

Sistema de monitoreo para plantas domésticas

Nelson Yair Ortiz Maldonado

Jhon William Rojas Silva

Asesor

Nilson Albeiro Ferreira Manzanares

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e IngenieríasECBTI

Ingeniería de sistemas

2025

Resumen

El proyecto surge como respuesta a la necesidad identificada en hogares que cuentan con plantas en materas y pequeños huertos domésticos, donde el cuidado depende en gran medida de la experiencia y disponibilidad de tiempo del cuidador. Esta situación genera problemas recurrentes como riegos excesivos o insuficientes, deficiencia de iluminación y fluctuaciones de temperatura que afectan directamente el desarrollo de las plantas. Para validar esta problemática, se aplicaron encuestas a los residentes de los pisos 1 al 5 de la torre I del Conjunto Residencial Verdebrisa, en la ciudad de Cali, con el fin de conocer las prácticas de cuidado y evidenciar la necesidad de un sistema que apoye la gestión de estas variables en el hogar.

El desarrollo del proyecto contempló la implementación de un prototipo basado en un microcontrolador ESP32, programado en Arduino IDE y en c++ mediante platformio, que integra sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad ambiental, nivel de luz y nivel de agua en el tanque. Estos dispositivos permiten una lectura continua de las condiciones críticas que inciden en el estado de las plantas. El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, manual, en el que el usuario puede accionar de forma directa el riego y la luz de apoyo desde la interfaz local o la aplicación móvil; y automático, en el que el sistema ejecuta las acciones definidas de acuerdo con los umbrales configurados por el usuario. En este último caso, la lógica incluye activar la bomba de agua cuando la humedad del sustrato desciende por debajo del umbral y el tanque tiene agua, encender o apagar la luz de apoyo en caso de déficit lumínico, y generar alertas por correo electrónico e incluso pitidos locales cuando se presenta una condición crítica, como el tanque vacío o un incremento de temperatura por encima del límite establecido. Como valor agregado, el sistema puede enlazarse mediante bluetooth con un teléfono móvil, lo que permite configurar al ESP32 como punto de acceso y definir directamente desde la

aplicación los parámetros necesarios para el funcionamiento del alertamiento. Entre estos parámetros se incluyen el correo emisor, el correo destinatario, la contraseña del emisor, así como la red WiFi y su respectiva clave, asegurando que el envío de notificaciones críticas e informativas se realice de forma confiable y personalizada. De igual manera, se incorporó una interfaz local compuesta por una pantalla LCD y botones de navegación, que complementan la interacción con la aplicación y permiten operar el sistema incluso en ausencia de conectividad.

Los resultados esperados se centran en disponer de un prototipo plenamente funcional, capaz de monitorear las condiciones de cada planta en tiempo real y de ejecutar acciones automáticas o manuales de acuerdo con los requerimientos definidos por el usuario. Además, se busca validar el sistema en un pilotaje dentro del Conjunto Residencial Verdebrisa, donde podrá evidenciarse su utilidad en la identificación de déficit de agua, luz o temperatura en plantas domésticas. Este proyecto pretende demostrar la viabilidad de implementar soluciones tecnológicas de bajo costo y fácil acceso que, más que reemplazar al cuidador, fortalezcan su capacidad de decisión y optimicen el manejo de recursos en el cuidado de plantas en entornos urbanos.

Palabras clave: Notificaciones Efectivas, Usabilidad, Alertas Críticas e Informativas, Autonomía del Usuario, Monitoreo de Plantas.

Abstract

The project arose in response to the need identified in homes with potted plants and small home gardens, where care depends largely on the experience and availability of the caregiver. This situation generates recurring problems such as excessive or insufficient watering, poor lighting, and temperature fluctuations that directly affect the plants' development. To validate this issue, surveys were conducted among residents of floors 1 to 5 of Tower I of the Verdebrisa residential complex, in the city of Cali, to learn about their care practices and highlight the need for a system that supports the management of these variables at home.

The project development included the implementation of a prototype based on an ESP32 microcontroller, programmed in Arduino IDE and C++ using PlatformIO. This prototype integrates sensors for soil moisture, ambient temperature and humidity, light level, and water level in the tank. These devices allow for continuous reading of the critical conditions that affect the plants' condition. The system has two operating modes: manual, in which the user can directly activate irrigation, the backup light, or the buzzer from the local interface or the mobile app; and automatic, in which the system executes the defined actions according to the thresholds configured by the user. In the latter case, the logic includes activating the water pump when the substrate moisture content drops below the threshold and the tank has water, turning the backup light on or off in the event of a light deficiency, and generating email alerts and even local beeps when a critical condition occurs, such as an empty tank or a temperature increase above the established limit.

