periurbanos consumidos en áreas urbanas, los niveles de producción han aumentado hasta un 60% desde 2005 (Rao et al., 2022). Para aumentar la productividad agroalimentaria, es necesario abandonar casi un tercio de las tierras arables del mundo debido a prácticas agrícolas insostenibles (Wood et al., 2006). Los sistemas de producción agroalimentaria convencionales o tradicionales tienen varios impactos medio ambientales negativos, incluyendo tasas aceleradas de degradación ambiental a lo largo del ciclo de vida de bienes, productos y servicios agrícolas; sobreexplotación y contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea; deterioro del suelo, salinización y desertificación; y una disminución en la diversidad genética agrícola (Ijassi et al., 2021).

La Agricultura Urbana se refiere a actividades que garantizan la producción de productos agroalimentarios y la ganadería en regiones urbanas y periurbanas, minimizando la presión e

impacto sobre los servicios ecosistémicos requeridos por las operaciones de estos sectores convencionales (Nicholls et al., 2020). Adicional, los gobiernos consideran la agricultura urbana como un medio para mejorar la calidad de vida de los habitantes, promover la soberanía alimentaria, el desarrollo económico a través de mercados locales comunitarios y la participación ciudadana en áreas donde las necesidades fundamentales están en gran medida insatisfechas (Walsh et al., 2022).

Se han realizado e implementado cambios en los programas piloto de agricultura urbana adaptándolos a las necesidades y condiciones específicas de las comunidades y la interacción de factores ecológicos (Arnold, 2022). Se fomenta el desarrollo de propuestas que aprovechen utilizar terrenos y espacios públicos o privados, así como la producción en invernaderos o mediante de la instalación de techos verdes, junto con la participación del cuerpo social o propuestas privadas, demostrando que las ciudades y comunidades son altamente adaptables a este tipo de propuestas (Pavlis & Terkenli, 2021). Los prototipos de agricultura urbana enfatizan la existencia de variables que reaccionan a los aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales de los sistemas de producción al permitir la integración de usuarios y modelos agrícolas independientemente de su nivel de experiencia y/o conocimiento (Shrestha et al., 2022).

La agricultura urbana ha experimentado un notable crecimiento en Bogotá como respuesta a la urbanización y a la creciente demanda de alimentos, un fenómeno que comenzó a hacerse evidente desde el año 2020. Según el registro del Número de Huertas Fortalecidas en el Distrito Capital (NHF-PACA), se propusieron fortalecer 20,000 huertas urbanas durante el último periodo. Este impulso se enmarca en el proyecto de inversión 7861, titulado “Fortalecimiento de la agricultura urbana y periurbana en las localidades urbanas de Bogotá”, dentro del Plan de Acción Cuatrienal Ambiental 2020-2024. Hasta el año 2023, se lograron fortalecer un total de 18.074 huertas del distrito capital.

Los datos anteriores son el reflejo de cómo la agricultura urbana ha venido incrementando en Bogotá. Este rápido crecimiento ha dejado entrever diferentes inconvenientes con la creación de los huertos, como lo son la limitación de espacio, la calidad del suelo y el acceso al agua.

En resumen, el sistema telemétrico propuesto a través de la lectura de las variables de temperatura, aire, humedad y de conductividad eléctrica busca mejorar la agricultura urbana en Bogotá mediante su adaptabilidad, facilidad de uso, precisión y capacidad de personalización. Esta herramienta integral ofrece a agricultores expertos y novatos la posibilidad de gestionar de manera eficiente y sostenible sus huertos urbanos, promoviendo así una producción más precisa y sostenible en la ciudad.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un sistema de telemetría en huertos urbanos como herramienta para mejorar el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la agricultura urbana en Bogotá.

Objetivos específicos

Seleccionar e implementar un sistema de sensores para medir las variables humedad del suelo, temperatura ambiental y conductividad eléctrica.

Construir un prototipo funcional que integre componentes de hardware y software para la compilación y envío de los datos de los huertos urbanos.

Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva y accesible para visualizar los datos recopilados por el sistema de telemetría.

Definición del problema

La capital del país cuenta con más de 20 mil huertos entre los que destacan diferentes especies de hierbas como la menta, limonaria, yerbabuena, orégano y manzanilla (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022). Por su parte, el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis ha

liderado múltiples proyectos de agricultura urbana en las 19 localidades de Bogotá, capacitando a más de 53 mil personas. Para el año 2014, se estima que en la capital del país había aproximadamente 10 mil agricultores urbanos gracias a estas iniciativas (Gómez, 2014). A pesar de este panorama, para el año 2023 se reportó una caída en el número de agricultores urbanos y periurbanos del 23,8% (Banco Distrital de Programas y Proyectos, 2023). Debido en gran parte a la ausencia de asistencia tecnológica, carencia de información técnico-científica para el manejo de los huertos, limitaciones en los recursos económicos y desconocimiento de los temas relacionados con la agricultura urbana y periurbana en general. Dentro de este contexto, el presente proyecto busca resolver la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se puede desarrollar un sistema de telemetría en huertos urbanos para optimizar el rendimiento de los cultivos y mejorar la eficiencia de la agricultura urbana en Bogotá?

Justificación

La agricultura urbana ha surgido como una alternativa de autoabastecimiento en el contexto de la urbanización creciente y el aumento de la demanda de alimentos en entornos urbanos como Bogotá. Este crecimiento conlleva desafíos significativos, tales como la limitación de espacio, la calidad del suelo y el acceso al agua (Urías Borbón & Ochoa de la Torre, 2020). En la horticultura periurbana de Bogotá, se observó un uso ineficiente de la energía en los sistemas de cultivo de coriandro, lechuga, rábano y espinaca, donde se consumieron entre 6.6 a 18.8 Giga Julios en estos sistemas de cultivo (Bojacá & Schrevens, 2010). Ante estos desafíos, la implementación de un sistema telemétrico en huertos urbanos se presenta como una solución innovadora y eficaz para mejorar la eficiencia de los cultivos, tanto para agricultores expertos como para aquellos novatos en el área.

La integración de sistemas telemétricos en la agricultura urbana puede revolucionar la forma de cultivar en las ciudades. Con el uso de sensores y la recopilación de datos, los

agricultores pueden supervisar y gestionar sus cultivos a distancia, ahorrando tiempo y esfuerzo. Además, el desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva y accesible para visualizar los datos recopilados en tiempo real permitirá a los agricultores interpretar y analizar fácilmente la información del sistema telemétrico, facilitando los ajustes e intervenciones oportunos para optimizar el crecimiento de los cultivos y garantizar la sostenibilidad de la agricultura urbana (Antony et al., 2020).

En este contexto, el impacto de los sensores de bajo costo es cada vez más relevante en diversos campos, incluyendo la agricultura. Estos sensores proporcionan datos valiosos sobre las condiciones ambientales, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas sobre riego, fertilización y control de plagas. Al integrar sensores de bajo costo en las prácticas agrícolas, los agricultores pueden optimizar la asignación de recursos, mejorar el rendimiento de las cosechas y reducir el impacto ambiental (Moraitis et al., 2022).

El uso de sistemas telemétricos en la agricultura urbana ofrece a los agricultores y ciudadanos la capacidad de supervisar y gestionar sus cultivos a distancia, y también aumentar el rendimiento y mejorar la eficiencia en general. Al gestionar un sistema de sensores que mide factores como la humedad del suelo, la temperatura ambiente y la conductividad eléctrica, los agricultores pueden recopilar varios datos valiosos para tomar decisiones informadas sobre la programación del riego, la gestión de nutrientes y la salud general de los cultivos. Esto permite una gestión más precisa de los recursos, reduciendo el derroche de recursos como el agua y fertilizantes, y a su vez, minimizando el impacto medioambiental de la agricultura urbana (Suprem et al., 2013).

Al desarrollar el sistema telemétrico y generar una herramienta para los agricultores que permita obtener, de forma práctica y accesible, la lectura de variables como la humedad del aire, del suelo, temperatura y la conductividad eléctrica; aportar y ayudar también a los agricultores a

tomar decisiones sobre el cultivo respecto a riesgos latentes en los mismos. El control de plagas, uso de plaguicidas y cosechas deficientes son ejemplo de esto.

No obstante, a partir de la obtención de la lectura de variables e identificación de información vital en tiempo real para la realización de un monitoreo agrícola, se podría evidenciar el valor de eficiencia de estos datos ya que por su naturaleza son precisos y oportunos favoreciendo que los agricultores urbanos puedan ajustar, mejorar el uso del agua y aprovechar de forma más eficaz el tiempo para la productividad de los huertos.

Por consiguiente, este proyecto desea desarrollar un sistema telemétrico enfocado en ofrecer seis aspectos básicos. El primero es la adaptabilidad, en comparación con los sistemas grandes e industriales en los huertos. Este sistema cuenta con sensores modulares que permiten añadir o quitar sensores, siendo así escalable. Esto lo convierte en un sistema más flexible, posibilitando que se adapte a diferentes tamaños y formas de huertos sin necesidad de costosas instalaciones o modificaciones.

El segundo aspecto es la facilidad de uso. Al ser un sistema con interfaz intuitiva y sencilla, puede ser diseñado y controlado por personas sin experiencia técnica. Esto facilita su comprensión y manejo de manera rápida.

El tercer aspecto es la precisión. El sistema telemétrico está compuesto por sensores de alta precisión, lo que genera confiabilidad en la medición de variables como la temperatura del aire, la humedad del aire, del suelo y la conductividad eléctrica. Esta precisión contribuye a una mayor eficiencia y ahorro en recursos.

El cuarto aspecto es la optimización de riesgos y fertilización de los huertos, lo que favorece el ahorro económico y una mayor sostenibilidad del huerto. Este aspecto constituye una mayor optimización de riesgo y fertilización de los huertos, favoreciendo el ahorro económico y una mayor sostenibilidad del huerto.

El quinto aspecto es la personalización y flexibilización del sistema para diferentes cultivos de acuerdo con sus necesidades.

En general, la implantación de los sistemas telemétricos en la agricultura urbana ofrece una solución integral para afrontar retos como la limitación de espacio, la calidad del suelo y el acceso al agua. Esta tecnología emerge como una válida herramienta para optimizar el rendimiento de los cultivos locales y mejorar la eficiencia de la agricultura urbana, contribuyendo así a la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas en entornos urbanos en constante crecimiento.

Análisis de requerimientos

Para definir los requerimientos del sistema de telemetría es necesario identificar los usuarios a los que va dirigido este prototipo, los cuales son los agricultores urbanos localizados en la ciudad de Bogotá. Estos agricultores son en su mayoría mujeres y personas jóvenes con amplios conocimientos de horticultura los cuales necesitan de métodos eficientes para el cuidado de sus huertos. En este sentido, el sistema telemétrico debe ser de fácil instalación e implementación, con una interfaz intuitiva para que cualquier individuo puede utilizar si la necesidad de amplios conocimientos técnicos.

A nivel diseño, el sistema debe ser portátil, simple y económico, con el objetivo de ser utilizado en huertos de diferentes tamaños, que no afecte la integridad de estos y que sea asequible para los agricultores urbanos. Por este motivo es imperioso que el sistema sea concebido con materiales económicos y livianos, pero que al mismo tiempo aseguren la integridad y funcionalidad de este. Adicionalmente, debe contar con la capacidad de medir, registrar y enviar datos en tiempo real, desde un punto de operación (en físico) hasta una aplicación en donde se visualizará la información recolectada. Estos datos deben ser extraídos con una serie de sensores

especializados en las variables más importantes del huerto, las cuales son: Ph, humedad, temperatura y luminosidad (Germán et al., 2020).

Para la aplicación, es importante asegurar la fiabilidad y velocidad de respuesta del sistema y de los datos recopilados. También, se debe asegurar que dichos datos sean presentados de forma ordenada y que contribuyan un valor significativo para los agricultores. De igual forma, se debe asegurar una funcionalidad de notificación oportuna en caso de escenarios críticos que puedan afectar la información del huerto.

Por último, es necesario identificar que el tiempo con el que se cuenta es limitado y el recurso económico también. Por este motivo, se opta por enfocar los recursos en un primer prototipo que cumpla con los requerimientos mínimos establecidos, es decir, el sistema debe ser capaz de: realizar las mediciones deseadas y cuente con la capacidad de transmitir la información con cierto nivel de error, mantener la simplicidad en su diseño para su uso por parte de los agricultores urbanos.

Marco teórico

Inicialmente se considera pertinente mencionar que los huertos urbanos se centran en el cultivo tanto de productos alimenticios como raíces, hortalizas, hongos y frutas, como de productos no alimenticios, entre los que se incluyen plantas aromáticas, medicinales y derivados de árboles. Por consiguiente, el sistema telemétrico a desarrollar estará exclusivamente enfocado en el cultivo de plantas en Bogotá (Rincón, 2015).

En este contexto, se hará énfasis sobre la agricultura en Bogotá, la cual es encabezada por el Jardín Botánico de Bogotá de José Celestino Mutis, que ha estado trabajando en la capacitación y asistencia de diversos huertos ubicados en la ciudad. Estos huertos se han categorizado en varias modalidades, tales como verduras, hortalizas (Constituido en variedad de vegetales como hojas, tallos, inflorescencias, bulbos, legumbres, raíces, tubérculos, plátanos y derivados), plantas

aromáticas, condimentarias y medicinales (Está conformado por hojas implementadas para aromatizar y saborizar bebidas y alimentos como: la Hierbabuena, el Cidrón, la Menta, la Limonaria, el Cilantro y el Orégano), cereales, pseudocereales y leguminosas (Categoría compuesta por cereales que son maduros como el maíz, la avena y la cebada, las leguminosas son semillas secas de la familia Fabaceae, como los garbanzos, frijoles, lentejas y habas), frutas (Ovarios fecundados y maduros de la planta que contienen las semillas) y productos transformados (Productos elaborados a partir de materias primas de la cosecha como mermeladas, aceites y jugos).

El Jardín Botánico de Jose Celestino Mutis especifica que técnicas se pueden usar en los cultivos de las unidades de integrales de agricultura urbana en Bogotá. Estas se orientan a ser modelos productivos asequibles económicamente y de implementación rápida, puesto que buscan principalmente que estos puedan brindar una mejora y seguridad alimentaria en pro de la población vulnerable- (familias de bajo recursos, escuelas, entornos comunitarios e institucionales)-. Asimismo, se han priorizado un grupo de 63 especies vegetales, las cuales facilitan la posibilidad de cultivar estas en contextos como jardines, solares, azoteas u otra ubicación del hogar lo cual lo denominan sitios caseros. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020)

La agricultura urbana en Bogotá ha surgido como una estrategia de supervivencia para comunidades en barrios y localidades vulnerables según Cantor (2010), donde la falta de vivienda adecuada y servicios básicos, como el agua, ha llevado a muchas personas a depender del trabajo informal. Esta situación ha impulsado la búsqueda de espacios para la agricultura urbana como medio de subsistencia. El observatorio Ambiental de Bogotá ha identificado a la ciudad como líder en agricultura a nivel latinoamericano, con aproximadamente 4000 huertos y alrededor de 20000 huerteros (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022). Este crecimiento ha sido respaldado por un cambio hacia hábitos alimenticios más saludables por parte de la población, lo que a su vez ha

recibido apoyo de entidades gubernamentales para promover el cuidado ambiental y el desarrollo sostenible como señala Torres 2021. (Torres & Rodríguez, 2021)

El Jardín Botánico de Jose Celestino Mutis ha compilado un directorio de huertos urbanos que abarca un total de 19 localidades en Bogotá tales como Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Barrios Unidos, Teusaquillo, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, La Candelaria, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar. Este directorio está enfocado a las personas que deseen obtener asistencia técnica para establecer o mejorar la huerta, y aunque se sugiere un área mínima de 10 metros cuadrados, se reconoce que incluso áreas más pequeñas pueden generar una producción considerable. Aun así, Torres & Rodríguez (2021) han identificado que el Jardín Botánico de Bogotá ha registrado más de 125 proyectos de huertas urbanas en diversos vecindarios de la ciudad, a los cuales están estudiando para brindarles apoyo pedagógico para seguir fomentando un estilo de vida diferente y a su vez abordar la cuestión de la seguridad alimentaria en los entornos urbanos.

El monitoreo de las condiciones ambientales en los cultivos es crucial para la agricultura moderna. Los datos sobre la temperatura del aire y del suelo, la humedad del suelo y otros factores pueden ayudar a los agricultores en la toma de decisiones informadas sobre el riego, fertilización y otras prácticas de manejo del cultivo (González-Dugo et al., 2006). Los métodos más tradicionales de recolección de datos ambientales en cultivos son laboriosos y lentos. Implican la medición manual de parámetros con instrumentos portátiles, lo que puede ser bastante impreciso y llevar a una pérdida de tiempo y eficiencia (Fisher & Kebede, 2010).

Los sistemas de medición automática ofrecen una alternativa mucho más eficiente y precisa comparada con los métodos tradicionales. Estos sistemas utilizan sensores para recopilar datos ambientales en tiempo real, que luego se almacenan y analizan para obtener información útil para los agricultores. Los componentes básicos de un sistema de medición automática de

condiciones ambientales en cultivos son los sensores que convierten una propiedad física en una señal eléctrica, los más comunes incluyen sensores de humedad del suelo, de temperatura del aire y del suelo, de radiación y de viento, por otro lado, los microcontroladores son el “cerebro” del sistema, controlando todas las operaciones de los sensores y almacenando los datos recopilados para realizar cálculos básicos e intermedios. A su vez, el sistema puede tener un módulo de comunicaciones para transmitir los datos recopilados a una computadora o un dispositivo móvil (Fisher & Kebede, 2010).

Un tipo de sensor que se ha vuelto cada vez más popular para la medición de las condiciones de un cultivo es el termómetro infrarrojo. Estos termómetros pueden medir la temperatura de la superficie del follaje sin contacto físico, lo que los hace ideales para aplicaciones en el campo. La temperatura del follaje está relacionada con el estrés hídrico de la planta. A medida que una planta se estresa por la falta de agua, su temperatura foliar aumenta (González-Dugo et al., 2006). Ahora, si bien los termómetros infrarrojos han demostrado ser efectivos para automatizar el riego en ambientes semiáridos y áridos, su eficacia puede disminuir en áreas húmedas. Esto se debe a varios factores, incluido un mayor clima nublado y un menor déficit de presión de vapor (Daniel L. Bockhold et al., 2013).

Las investigaciones previas, como las de Monroy et al. (2001) han demostrado que la nubosidad genera un efecto homogeneizador en las mediciones de temperatura dentro del invernadero, con un descenso general de la temperatura cuando la luz solar se atenúa. Por otro lado, el plástico en los invernaderos los protege del clima exterior, pero a su vez actúa como un filtro que intensifica el calor del sol en puntos específicos (Cárdenas Ortiz, 2008)

La existencia de microclimas con diferentes condiciones de temperatura y humedad dentro del invernadero ha sido confirmada por estudio como el de Silva Martínez (2007). Esta diversidad se debe a la distribución de la luz solar, las corrientes de aire y los sistemas de ventilación y

calefacción. Para optimizar el sistema de monitoreo y hacerlo más eficiente y sostenible se proponen mejoras como la implementación de un sistema de localización para identificar la ubicación exacta de cada sensor (Beck & Johnson, 2007) y activar antenas solo cuando detecten tráfico de datos y la reconexión automática a través de un mecanismo automático para reconectar nodos sin intervención humana (Zhu, 2009)

Análisis de restricciones

Ambientales

El uso de un sistema telemétrico puede implicar varios impactos ambientales como:

- **Generación de Residuos:** Los dispositivos telemétricos, como sensores y equipos de monitoreo, pueden generar residuos electrónicos al final de su vida útil; como implica el uso de tornillería en acero que permiten otorgarle rigidez al prototipo, lo cual genera efectos negativos que esta distribuye al medio ambiente por su oxidación. La disposición inadecuada de estos residuos podría tener un impacto negativo en el medio ambiente.
- **Impacto en la Biodiversidad:** La instalación de equipos y dispositivos telemétricos en el invernadero podría afectar la biodiversidad local si no se tiene en cuenta el hábitat de las especies circundantes.
- **Contaminación del Suelo y Agua:** La utilización de ciertos materiales en la construcción de los dispositivos telemétricos podría resultar en la contaminación del suelo y el agua si no se gestionan adecuadamente al final de su vida útil.

Económicas

La implementación de un sistema telemétrico en un invernadero conlleva costos significativos, tanto inicialmente como en términos de mantenimiento continuo.

- **Costo de Implementación:** La instalación inicial de un sistema telemétrico en el invernadero conlleva una inversión significativa en equipos y tecnología de monitoreo, lo cual podría ser demasiado costoso para algunos agricultores con recursos limitados.
- **Costos de Mantenimiento:** Además del gasto inicial, el mantenimiento y las actualizaciones continuas del sistema telemétrico pueden generar costos adicionales, como reparaciones, calibraciones y actualizaciones de software y hardware.
- **Capacitación del Personal:** Es necesario invertir en la capacitación del personal para garantizar un uso eficaz del sistema telemétrico, lo que implica costos adicionales para algunos agricultores.
- **Rentabilidad del Cultivo:** Aunque un sistema telemétrico puede ofrecer beneficios en términos de optimización del cultivo y conservación de recursos, es esencial evaluar si estos beneficios compensan los costos asociados con su implementación y operación.

Legales

En Bogotá existen dos entidades principales encargadas del fomento de la agricultura urbana y periurbana en la ciudad, siendo estas la Secretaría de Distrital de Integración Social y el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Estas entidades velan por la integración de diferentes actores en torno al desarrollo de la agricultura y los huertos urbanos, así mismo, se encargan de formular lineamientos para el ejercicio de esta actividad y cumplimiento de la normativa colombiana.

En el caso de los huertos urbanos en Bogotá, las siguientes leyes y normativas afectan de forma directa al desarrollo del presente proyecto:

- Acuerdo 605 de 2015. "POR EL CUAL SE FORMULAN LOS LINEAMIENTOS PARA INSTITUCIONALIZAR EL PROGRAMA DE AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA AGROECOLÓGICA EN LA CIUDAD DE

BOGOTÁ." En el párrafo 3 se especifica que la Secretaría Distrital de Planeación tiene el objetivo de evaluar las áreas donde sea permitido el uso del suelo para fines de agricultura urbana, por tal motivo, el prototipo únicamente puede ser empleado en los huertos que se encuentran en las áreas establecidas para evitar incurrir en problemas legales.

- Decreto 531 de 2010. "POR EL CUAL SE REGLAMENTA LA SILVICULTURA URBANA, ZONAS VERDES Y LA JARDINERÍA EN BOGOTÁ Y SE DEFINEN LAS RESPONSABILIDADES DE LAS ENTIDADES DISTRITALES EN RELACIÓN CON EL TEMA Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES." En el Capítulo VII - Artículo 23° *Competencia en la promoción, fomento y asistencia técnica*, se especifica que el Jardín Botánico José Celestino Mutis es la entidad encargada de las actividades de investigación y transferencia tecnológica en las actividades relacionadas con la jardinería urbana, debido a esto, es necesario contactar con esta entidad para obtener su visto bueno en la implementación de sistemas telemétricos en huertos urbanos.
- Resolución N.º 361 de 30 de diciembre de 2020. "POR LA CUAL SE ESTABLECEN DISPOSICIONES EN MATERIA DE REGLAMENTACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA AGROECOLÓGICA EN EL ESPACIO PÚBLICO DEL DISTRITO CAPITAL DE BOGOTÁ, REGULADO POR EL DECRETO 552 DE 2018." Dentro de la definición de *Agricultura urbana y periurbana agroecológica* se deja en claro que deben utilizarse una gama de tecnología no contaminantes de tipo ambiental al momento de realizar este tipo de actividades, por este motivo, el prototipo debe

incluir tecnologías libres de emisiones de gases de efecto invernadero y, en lo posible, con un bajo coste energético.

Adicionalmente de las leyes que afectan al ámbito agrícola del proyecto, no existen leyes vigentes en Colombia que regulen el uso de sensores o microcontroladores como Arduino y su uso en proyectos a pequeña escala como lo son los huertos inteligentes. De hecho, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones fomenta activamente la modernización tecnológica del sector agrícola colombiano.