As an added value, the system can be linked via Bluetooth with a mobile phone, allowing the ESP32 to be configured as an access point and the parameters necessary for the alert to operate can be defined directly from the app. These parameters include the sender email address, the

recipient email address, the sender's password, as well as the Wi-Fi network and its respective key, ensuring that critical and informative notifications are sent reliably and personalized. Likewise, a local interface consisting of an LCD screen and navigation buttons was incorporated, which complements interaction with the application and allows the system to be operated even in the absence of connectivity.

The expected results focus on having a fully functional prototype, capable of monitoring the conditions of each plant in real time and executing automatic or manual actions according to user-defined requirements. Furthermore, the system will be validated in a pilot project within the Verdebrisa residential complex, where its usefulness in identifying water, electricity, or temperature deficits in domestic plants will be demonstrated. This project aims to demonstrate the feasibility of implementing low-cost and easily accessible technological solutions that, rather than replacing the caretaker, strengthen their decision-making capacity and optimize resource management for plant care in urban environments.

Keywords: Effective Notifications; Usability; Critical And Informative Alerts; User Autonomy; Plant Monitoring.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación	18
Delimitación del Proyecto.....	20
Alertas por Pitido	20
Notificaciones Informativas (Correo Electrónico).....	20
Notificaciones Críticas (Correo Electrónico).....	20
Marco Conceptual y Teórico	22
Contexto y Necesidad del Sistema.....	22
Componentes de Hardware.....	22
Unidad de control – ESP32.....	22
Sensores	23
Interfaz Física y Alertamiento	23
Actuadores	23
Plataformas y Lenguajes de Programación.....	24
Arquitectura y Lógica del Sistema.....	24
Automático.....	24
Manual	24
Informativas	24

Críticas	24
Aplicaciones Similares y Diferenciación.....	24
Marco Jurídico	26
Metodología de Investigación.....	29
Metodología de Desarrollo	29
Enfoque Metodológico.....	30
Planeación y Alcance	30
Objetivo Operativo.....	30
Criterios de Inclusión del Piloto	31
Análisis de Requerimientos	32
Cronograma de Actividades.....	39
Levantamiento de Requerimientos y Diseño de Instrumentos	40
Requerimientos Funcionales (RF) clave.....	40
Instrumentos de recolección	42
Encuesta de línea base	42
Preguntas de Selección Múltiple.....	43
Preguntas Abiertas	45
Muestreo y Trabajo de Campo (encuesta de línea base).....	45
Población.....	45
Muestra objetivo	45
Procedimiento	45
Análisis de los Encuestados	46
Preguntas de Selección Múltiple.....	46

Preguntas Abiertas	55
Diseño del Sistema (arquitectura HW/SW)	59
Arquitectura de Hardware.....	60
Arquitectura de Software	63
Prototipado Electrónico (fase de laboratorio).....	66
Desarrollo de Firmware y Aplicación.....	68
Integración HW/SW y Pruebas Funcionales Previas.....	78
Pilotaje en Campo: Verdebrisa Torre I.....	81
Evaluación de Desempeño y Análisis de Datos.....	84
Instrumentos de Medición y Protocolo de Recolección	87
Cuestionario de Usabilidad y Pertinencia	91
Recursos utilizados	94
Resultados o Productos Esperados.....	95
Conclusiones.....	97
Recomendaciones	98
Limitaciones del Sistema	99
Propuestas Futuras	100
Referencias Bibliográficas	101

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Análisis de requerimientos</i>	32
Tabla 2 <i>Cronograma de Actividades</i>	39
Tabla 3 <i>Muestreo de Apartamentos</i>	86
Tabla 4 <i>Instrumentos de Medición</i>	87
Tabla 5 <i>Comparativo Consumo de Agua</i>	88
Tabla 6 <i>Precisión y Eficiencia</i>	89
Tabla 7 <i>Cuestionario de Usabilidad</i>	91
Tabla 8 <i>Recursos Utilizados</i>	94
Tabla 9 <i>Resultados Esperados</i>	95