Salud y seguridad

La implementación del prototipo en los huertos urbanos de Bogotá no representa afectaciones sobre la salud de los agricultores u otros individuos que entren en contacto con el huerto. Esto se debe a que se trata de una serie de sensores comerciales, fáciles de utilizar y que no repercuten en emisiones, vertimientos o residuos que puedan perjudicar la salud humana. Además, se utiliza la impresión 3D para el prototipo del sistema embebido, el cual tampoco presenta afectaciones a la salud.

Por otro lado, en temas de seguridad es necesario mencionar que los sensores y el microcontrolador presentan un riesgo bajo de electrocución e incendio. La electrocución puede deberse a un mal manejo de los sensores, desgaste en el cableado o mediante el contacto del agua con estos dispositivos, en cualquier caso, este riesgo debe ser prevenido y evitado pues la tensión que maneja un Arduino Uno puede ir entre los 6 y los 20 Voltios, lo cual no es mortal, pero puede causar lesiones.

El riesgo por incendio se encuentra estrechamente relacionado con el uso de baterías de litio, pilas recargables o subidas abruptas del suministro eléctrico, lo cual puede llevar a que se generen chispas que, dependiendo del material del huerto y su ubicación, puede resultar en un incendio que afecte la seguridad de los agricultores.

Debido a estos motivos, el prototipo debe ser concebido de tal forma que ayude a reducir los riesgos por electrocución e incendio, el cual lleve a cabo su finalidad asegurando la seguridad de los agricultores.

Socioculturales

La percepción y actitud de los agricultores urbanos de la ciudad de Bogotá frente al uso de tecnologías como sensores, microcontroladores e impresión 3D en sus huertos puede llegar a ser muy diversa. En primer lugar, los agricultores urbanos de Bogotá no pertenecen a un grupo étnico particular, más bien, son un grupo de individuos con una afinidad en común. Por este motivo, no es posible llegar a un consenso en cuanto al uso de estas tecnologías en lo que para muchos es su afición o profesión.

A pesar de esta situación, el uso de la robótica y de las tecnologías de la información ha tenido una buena recepción en torno a la agricultura urbana en varias oportunidades, algunos ejemplos son:

Tecnologías informáticas para la agroecología urbana, la cual fue una convocatoria que se realizó en Bogotá en el año 2021, la cual tuvo como finalidad la creación de un aplicativo enfocado en la recolección de datos de un cultivo. Este aplicativo tendría como objetivo ofrecer un sistema para conectarlo a un cultivo y obtener su información en tiempo real lo cual, ayudaría a incrementar la eficiencia en el uso de los recursos (PLATAFORMA BOGOTÁ, 2021). Esta convocatoria sirve como precedente para el uso de tecnologías dentro de los cultivos en Bogotá y demuestra que los agricultores capitalinos pueden beneficiarse con estas iniciativas.

En video: ¡Los robots se toman las huertas urbanas de Bogotá! Fue un proyecto del año 2019 impulsado por la Alcaldía Mayor de Bogotá y el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis para el uso de robots en temas de agricultura e innovación. Estos robots permitirían realizar muestreos y explorar los corredores de árboles, así como identificar que especies o plagas pueden

afectar estas plantas (Castiblanco Herrera, 2019). En el video, se muestra el interés por parte de estudiantes de robótica en la implementación de estos sistemas en las huertas de la capital y su uso en el futuro.

Con esta información, se especula que los agricultores urbanos de Bogotá no van a oponerse al presente proyecto y sus implicaciones en el futuro.

Metodología

La metodología para la selección y desarrollo del sistema de telemetría en huertos urbanos en Bogotá se basa en un enfoque sistemático que permite identificar y seleccionar la solución óptima para los desafíos específicos de la misma, para ello vamos a trabajar en referencia un diagrama de Gantt, en el cual definiremos los pasos y procedimientos a seguir para la ejecución del proyecto.

Diseño 3D del sistema embebido

Un sistema embebido es un dispositivo con componentes electrónicos y programación computacional diseñado específicamente para cumplir una o varias funciones, estos dispositivos pueden incluir sensores, microcontroladores, cableado y circuitos impresos, pero por norma general se encuentran dentro o “embebidos” en un objeto compacto que sirve a modo de armadura o protección de los componentes electrónicos. La creación de esta armadura puede realizarse de múltiples formas: mecanizado, carpintería, impresión 3D, etc, para el presente proyecto se ha optado por diseñar el prototipo utilizando un programa CAD (Computer – Aided Design) y utilizar la impresión 3D para la materialización de la armadura.

Para el diseño 3D de la armadura se optó por utilizar el software de CAD SolidWorks por diversos motivos. Primero, SolidWorks es una poderosa herramienta que permite una amplia gama de opciones al momento de dibujar y diseñar prototipos para su posterior impresión 3D, esta

amplia gama permite crear diseños con un alto nivel de complejidad acorde a las necesidades del proyecto. Segundo, es un software que permite simular el comportamiento de los diseños utilizando diferentes materiales, con el objetivo de obtener una aproximación muy precisa de las cargas y fuerzas que puede soportar el prototipo en la realidad antes de alcanzar al fallo mecánico o fractura. Tercero, se trata de una herramienta con la que los investigadores se encuentran familiarizados y han utilizado en proyectos anterior, lo cual reduce drásticamente los tiempos de adaptación y la curva de aprendizaje. Dicho lo anterior, SolidWorks es la herramienta más apropiada para el diseño de la carcasa o armadura del sistema embebido. Adicionalmente, la impresión 3D es un proceso rápido y accesible que puede llevarse a cabo en diferentes lugares, como empresas especializadas, universidades o incluso desde una casa si se cuenta con este tipo de máquinas.

Microcontrolador y sensores

Los sistemas de control electrónicos modernos se ven representados usualmente por microcontroladores y microprocesadores, en el caso de este proyecto se utilizará el microchip ESP32 el cual contiene una antena Wifi-integrada, así como un comunicador Bluetooth. Este chip es de fácil acceso y bastante asequible, además que cuenta con un Firmware de fabrica que permite la escritura y sobreescritura de datos binarios a través del lenguaje de programación C++, el cual también cuenta con una extensa red de librerías que nos permite facilitar la comunicación con otros tipos de lenguajes y dispositivos.

Para poder alimentar con electricidad a nuestro dispositivo y sus sensores, se debe utilizar los tomacorrientes locales, el problema radica en que nuestra placa madre solo funciona con bajos voltajes, y la red eléctrica de Bogotá funciona con corriente de alto voltaje, para poder solucionar esta situación, se realizará un rectificador de voltaje y sus debidos filtros a través de un diseño de

puede de diodos y el uso de los circuitos integrados 7812, 7805, LM317 y 7912 respectivamente, lo cual entregará un flujo constante de energía a nuestros elementos electrónicos.

Al plantear la accesibilidad como uno de los objetivos de este proyecto, se contempló el uso de sensores de bajo costo y bajo consumo, por ello se utilizará módulos prefabricados que permitirá entregar un producto económico y que sea capaz de enviar información en tiempo real con una resolución de datos lo suficientemente estable para realizar un seguimiento continuo a un huerto urbano sin afectar negativamente la producción de este.

Plataforma de telemetría

El desarrollo de interfaces de usuario para diversos dispositivos ha sido impulsado por un inmenso grupo de lenguajes y tecnologías promovidas a lo largo de la última década como un mercado de desarrollo para el consumidor, por ello se debe limitar el uso de estas al momento de realizar un proyecto de comunicación y datos. Al ser este un prototipo con la necesidad de establecer una conexión directa entre hardware y software se escogió utilizar el lenguaje de programación Dart como base del BackEnd, o la lógica del programa, ya que este, al ser desarrollado por Google nos permite una gran interactividad entre sus diversos servicios, como la base de datos o data base (DB) que se utilizará, la cual es FireBase, en donde se tendrá dos tipos de DB, una en tiempo real o real time data base (RTDB) y otra de almacenamiento o server data base (SDB), a su vez se utilizará la tecnología Flutter como kit de desarrollo de software (SDK) el cual es un conjunto de herramientas que permiten una mejor estructura al momento de programar, y al ser este utilizado este como un framework o entorno de trabajo se podrá realizar el diseño de una interfaz de usuario o General User Interface (GUI) para el propietario del huerto urbano.

Cuando se habla de un sistema telemétrico nos referimos a una serie de sensores conectados a un módulo de control el cual debe ser capaz de procesar y enviar los datos recolectados a través de un sistema de comunicación convencional como WLAN o puertos

seriales. Para ellos se utilizará un sistema embebido con el microcontrolador ESP32, por ello se va a diseñar una PCB a través del programa Altium Designer que contemple la conectividad de los sensores a dicho controlador. Para poder garantizar la seguridad de nuestro apartado electrónico, se realizará un diseño de encapsulado a través del software SolidWorks y se fabricará con herramientas de impresión 3D. Esta placa electrónica será capaz de comunicarse con una red de internet que contactará la información a una aplicación móvil que se diseñará utilizando el lenguaje de programación Dart como base y la tecnología Flutter como framework para maximizar la accesibilidad a diversos dispositivos como teléfonos Android y IOS.

Análisis de costos

Se llevó a cabo un análisis detallado de costos como parte del proceso de creación del sistema de telemetría. Este análisis se realizó con la consideración de establecer una persona jurídica para el proyecto. En este contexto, se evaluaron los costos asociados con la creación y puesta en marcha del sistema, tomando en cuenta la necesidad de producir una cantidad inicial de 200 unidades. El análisis reveló que se requeriría una inversión inicial significativa para iniciar el proyecto. Se estimó un costo inicial total de 46,032,508 pesos colombianos para la producción de las 200 unidades iniciales del sistema de telemetría. Este monto comprende diversos gastos, incluyendo la adquisición de materiales, equipos, tecnología, etc, y puede ser apreciado en la tabla 1.

Tabla 1

Inversión inicial para el sistema de telemetría.

INVERSION INICIAL			
ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Impresora 3D	2	\$ 1.600.000,00	\$ 3.200.000,00
PLA	10	\$ 70.000,00	\$ 700.000,00
Computador	1	\$ 1.998.200,00	\$ 1.998.200,00
CNC	1	\$ 4.500.000,00	\$ 4.500.000,00
Baquela de 2 capas de cobre 10x10cm	50	\$ 9.000,00	\$ 450.000,00
Telefono Movil	1	\$ 990.000,00	\$ 990.000,00
BMP 280	200	\$ 7.500,00	\$ 1.500.000,00
LDR	200	\$ 7.400,61	\$ 1.480.122,00
MQ-135	200	\$ 6.537,86	\$ 1.307.572,00
HTU21 GY-21	200	\$ 12.076,92	\$ 2.415.384,00
SENO193	200	\$ 46.223,17	\$ 9.244.634,00
Sensor piezoelectrico 27mm	200	\$ 3.944,85	\$ 788.970,00
ESP32	200	\$ 26.331,13	\$ 5.266.226,00
Fuente de poder	200	\$ 56.387,00	\$ 11.277.400,00
Jumpers X40	100	\$ 9.000,00	\$ 900.000,00
Impuesto industria y comercio	1	\$ 14.000,00	\$ 14.000,00
			\$ 46.032.508,00

Nota: Elaboración propia.

Al considerar estos costos iniciales, se establece una base financiera para el proyecto y se proporciona una guía clara para la planificación y ejecución de las actividades relacionadas con el desarrollo del sistema de telemetría. Se determinó que la capacidad de producción mensual del sistema es de 50 unidades, a través de un análisis de costos de producción al mes. Esta cifra fue establecida tras evaluar cuidadosamente los recursos disponibles, las limitaciones de tiempo y los costos involucrados en el proceso de producción. Se reconoce que la producción de 50 dispositivos al mes es un objetivo alcanzable y realista, que permite mantener un equilibrio entre la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

Los costos de producción mensuales incluyen una variedad de gastos, como el consumo de servicios públicos (electricidad para este caso) y los costos asociados con la contratación y remuneración del personal necesario para llevar a cabo las tareas de producción, entregándonos un costo de producción de 9.029.216 pesos colombianos al mes. Esta información se encuentra recopilada en la tabla 2.

Tabla 2

Costos mensuales de producción.

COSTOS DE PRODUCCION AL MES			
SERVICIO O PRODUCTO	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
Servicio de Internet	1	\$ 126.000,00	\$ 126.000,00
Servicio de Electricidad	1	\$ 33.139,44	\$ 33.139,44
Mano de obra	1	\$ 325.000,00	\$ 325.000,00
BMP 280	50	\$ 7.500,00	\$ 375.000,00
LDR	50	\$ 7.400,61	\$ 370.030,50
MQ-135	50	\$ 6.537,86	\$ 326.893,00
HTU21 GY-21	50	\$ 12.076,92	\$ 603.846,00
SENO193	50	\$ 46.223,17	\$ 2.311.158,50
Sensor piezoelectrico 27mm	50	\$ 3.944,85	\$ 197.242,50
ESP32	50	\$ 26.331,13	\$ 1.316.556,50
Fuente de poder	50	\$ 56.387,00	\$ 2.819.350,00
Jumpers X40	25	\$ 9.000,00	\$ 225.000,00
			\$ 9.029.216,44

Nota: Elaboración propia.

Se realizó un análisis detallado sobre las posibles variaciones en el costo del servicio público de electricidad, considerando que estos costos pueden fluctuar a lo largo de diferentes

meses en función del consumo. Para abordar esta variabilidad, se llevó a cabo un cálculo del consumo de potencia por kilovatio hora (kWh), teniendo en cuenta el uso diario y el consumo por hora del sistema. El cálculo del consumo de potencia por kWh se basó en una evaluación de los patrones de uso y consumo de energía del sistema en diferentes momentos del día. Esta información permitió estimar el consumo de energía y, por ende, los costos asociados con el servicio público de electricidad. Se estableció que el valor de la tarifa por kWh es de 845.39 pesos colombianos, como se muestra en la tabla 3. Este valor sirve como referencia clave para calcular los costos de electricidad en función del consumo real energético.

Tabla 3

Consumos energéticos de la impresora 3D y el computador.

CONSUMO IMPRESORA 3D					
Potencia de la impresora kW	Tiempo de uso al día	Consumo al Día kWh	consumo kWh	costo \$/kWh	Total
0,31	4	1,24	24,8	\$ 845,39	\$ 20.965,77

CONSUMO COMPUTADOR					
Potencia de la impresora kW	Tiempo de uso al día	Consumo al Día kWh	consumo kWh	costo \$/kWh	Total
0,18	4	0,72	14,4	\$ 845,39	\$ 12.173,67

Consumo total al mes	\$ 33.139,44
----------------------	--------------

Nota: Elaboración propia.

Una vez concluido el análisis de los costos de producción mensuales, se determinó el costo final del producto y su utilidad. Se busca alcanzar una ganancia del 20% del valor generado, junto con el respectivo impuesto de IVA, según lo establecido por la actividad económica clasificada por el Código Industrial Internacional Uniforme (CIIU) de la persona jurídica. Según las estimaciones, el costo del producto asciende a 257,874.42 pesos colombianos por unidad, incluyendo todos los costos asociados desde la adquisición de materias primas hasta los gastos operativos y de mano de obra. Con este costo establecido, se proyecta una utilidad bruta de 43,340.24 pesos colombianos por unidad, lo que representa el 20% del valor generado por la venta del producto. Estos datos son cruciales para la toma de decisiones estratégicas en cuanto a la fijación de precios, la gestión de costos y la planificación financiera en el proyecto, esta información se ve reflejada en la tabla 4.

Tabla 4

Costo producto y ganancia.

COSTO PRODUCTO Y GANANCIA				
PRODUCTO	VALOR	IVA	TOTAL	GANANCIA
THI (Telemetria en huertos inteligentes)	\$ 216.701,19	\$ 41.173,23	\$ 257.874,42	\$ 43.340,24

Nota: Elaboración propia

Al considerar estas variaciones en los costos de servicios públicos, se pueden realizar proyecciones financieras más precisas y tomar decisiones informadas sobre el uso eficiente de la energía en el sistema. Se realizó una proyección financiera de tres periodos, cada uno de dos años,

para evaluar el desempeño y la viabilidad financiera del proyecto en el tiempo. Esta proyección comienza en el primer periodo, correspondiente al año 2024.

En este primer periodo, se estimó que las ventas alcanzarían aproximadamente 35 unidades por mes, lo que representa el 70% de la capacidad de producción. A pesar de estas ventas, se proyecta una utilidad neta en pérdida de 36,116.87 pesos colombianos. Este resultado se atribuye principalmente a una depreciación de 2,025,604 pesos colombianos y a unos gastos fijos elevados, derivados tanto de la inversión inicial como de los gastos operativos asociados con el proyecto.

Sin embargo, se prevé un crecimiento del 20% anual a partir del segundo año dentro del primer periodo. Esta proyección optimista sugiere que las utilidades netas comenzarán a generarse a partir del segundo año dentro del periodo 1, lo que indica una mejora en el desempeño financiero del proyecto con el tiempo. Además, se espera una recuperación del capital inicial a partir del año 2027, dentro del segundo periodo de la proyección. Este hito marca un punto clave en la evolución del proyecto, ya que representa la recuperación gradual de la inversión inicial realizada en el proyecto.

La tabla 5 proporciona una representación visual de esta proyección financiera, destacando los principales hitos y tendencias en el desempeño financiero del proyecto a lo largo de los tres periodos analizados.

Tabla 5

Proyección financiera.

	PROYECCION FINANCIERA					
	PERIODO 1		PERIODO 2		PERIODO 3	
	2024	2025	2026	2027	2028	2029
VENTAS	\$ 90.256.047,58	\$ 108.307.257,10	\$ 129.968.708,52	\$ 155.962.450,22	\$ 187.154.940,27	\$ 224.585.928,32
COSTO VENTAS	\$ 4.500.000,00	\$ 4.815.000,00	\$ 5.152.050,00	\$ 5.512.693,50	\$ 5.898.582,05	\$ 6.311.482,79
UTILIDAD BRUTA	\$ 90.256.047,58	\$ 108.307.257,10	\$ 129.968.708,52	\$ 155.962.450,22	\$ 187.154.940,27	\$ 224.585.928,32
GASTOS FIJOS DEL PERIODO	\$ 90.292.164,45	\$ 91.195.086,09	\$ 92.107.036,95	\$ 93.028.107,32	\$ 93.958.388,40	\$ 94.897.972,28
DEPRECIACION	\$ 2.025.604,76	\$ 2.025.604,76	\$ 2.025.604,76	\$ 2.025.604,76	\$ 2.025.604,76	\$ 2.025.604,76
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 15.169.083,63	\$ 16.685.991,99	\$ 129.968.708,52	\$ 155.962.450,22	\$ 187.154.940,27	\$ 224.585.928,32
IMPUESTOS	\$ 14.410.629,45	\$ 17.292.755,34	\$ 17.292.755,34	\$ 17.292.755,34	\$ 17.292.755,34	\$ 17.292.755,34
UTILIDAD NETA	-\$ 36.116,87	\$ 17.112.171,01	\$ 37.861.671,56	\$ 62.934.342,90	\$ 93.196.551,87	\$ 129.687.956,04

Nota: Elaboración propia.

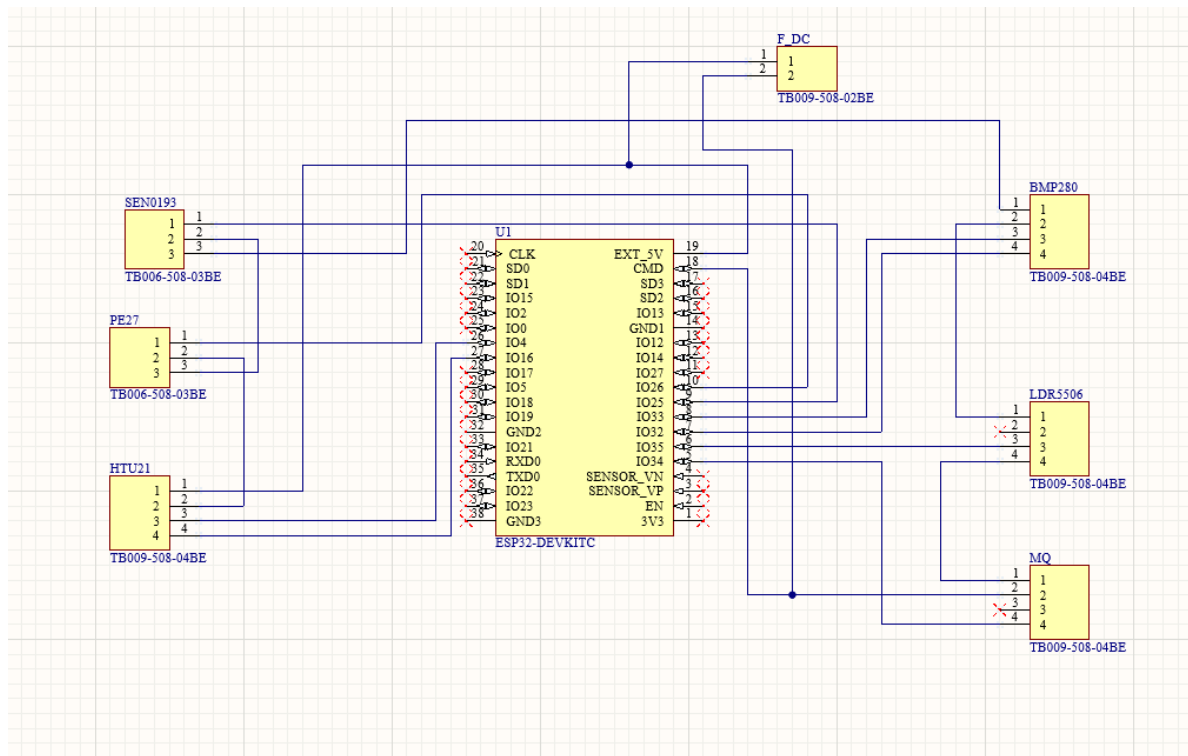
Análisis de resultados

Diseño de la placa PCB

Para poder tener un buen producto compacto y eficiente se optó por diseñar una PCB (Printed Circuit Board). La PCB funciona a forma de circuito, en el cual se implementará el módulo ESP32, que es el encargado de controlar y recibir la información de los sensores. Para el diseño inicial se realizó un paralelo entre el módulo ESP32 y los sensores, con el objetivo de disminuir la corriente que pasa en cada dispositivo, esto debe realizarse puesto que se quiere utilizar una fuente de 24 voltios a 5 amperios. Esta fuente es regulable y permite obtener un voltaje óptimo en cada uno de los dispositivos, como se puede ver en la figura 1.

Figura 1

Esquemático de la PCB.