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Interior Verdebrisa</i>	34
Figura 2 <i>Exterior Verdebrisa</i>	35
Figura 3 <i>Objetivos Comunes</i>	36
Figura 4 <i>Objetivos Especiales</i>	37
Figura 5 <i>Objetivos de Interior</i>	37
Figura 6 <i>Objetivos de Exterior</i>	38
Figura 7 <i>Primera Pregunta</i>	46
Figura 8 <i>Segunda Pregunta</i>	47
Figura 9 <i>Tercera Pregunta</i>	48
Figura 10 <i>Cuarta Pregunta</i>	49
Figura 11 <i>Quinta Pregunta</i>	51
Figura 12 <i>Sexta Pregunta</i>	52
Figura 13 <i>Séptima Pregunta</i>	53
Figura 14 <i>Octava Pregunta</i>	54
Figura 15 <i>Diseño Propuesta de Hardware</i>	61
Figura 16 <i>Propuesta Funcional</i>	62
Figura 17 <i>Lógica Propuesta para Riego Automático</i>	64
Figura 18 <i>Lógica Propuesta para Luz de Apoyo</i>	65
Figura 19 <i>Lógica Propuesta para Alzas de Temperatura</i>	66
Figura 20 <i>Prototipado Electrónico</i>	67
Figura 21 <i>Calibración de Sensores</i>	68

Figura 22 <i>Interfaz Visual APP Inventor</i>	75
Figura 23 <i>Programación en Bloques de Lectura</i>	76
Figura 24 <i>Programación por Bloques</i>	76
Figura 25 <i>Vista desde Celular</i>	77
Figura 26 <i>Pruebas de Suministro de Agua</i>	78
Figura 27 <i>Pruebas de Luz de Apoyo</i>	79
Figura 28 <i>Pruebas de Riego sin Agua</i>	80
Figura 29 <i>Alertamiento por Correo</i>	81
Figura 30 <i>Planta de Pruebas</i>	82
Figura 31 <i>Monitoreo desde APP</i>	83
Figura 32 <i>Tendencias Iniciales de Alertamiento</i>	84
Figura 33 <i>Comparativo Consumo de Agua</i>	88
Figura 34 <i>Precisión y Eficiencia</i>	90
Figura 35 <i>Pregunta 1</i>	92
Figura 36 <i>Pregunta 4</i>	93
Figura 37 <i>Diseño del Prototipo en Draw.io</i>	104
Figura 38 <i>Vista Previa del Prototipo Simulado</i>	105
Figura 39 <i>Código Público en GitHub</i>	106
Figura 40 <i>Artículo IEEE</i>	107
Figura 41 <i>Manual de uso</i>	108

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Enlace del Diseño</i>	104
Apéndice B <i>Enlace del Prototipo Simulado</i>	105
Apéndice C <i>Enlace del Código GITHUB</i>	106
Apéndice D <i>Enlace del Artículo IEEE</i>	107
Apéndice E <i>Manual de Uso para Interacción Física</i>	108

Introducción

El cuidado de plantas en los hogares ha sido tradicionalmente una práctica muy valorada, ya sea en jardines, macetas o pequeños huertos domésticos, porque representa una forma de conexión directa entre las personas y la naturaleza, aun en contextos urbanos. Sin embargo, mantener este hábito saludable y cultural implica retos importantes, no siempre se cuenta con el tiempo, la experiencia o las condiciones adecuadas para garantizar el suministro correcto de agua, la cantidad suficiente de luz o el control de la temperatura ambiental. Estas dificultades suelen derivar en un deterioro progresivo de las plantas y en la frustración de los cuidadores, quienes muchas veces actúan de forma empírica y sin una guía clara que les permita tomar decisiones más acertadas.

Para atender esta necesidad, se planteó el diseño de un sistema de apoyo que permita monitorear en tiempo real los factores más determinantes para el crecimiento vegetal. El proyecto se centra en la implementación de un prototipo con base en el microcontrolador ESP32, que integra sensores de humedad del suelo, temperatura, humedad ambiental, iluminación y nivel de agua en el tanque, para brindar un panorama completo de las condiciones del entorno. La evidencia muestra que las soluciones IOT pueden optimizar el cuidado de plantas y reducir de forma significativa el consumo de agua mediante riegos precisos y adaptados a cada cultivo (Correa-Quiroz et al., 2025). Resultados adicionales en contextos similares refuerzan estos hallazgos (Pereira et al., 2023).

El sistema que aquí se propone no se limita a ofrecer datos, sino que otorga al usuario la posibilidad de configurar umbrales personalizados para cada variable crítica. De esta manera, en modo automático, la lógica programada acciona la bomba de agua cuando el nivel de humedad es insuficiente y hay disponibilidad en el tanque, enciende la luz de apoyo cuando la iluminación

es deficiente, y genera alertas críticas o informativas tanto a nivel local (buzzer) como remoto (correo electrónico). En modo manual, el usuario conserva siempre la capacidad de activar o desactivar los actuadores según su criterio. Además, mediante conexión bluetooth, es posible configurar al ESP32 como punto de acceso y establecer directamente desde la aplicación móvil los parámetros de alertamiento, incluyendo cuentas de correo, credenciales y redes WiFi de soporte.