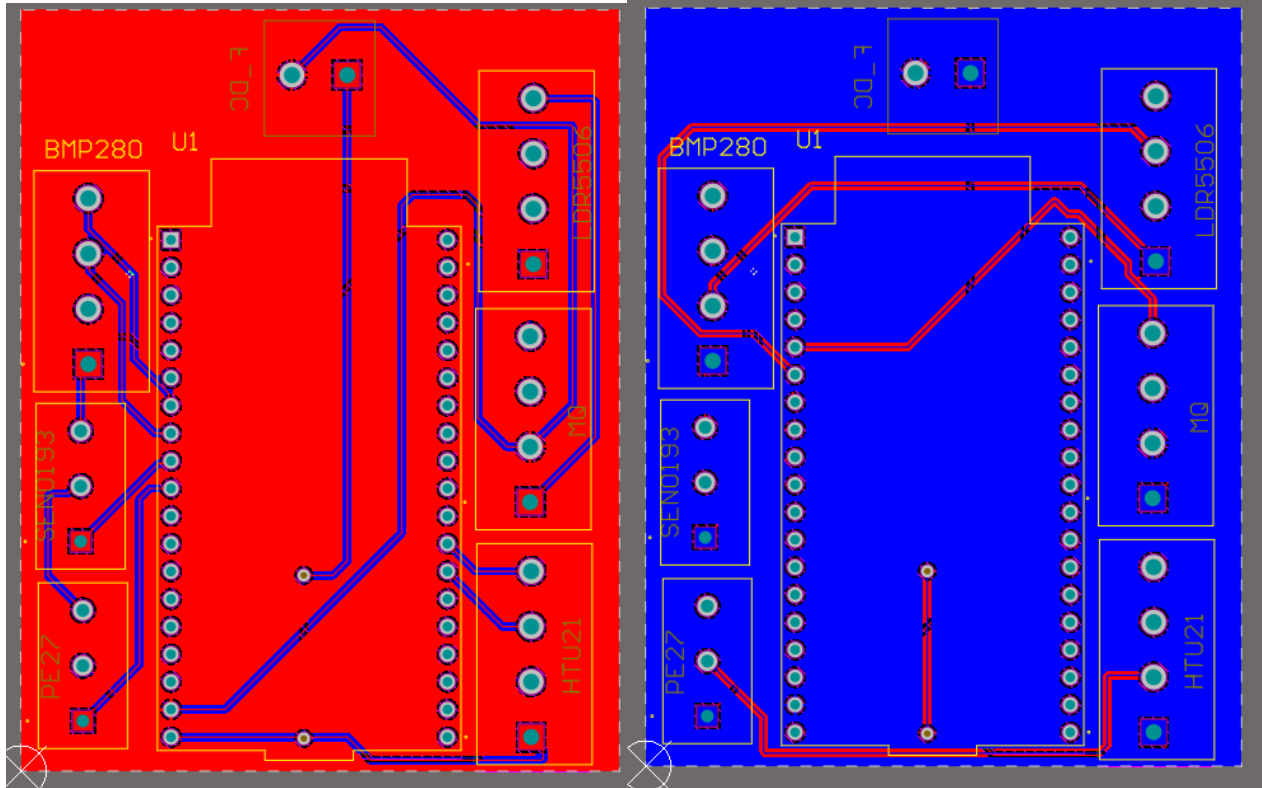
Nota: Elaboración propia.

Teniendo el esquemático inicial se decidió utilizar un diseño de PCB de dos capas, este diseño cuenta con una baquela que contiene una capa de cobre en la parte superior e inferior, así como una serie de caminos para las conexiones eléctricas y las perforaciones para la conexión de los sensores. El mecanizado de la baquela es un proceso que puede requerir cierto nivel de complejidad, por lo tanto y para lograr este proceso de manera eficiente, es necesario utilizar una maquina CNC (Control Numérico por Computadora). Como se puede observar en la figura 2, se generó un archivo Gerber a partir de la PCB, este archivo funciona como diseño de los componentes y sus vías de conexión, en este punto es donde se puede entrar a modificar el diseño final para optimizarlo en cuestiones de tamaño y espacio. Al comprimir el espacio para que fuese lo más compacto posible se obtuvo una PCB de 5.5cm x 7cm, logrando posicionar los componentes de forma eficiente mediante las conexiones previamente definidas, en este caso se

pueden observar los puertos de cada componente y sus vías en la capa superior (roja) e interior (azul) en la figura 2.

Figura 2

Archivo Gerder de la PCB.



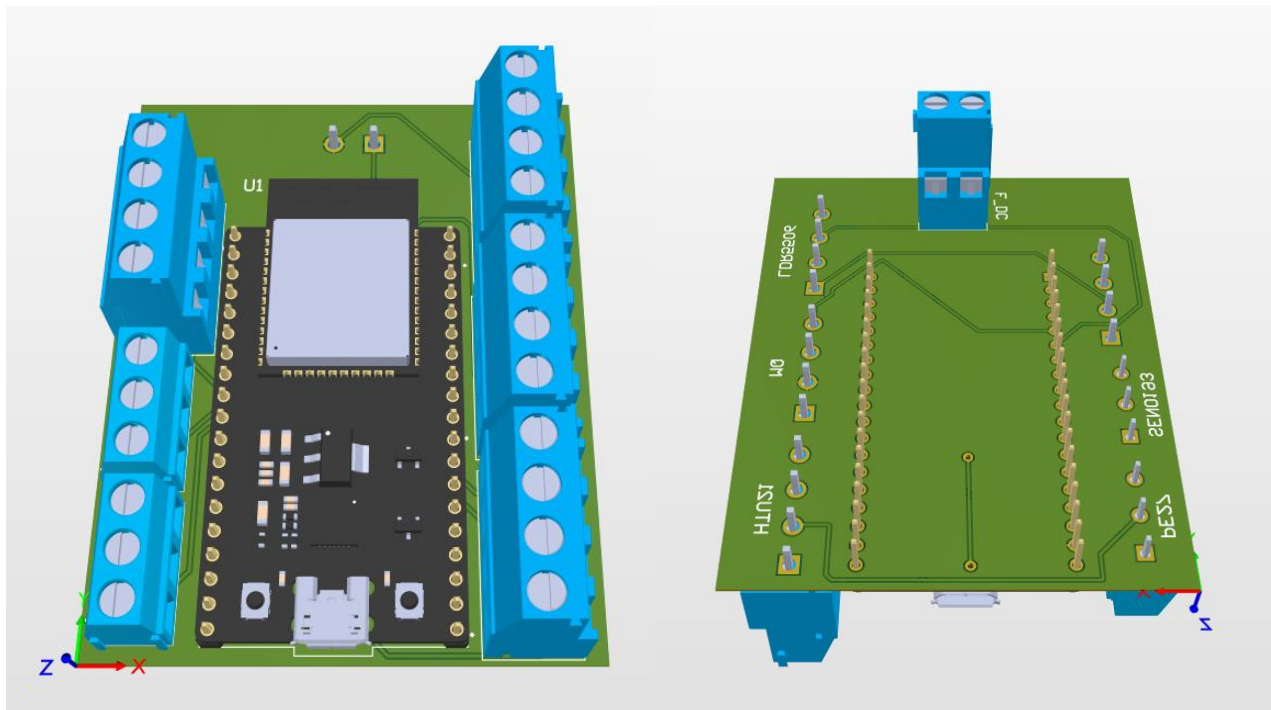
Nota: Elaboración propia.

Ya teniendo el esquemático y el archivo Gerber es posible obtener el diseño tridimensional de la PCB, como se muestra en la figura 3. Para este caso, la capa superior cuenta con la ESP32 en el centro de la PCB, esta posición facilita las conexiones con los demás dispositivos y permite una repartición óptima de las entradas de los sensores en los extremos para no saturar un solo lado con las conexiones. En la parte inferior se encuentra la entrada de la fuente de poder, así como también

los nombres de los componentes que se encuentran posicionados en la parte superior de la PCB, sirviendo como guía.

Figura 3

Modelo tridimensional de la PCB.



Nota: Elaboración propia.

Aplicativo Móvil

Se ha desarrollado un código en el lenguaje de programación C++ destinado a la visualización y captura de datos provenientes de diversos sensores. Este código fue diseñado específicamente para su ejecución en una tarjeta de desarrollo ESP32, conocida por su versatilidad y capacidad para interactuar con el entorno físico a través de una variedad de sensores. El objetivo

principal de este código es permitir la captura de información analógica del entorno circundante mediante la lectura y procesamiento de los datos provenientes de los sensores conectados.

Para facilitar la conectividad y la transferencia de datos, se emplearon dos librerías fundamentales: WiFi.h y Firebase. La primera, WiFi.h, es una librería que proporciona funcionalidades para la conexión automática a redes de Internet inalámbricas, permitiendo así que la tarjeta ESP32 pueda establecer una conexión remota y estable con una red WiFi disponible. Esto resulta fundamental para el acceso a servicios en la nube y la transmisión de datos de forma eficiente. Por otro lado, la librería Firebase juega un papel crucial en este proceso al permitir la comunicación directa con una base de datos en la nube en tiempo real. Esta funcionalidad posibilita la transmisión instantánea de los datos capturados por los sensores a una base de datos alojada en la nube, lo que facilita su posterior acceso, análisis y procesamiento desde cualquier ubicación con conexión a Internet. La inclusión de estas librerías puede observarse en la figura 4.

Figura 4

Librerías WiFi.h y Firebase.

```

1  #include <WiFi.h>
2  #include <Firebase_ESP_Client.h>
3  #include "addons/TokenHelper.h"
4  #include "addons/RTDBHelper.h"
5
6  #include <DHT.h>
7  #include <Wire.h>
8  #include <Arduino.h>
9
10 #define WIFI_SSID "CARDOZO MEDINA 2.4GHz ETB"
11 #define WIFI_PASSWORD "CMCMGPSS7890"
12 #define API_KEY "AIzaSyC0UwU85q2Yd_WpoKNptj8QJKSDhHYZl2A"
13 #define DATABASE_URL "https://smart-orchard-default-rtdb.firebaseio.com/"
14
15 FirebaseData fbdo;
16 FirebaseAuth auth;
17 FirebaseConfig config;
18
19 #define DHTPIN 14
20 #define DHTTYPE DHT11
21 #define FC28PIN 35
22 #define FC37PIN 25
23
24 int ValFC28PIN;
25 int ValFC37PIN;
26
27 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
28
29 unsigned long sendDataPreviewMillis = 0;
30 bool singUpOk = false;
31 int ldrData = 0;
32

```

Nota: Elaboración propia.

Además, se integraron librerías específicas de cada módulo de los sensores del sistema. Estas librerías adicionales son esenciales para garantizar la correcta captura y procesamiento de los datos provenientes de cada sensor, optimizando así la precisión y fiabilidad de la información recopilada. El resultado es un sistema robusto y versátil que permite capturar, transmitir y visualizar datos en tiempo real provenientes de múltiples sensores. La figura 5 proporciona una representación visual de la arquitectura y funcionamiento del sistema, destacando la integración de las diferentes componentes y librerías mencionadas anteriormente.

Figura 5

Librerías específicas para cada sensor.

```
34 void setup() {
35     //Seteamos la comunicacion WIFI
36     Serial.begin(115200);
37     Wifi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
38     Serial.print("Conectando al Wi-Fi");
39     while(Wifi.status() != WL_CONNECTED){
40         Serial.print(".");
41         delay(300);
42     }
43     Serial.println();
44     Serial.print("Conectado con la IP: ");
45     Serial.println(Wifi.localIP());
46     Serial.println();
47
48     //Nos conectamos a firebase
49     config.api_key = API_KEY;
50     config.database_url = DATABASE_URL;
51     if(Firebase.signUp(&config, &auth, "", "")){
52         Serial.println("Inicio de sesion correcto");
53         singUpOk = true;
54     }else{
55         Serial.printf("%s\n", config.signer.signupError.message.c_str());
56     }
57
58     config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
59     Firebase.begin(&config, &auth);
60     Firebase.reconnectWiFi(true);
61
62     dht.begin();
63     pinMode(FC28PIN, INPUT);
64 }
```

Nota: Elaboración propia.

Se implementó un sistema de recopilación de datos basado en una base de datos en tiempo real (Real Time Database) utilizando la plataforma Firebase de Google, como se puede observar en la figura 6. A partir de esta base de datos en la nube, se crearon grupos dedicados a cada sensor y variables específicas para capturar los datos provenientes de cada dispositivo. La frecuencia de actualización de estos datos se estableció en intervalos de 5 segundos, lo que garantiza una captura constante y actualizada de la información del entorno. La estructura organizativa de la base de datos permite una gestión eficiente de los datos capturados, facilitando su acceso y manipulación

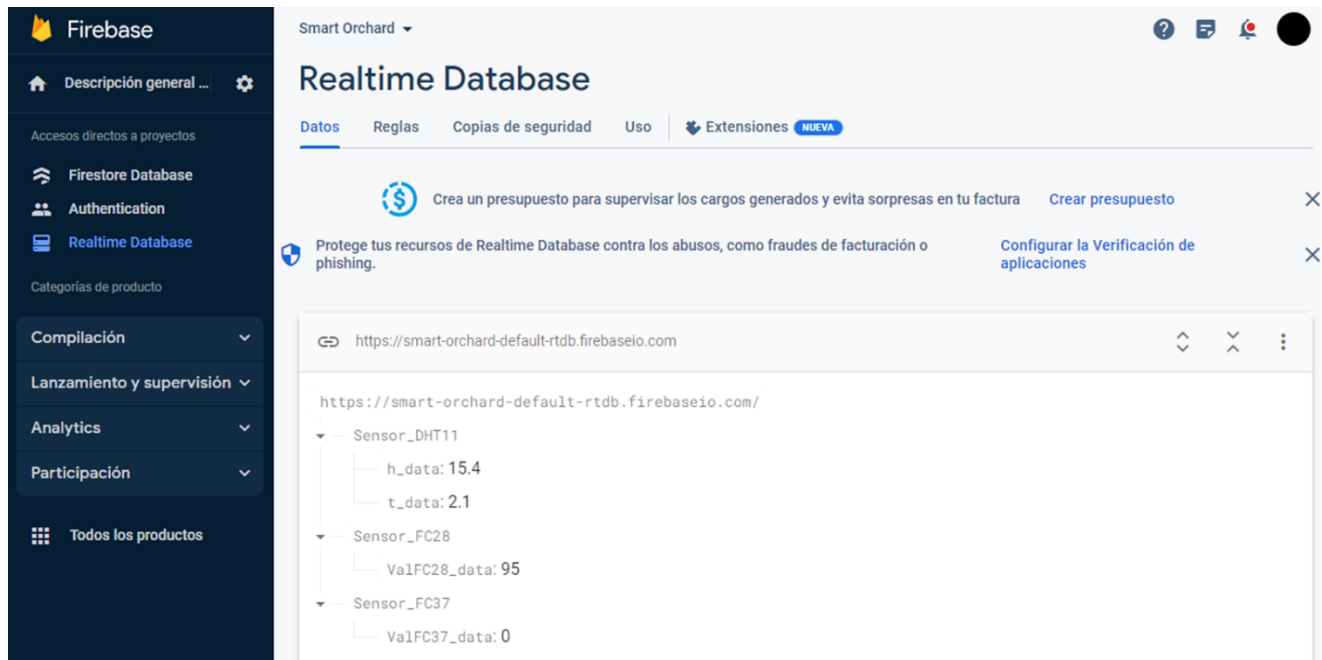
desde cualquier ubicación con acceso a Internet. Además, se habilitó la posibilidad de que otras aplicaciones puedan leer esta información, lo que amplía las posibilidades de uso y análisis de los datos recopilados.





Para conectar la base de datos en la nube a la tarjeta de desarrollo ESP32, es necesario realizar ciertas configuraciones adicionales. Esto incluye la obtención de la clave API web y la URL o dirección de Internet asociada a la base de datos Firebase. Estos datos deben ser incorporados en el código de la aplicación que se ejecuta en la tarjeta ESP32, lo que permite establecer la comunicación bidireccional entre la tarjeta y la base de datos en la nube.

La integración de estos elementos asegura una conexión fluida y segura entre la tarjeta ESP32 y la base de datos Firebase, permitiendo así la transmisión continua y confiable de los datos capturados por los sensores a la plataforma en la nube. Este proceso de integración es fundamental en el desarrollo del sistema, proporcionando las bases necesarias para su funcionamiento óptimo y el uso de datos recopilados en aplicaciones y análisis.

Figura 6

Base de datos en tiempo real.



Nombre del proyecto	Smart Orchard 
ID del proyecto 	smart-orchard
Número de proyecto 	939075945960
Ubicación predeterminada de los recursos de GCP 	southamerica-east1
Clave de API web	AIzaSyC0UwU85q2Yd_WpoKNptj8QJKSDhHYZI2A

Nota: Elaboración propia.

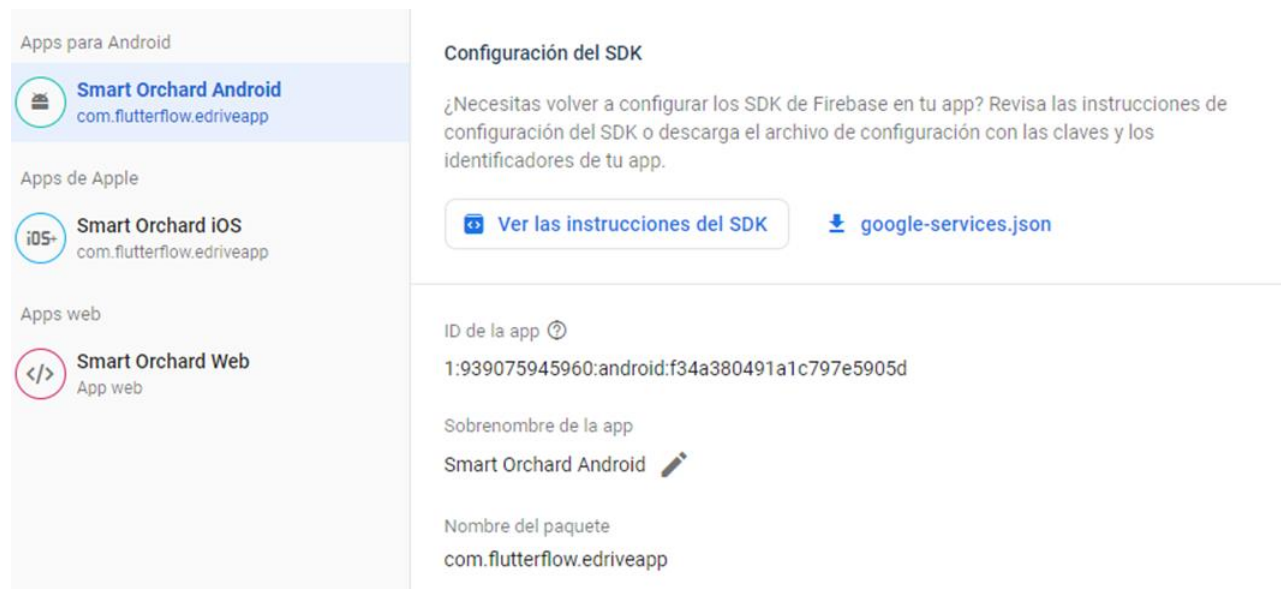
Se optó por el lenguaje de programación Dart y el framework Flutter en el entorno de desarrollo Android Studio para la creación del aplicativo móvil. El uso de Flutter proporciona una serie de ventajas significativas, entre las que se destaca la capacidad de generar archivos APK para dispositivos Android y, simultáneamente, instaladores para dispositivos iOS. Esta flexibilidad

resulta fundamental para garantizar la compatibilidad y accesibilidad del aplicativo en una amplia gama de dispositivos móviles.

La integración con la base de datos se lleva a cabo mediante la configuración del Software Development Kit (SDK) como se puede observar en la figura 7, siguiendo las instrucciones proporcionadas en la documentación de Firebase. Este proceso permite establecer una conexión efectiva entre el aplicativo y la base de datos en la nube, lo que posibilita la transferencia bidireccional de datos de forma segura y eficiente.

Figura 7

Configuración del Software development kit.



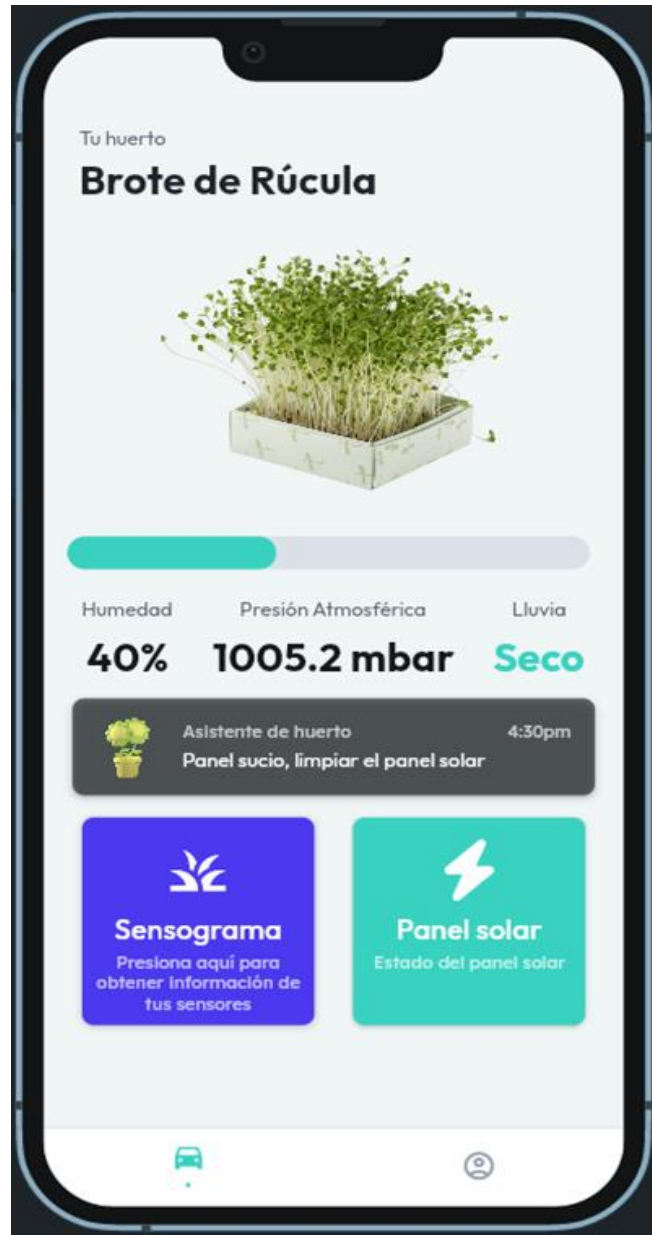
Nota: Elaboración propia.

Tras completar la configuración, se crea un tablero dentro del aplicativo móvil, presente en la figura 8. Este tablero sirve como interfaz principal para visualizar la información del huerto, incluyendo su porcentaje de humedad, presión atmosférica y otras estadísticas relevantes. Además,

se incorporan opciones para acceder a gráficas y estadísticas detalladas, así como la capacidad de modificar los datos del huerto y agregar múltiples huertos.

Figura 8

Dashboard de la aplicación.

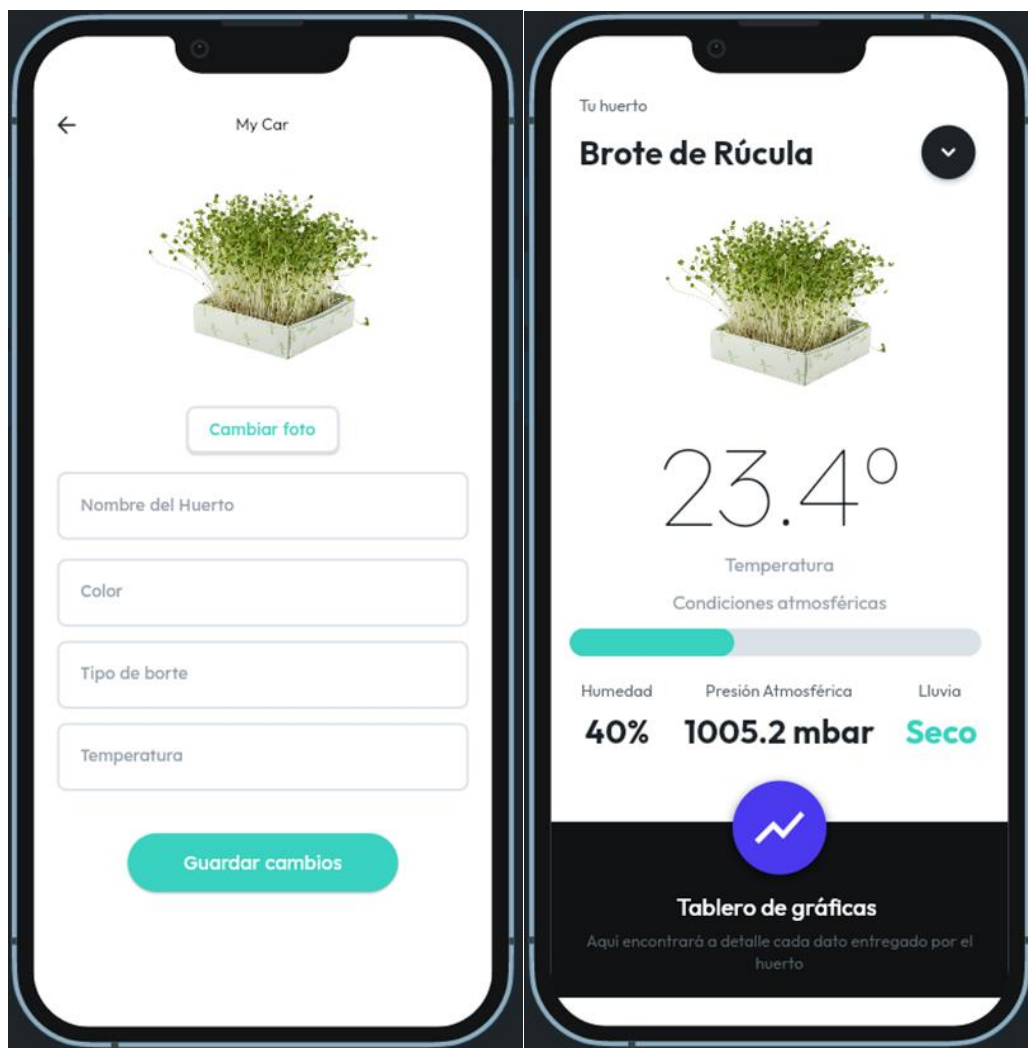


Nota: Elaboración propia.

El diseño del aplicativo se centra en ofrecer una experiencia de usuario intuitiva y completa, que permita a los usuarios acceder y gestionar la información de manera eficaz. Se incluyen funcionalidades adicionales como la visualización de detalles específicos de cada huerto, lo que proporciona una visión detallada y personalizada de cada sensor del cultivo dentro del sistema, como se puede apreciar en la figura 9.

Figura 9

Configuración y dashboard detallado de la aplicación.



Nota: Elaboración propia.

En resumen, la combinación de Dart, Flutter y Android Studio ofrece un entorno de desarrollo potente y versátil para la creación de aplicativos móviles, mientras que la integración con Firebase proporciona una solución robusta y escalable para la gestión de datos en la nube. Esta arquitectura permite la creación de aplicativos móviles funcionales y de alta calidad, con capacidades avanzadas de visualización y gestión de datos para una variedad de aplicaciones y escenarios de uso.

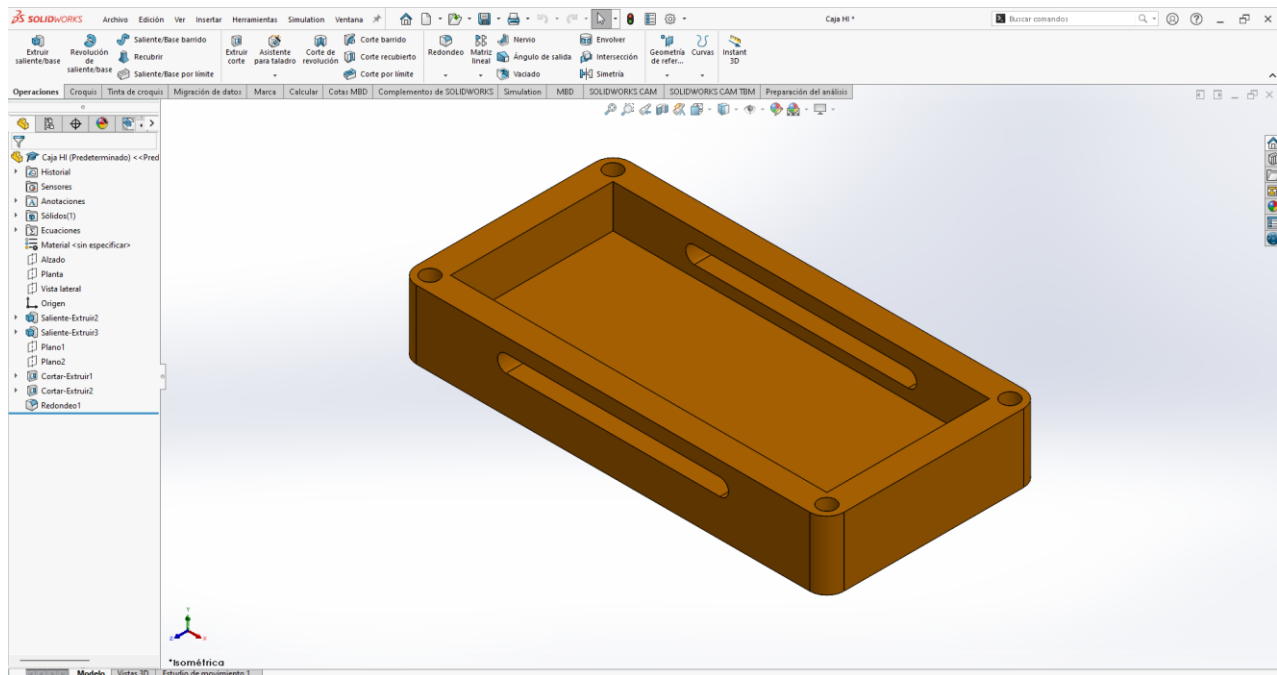
Modelado 3D del sistema embebido

Para proteger el conjunto conformado por la PCB, los sensores y la SP32 es necesario construir una protección externa, en la cual van a encontrarse todos los componentes electrónicos. Existen diferentes opciones para lograr este cometido, en esta investigación se optó por diseñar un contenedor utilizando programas CAD, este contenedor será posteriormente fabricado utilizando la impresión 3D.

Se empleo el software SolidWorks para el prototipado del contenedor, SolidWorks cuenta con una amplia gama de opciones al momento de diseñar en tres dimensiones, además, permite realizar análisis de resistencia y de materiales, para obtener una aproximación a como se comportará el contenedor una vez sea llevado a la realidad. El diseño debe permitir una fácil inserción y extracción de la PCB, también debe contar con orificios para la salida del cableado utilizado por los sensores, finalmente, debe ser pequeño y práctico para evitar gastos incensarios de material y tiempo en su construcción. En la figura 10 se muestra el diseño inicial del contenedor.

Figura 10

Diseño inicial del contenedor para el sistema embebido.



Nota: Elaboración propia.

Se utilizó la herramienta de *Ecuaciones* de SolidWokrs para agregar las medidas del contenedor como lo son: altura, ancho, largo, grosor, etc, utilizados en las cotas del diseño. De esta forma es más rápida y fácil la gestión de estos parámetros en el diseño 3D, puesto que se centraliza toda la información relacionada con las medidas y, de ser necesario, es posible modificar estos parámetros en el futuro si el contenedor inicial presenta oportunidades de fallas u oportunidades de mejora. Las ecuaciones pueden verse en la figura 11.

Figura 11

Tabla de con las medidas del contenedor.

Ecuaciones, variables globales y cotas

Filtrar todos los campos

Nombre	Valor/Ecuación	Equivalencia	Comentarios
Variables globales			
"Largo de la caja"	= 100	100	Largo de la caja
"Ancho de la caja"	= 50	50	Ancho de la caja
"Alto de la caja"	= 10	10	Altura de la caja
"Grosor de la caja"	= 6	6	Grosor de la pared que sepa
"Agujero tornillos"	= 4	4	Radio de los agujeros en lo
"Agujer cables"	= 2	2	Radio de los agujeros por lo
"Alto de la tapa"	= 1	1	Altura de la tapa de la caja
"Largo rejillas"	= 3	3	Largo de las rejillas de respi
"Ancho rejillas"	= 2	2	Ancho de las rejillas de respi
"Profundidad tornillos"	= 8	8	
"Largo rejilla cables"	= 50	50	
"Radio rendijas cables"	= 2	2	
<i>Agregar variable global</i>			
Operaciones			
<i>Agregar supresión de operación</i>			
Ecuaciones			
"D1@Croquis1"	= "Ancho de la caja"	50mm	
"D2@Croquis1"	= "Largo de la caja"	100mm	
"D3@Croquis1"	= "Grosor de la caja"	6mm	
"D4@Croquis1"	= "Grosor de la caja"	6mm	
"D5@Croquis1"	= "Grosor de la caja"	6mm	
"D6@Croquis1"	= "Grosor de la caja"	6mm	
"D1@Saliente-Extruir2"	= "Alto de la caja"	10mm	
"D1@Saliente-Extruir3"	= "Grosor de la caja"	6mm	
"D1@Cortar-Extruir1"	= "Profundidad tornillos"	8mm	
"D2@Croquis4"	= $0.2 * (\text{"Grosor de la caja"} * \text{sqr}(2)) / 2$	0.85mm	
"D1@Croquis5"	= "Largo rejilla cables"	50mm	
"D2@Croquis5"	= "Radio rendijas cables"	2mm	

Reconstruir automáticamente Unidades de ángulo: Solucionar orden automát.

Vínculo a archivo externo

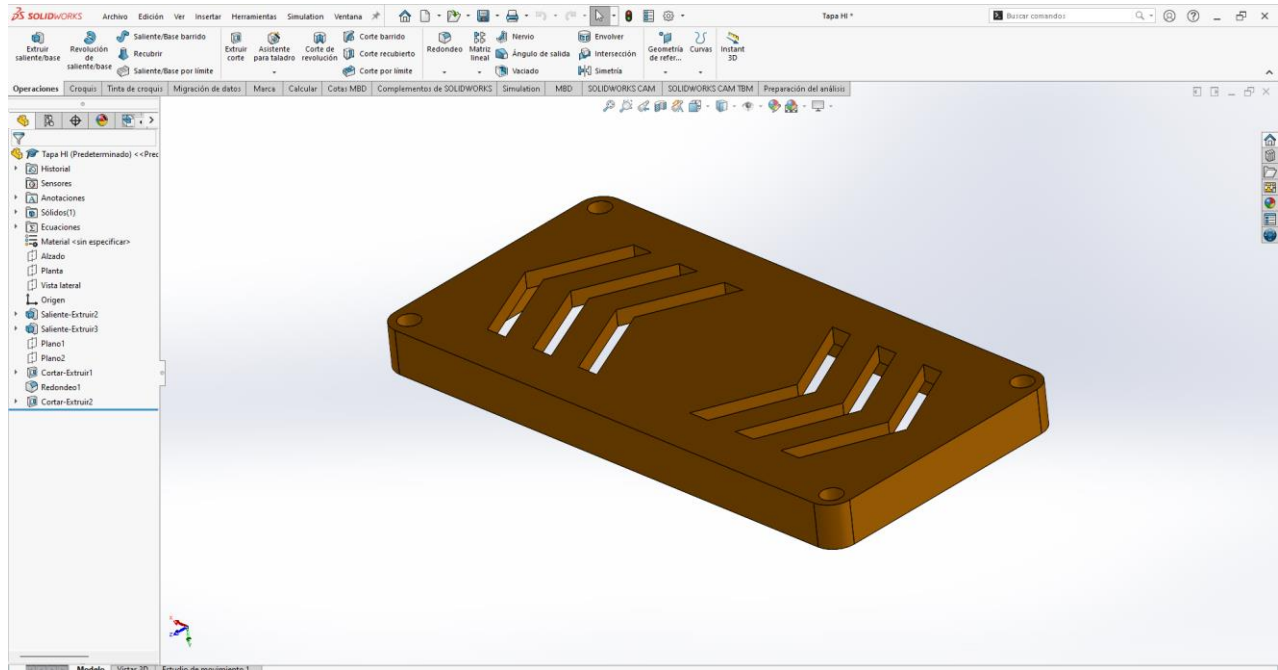
Aceptar
 Cancelar
 Importar...
 Exportar...
 Ayuda

Nota: Elaboración propia.

De igual forma, se diseñó una tapa para cerrar el sistema embebido, utilizando las mismas medidas del contenedor. La tapa puede verse en la figura 12.

Figura 12

Tapa del contenedor del sistema embebido.



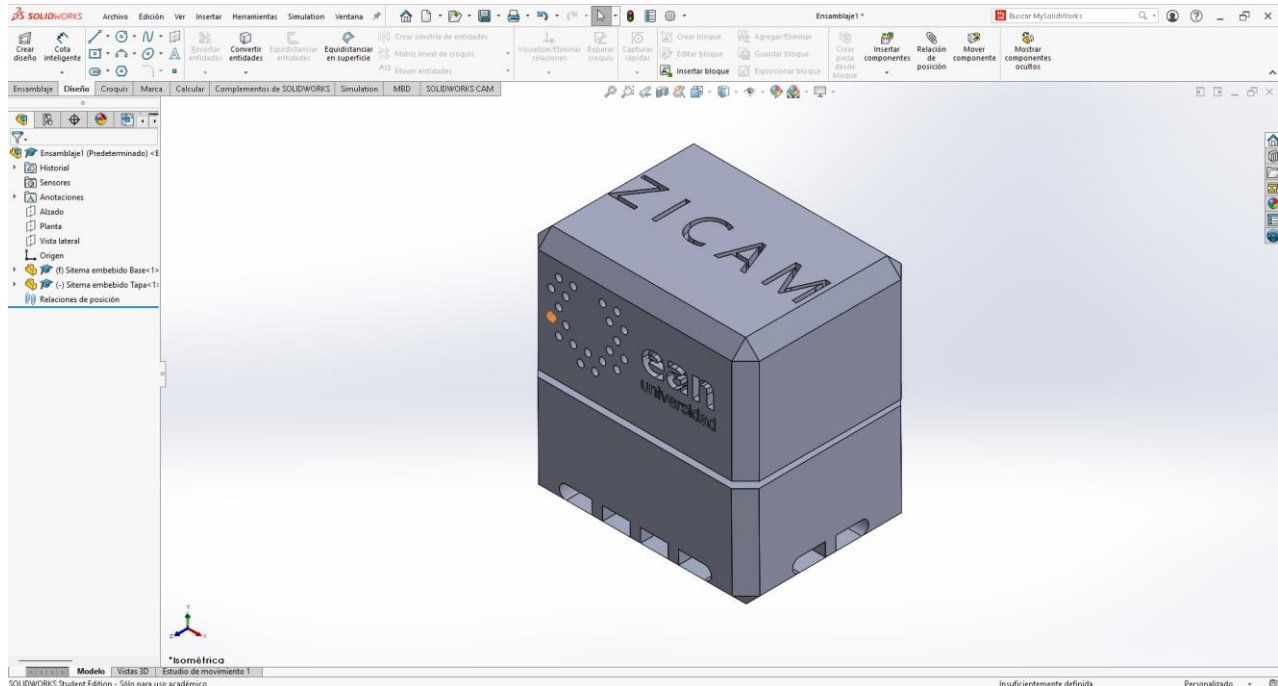
Nota: Elaboración propia.

Con el diseño listo es necesario pasar al proceso de manufactura, el cual va a ser realizado utilizando la impresión 3D. Este proceso es rápido y económico para el prototipado de diseños y permite utilizar una amplia gama de materiales para el contenedor, en este caso se utilizará PLA para los primeros prototipos pues es un plástico fácil de configurar en las impresoras 3D y se mantiene dentro de los gastos establecidos en el análisis de costos.

Después de múltiples ajustes el diseño final del prototipo puede observarse en la figura 13.

Figura 13

Prototipo final.



Nota: Elaboración propia.

Prototipado

Para el desarrollo del prototipo, se utilizaron los modelos diseñados en SolidWorks para el soporte del diseño de la PCB (placa de circuito impreso). Esta PCB fue creada con una máquina CNC de la empresa Makera garantizando precisión y calidad en la manufactura de los circuitos. Una vez diseñada, la PCB se imprimió y se procedió a ensamblar el prototipo, integrando seis sensores diferentes. Estos sensores incluyen uno de temperatura, uno de humedad del suelo, uno de humedad del aire, uno para detectar gases de efecto invernadero, uno de vibración y uno de presión barométrica, además de un sensor de fotoluminiscencia.

Para acomodar estos sensores, se realizaron surcos en la parte baja de la caja del prototipo, permitiendo que los sensores pudieran salir sin ningún problema y extenderse a lo largo del huerto. Esto no solo facilitó la disposición de los sensores en el entorno, sino que también aseguró la integridad del sistema al proteger los componentes internos.

Adicionalmente, se dejó una sección específica para la alimentación externa del dispositivo. Esta sección está diseñada para conectarse a un cargador de 5 voltios con una capacidad máxima de 2 amperios, lo que proporciona una potencia de entrada de 10 watts. Esta característica es crucial para garantizar un suministro de energía constante y eficiente, permitiendo el funcionamiento ininterrumpido del prototipo. El prototipo final se puede visualizar en la figura 14.

Figura 14

Prototipo final.



Nota: Elaboración propia.

El producto final se puede conectar a Internet con el microcontrolador ESP32. Este microcontrolador no solo facilita la conectividad, sino que también es responsable de enviar los datos recopilados por los sensores a una base de datos en tiempo real en Firebase. Esta capacidad de transmisión de datos en tiempo real es fundamental para el monitoreo continuo y la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

Una vez los datos son enviados a Firebase, estos pueden ser desplegados a través de un dashboard de información en una aplicación multiplataforma. Esta aplicación fue creada utilizando el framework Flutter y el lenguaje de programación Dart. Gracias a Flutter, la aplicación es versátil y puede funcionar en cualquier tipo de pantalla, incluyendo computadoras, tabletas y celulares. Esto asegura que los usuarios puedan acceder a la información en cualquier momento y desde cualquier dispositivo, proporcionando una experiencia de usuario intuitiva y consistente.

El desarrollo de este prototipo implicó un diseño meticuloso y una integración cuidadosa de múltiples componentes y tecnologías. El uso de SolidWorks para el diseño, la fabricación de la PCB con CNC, y la incorporación de diversos sensores, junto con la capacidad de conectividad proporcionada por el ESP32 y la implementación de una aplicación multiplataforma con Flutter, resultaron en un sistema robusto y eficiente. Este sistema no solo es capaz de monitorear múltiples parámetros ambientales en tiempo real, sino que también ofrece una interfaz de usuario accesible y adaptable para la visualización y análisis de datos.

Conclusiones

En primer lugar, se realizó una exhaustiva investigación sobre los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado. Estos sensores son compatibles con placas de desarrollo como Arduino y Raspberry Pi, y varían en precios y características técnicas, con costos entre \$10.500 y \$127.000 pesos. Tras analizar los precios y características, se decidió usar el microcontrolador ESP32 como el cerebro del circuito. Los sensores seleccionados fueron: HTU21 GY-21 para medir la humedad del aire y la temperatura, SEN 0193 para la humedad del suelo, y el sensor piezoeléctrico de 27mm para la conductividad eléctrica. Además, se incluyeron sensores

adicionales como el MQ-135 para medir la calidad del aire y el BMP 280 para cuantificar la presión atmosférica.

En segundo lugar, se construyó un prototipo funcional utilizando el microcontrolador ESP32 como controlador central e integrando los sensores seleccionados en una PCB compacta de 5.5 cm de ancho y 7cm de alta. Este modelo permitió optimizar el espacio requerido por el sistema, incrementando su portabilidad, así como su facilidad al momento de ser instalado y utilizado. Para proteger este dispositivo se diseñó y confecciono un sistema embebido impreso en 3D, mientras que los datos recopilados se enviaron a una base de datos mediante la conexión wifi de la ESP32, demostrando la funcionalidad y eficiencia del sistema en la recopilación y transmisión de datos en tiempo real.

En tercer lugar, se creó una interfaz de usuario utilizando el framework Flutter y el lenguaje de programación Dart, lo que permitió un desarrollo multiplataforma responsivo y adaptable a cualquier tipo de dispositivo. Los datos fueron obtenidos en tiempo real desde la base de datos de Firebase y se mostraron a través de un panel de control (Dashboard) accesible para el usuario final. Este enfoque garantiza una experiencia de usuario amena y coherente con la información recopilada.

Finalmente, se desarrolló con éxito un sistema de telemetría funcional escalable a huertos urbanos en la ciudad de Bogotá. El sistema cuenta con un sistema embebido capaz de recopilar y transmitir datos en tiempo real a una aplicación accesible para los agricultores urbanos. Al tener un conocimiento más preciso sobre el estado de los huertos en cuestión de humedad, temperatura, irradiación solar, entre otros, permite que el agricultor controle de mejor manera los recursos del agua, electricidad y fertilizantes, optimizando el ambiente de los cultivos sea el más óptimo y reduciendo el consumo de recursos, lo que se traduce en cultivos más eficientes y sanos.

Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2010). *DECRETO-531-2010*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020). Protocolo de Agricultura Urbana y Periurbana Agroecológica en espacio público en el marco de la resolución N, 361 de 20 de diciembre. *Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis*, 3(April).
- Antony, A. P., Leith, K., Jolley, C., Lu, J., & Sweeney, D. J. (2020). A review of practice and implementation of the internet of things (IoT) for smallholder agriculture. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/su12093750>
- Banco Distrital de Programas y Proyectos. (2023). Ficha de Estadística Básica de Inversión Local EBI-L. In *Banco Distrital de Programas y Proyectos*.
- Beck, N., & Johnson, I. (2007). Shaping TinyOS to deal with evolving device architectures: Experiences porting TinyOS-2.0 to the Chipcon CC2430. *Proceedings of the 4th Workshop on Embedded Networked Sensors, EmNets 2007*.
<https://doi.org/10.1145/1278972.1278994>
- Bojacá, C. R., & Schrevens, E. (2010). Energy assessment of peri-urban horticulture and its uncertainty: Case study for Bogota, Colombia. *Energy*, 35(5).
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.029>
- Cantor, K. M. (2010). Agricultura urbana: Elementos valorativos sobre su sostenibilidad. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 7(65).
- Cárdenas Ortiz, J. J. (2008). *Control de topologías y enrutamiento en redes inalámbricas de sensores* [Proyecto de grado - Maestría]. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Castiblanco Herrera, C. (2019, November 1). *En video: ¡Los robots se toman las huertas urbanas de Bogotá!* BOGOTÁ.

Concejo de Bogotá. (2015). *Acuerdo 605 de 2015*. 2015.

Daniel L. Bockhold, Allen L. Thompson, Kenneth A. Sudduth, & Joseph C. Henggeler.

(2013). *Irrigation Scheduling Using Infrared Thermometers to Measure Canopy Temperature on Cotton and Soybean*. <https://doi.org/10.13031/2013.14015>

Fisher, D. K., & Kebede, H. (2010). A low-cost microcontroller-based system to monitor crop temperature and water status. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(1). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.07.006>

Germán, E., Guzmán, H., Hernán, E., García, L., Botánico De Bogotá, J., & Mutis, J. C.

(2020). PASOS BÁSICOS PARA ESTABLECER Y MANEJAR TU HUERTA UNA GUÍA PRÁCTICA PARA AGRICULTORES URBANOS. In *Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis*.

Gómez, S. (2014, June 22). *Bogotanos crean sus propias huertas en las terrazas de las casas*. EL TIEMPO.

González-Dugo, M. P., Moran, M. S., Mateos, L., & Bryant, R. (2006). Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. *Irrigation Science*, 24(4). <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0022-8>

Monroy, N., Pérez, I., & Cure, J. R. (2001). ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN EL CLIMA Y LA PRODUCCIÓN DE ROSAS EN LA SABANA DE BOGOTÁ. *Universidad de Los Andes*.

Moraitis, M., Vaiopoulos, K., & Balafoutis, A. T. (2022). Design and Implementation of an Urban Farming Robot. *Micromachines*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/mi13020250>

PLATAFORMA BOGOTÁ. (2021, August 16). *TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS PARA LA AGROECOLOGÍA URBANA*. BOGOTÁ.

Resolución N.ª 361 de 30 de Diciembre de 2020 (2020). www.jbb.gov.co

Rincón, C. (2015). *SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE HUERTOS URBANOS*.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2022, May 23). *Huertas Urbanas: ¿Qué son y cuántas hay en Bogotá?* Ovserbatorio Ambiental de Bogotá.

Silva Martínez, C. E. (2007). *Simulación de protocolos de red eficientes en energía para redes inalámbricas de sensores* [Simulación de protocolos de red eficientes en energía para redes inalámbricas de sensores]. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

Suprem, A., Mahalik, N., & Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. In *Computer Standards and Interfaces* (Vol. 35, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.csi.2012.09.002>

Torres, L., & Rodríguez, J. C. (2021). *Huertos urbanos y el acercamiento al “Cero hambre.”* UNIVERSIDAD DE JAÉN.

Urías Borbón, D. S., & Ochoa de la Torre, J. M. (2020). Huertos urbanos como estrategia de resiliencia urbana en países en desarrollo. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 8, 81–102. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.143>

Zhu, J. (2009). On the power efficiency and optimal transmission range of wireless sensor nodes. *Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Electro/Information Technology, EIT 2009*. <https://doi.org/10.1109/EIT.2009.5189626>