De esta forma, el proyecto busca reforzar la tradición doméstica de cultivar y mantener plantas, incorporando herramientas tecnológicas que hagan más sostenible y confiable esta práctica. Al validar el prototipo en el Conjunto Residencial Verdebrisa, torre I, se espera evidenciar su aporte en la identificación de déficits de agua, luz o temperatura, demostrando que la combinación de hábitos tradicionales con soluciones tecnológicas modernas fortalece el vínculo de las personas con sus plantas y mejora significativamente las condiciones de cuidado en espacios urbanos. Evidencia de desarrollos con ESP32 respalda la fiabilidad del monitoreo y control en dispositivos IoT (Hercog et al., 2023). En escenarios de invernadero, los sistemas IoT han mostrado mejoras en la supervisión ambiental y el control de riego (Seetaram et al., 2024). Asimismo, aplicaciones de agricultura inteligente confirman la viabilidad del enfoque en contextos reales (Daud et al., 2025).

Planteamiento del Problema

El problema identificado parte de la dificultad que enfrentan muchos hogares al cuidar sus plantas domésticas. La falta de tiempo, experiencia o conocimientos técnicos lleva a que el riego, la exposición a la luz o el control de la temperatura se realicen de manera empírica, lo que con frecuencia ocasiona deficiencias hídricas, exceso de humedad, falta de iluminación o condiciones térmicas inadecuadas que afectan la salud de las plantas. En este contexto, surge la pregunta central. ¿cómo puede un sistema de monitoreo electrónico apoyar el cuidado de las plantas domésticas al detectar en tiempo real las condiciones que ponen en riesgo su salud?, de igual manera, considerando que la solución planteada permite configurar umbrales personalizados y generar alertas tanto locales como remotas, se formula una segunda pregunta orientadora. ¿En qué medida el prototipo demuestra efectividad operacional en la optimización de recursos hídricos y lumínicos, así como en la automatización de tareas que tradicionalmente requieren intervención del usuario?, esta situación genera la necesidad de contar con una herramienta que apoye a los cuidadores, no como un reemplazo de su labor, sino como un complemento que les permita tomar decisiones más informadas y oportunas sobre el estado real de sus cultivos.

A pesar de que existen sistemas de monitoreo y automatización en el ámbito agrícola, la mayoría están diseñados para grandes cultivos y no se adaptan a la escala, necesidades y recursos de la jardinería doméstica. Esta falta de soluciones accesibles y específicas impide que las personas, especialmente aquellas sin conocimientos técnicos, puedan contar con información confiable y continua para tomar decisiones informadas sobre el cuidado de sus plantas.

Por lo tanto, se hace necesaria la creación de herramientas tecnológicas asequibles, adaptadas a entornos domésticos, que combinen monitoreo preciso con funciones de apoyo

automatizado, optimizando el uso de recursos como agua y energía, y contribuyendo a que más personas puedan mantener sus plantas en condiciones óptimas. Esto no solo favorece el bienestar individual, sino que también refuerza la conexión de la sociedad con la naturaleza y promueve una cultura de sostenibilidad que, frente a los desafíos ambientales actuales, resulta urgente e indispensable.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar y validar una solución tecnológica de apoyo para el monitoreo y cuidado de plantas domésticas, que integre medición ambiental, riego e iluminación automatizados, así como alertas sonoras y notificaciones por correo, con el fin de proporcionar información confiable y oportuna que facilite la toma de decisiones informadas, fomente la autonomía del usuario y contribuya al mantenimiento saludable y sostenible de jardines en el hogar.

Objetivos Específicos

Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva que muestre en tiempo real los datos recolectados y facilite la configuración de parámetros de referencia para activar alertas.

Incorporar un sistema de notificaciones por correo que mantenga informado al usuario fuera de casa y que sirva como historial de eventos para la evaluación del entorno de la planta.

Integrar funciones de apoyo automatizado como riego y luz suplementaria para cubrir periodos cortos de ausencia, garantizando que su activación esté sujeta a la disponibilidad de energía y recursos.

Optimizar el uso de agua y energía mediante la activación selectiva de funciones automáticas, priorizando la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos.

Asegurar la adaptabilidad del sistema a diferentes especies de plantas y a las condiciones variables de cada entorno doméstico, sin depender de parámetros universales preestablecidos.

Validar la eficacia del sistema a través de pruebas en diferentes contextos domésticos, recopilando datos que permitan ajustar su funcionamiento y mejorar la experiencia del usuario.

Fomentar la adopción de hábitos sostenibles mediante la provisión de información confiable y herramientas tecnológicas que apoyen el cuidado responsable de las plantas.

Justificación

En un entorno doméstico, las plantas dependen totalmente de que el cuidador pueda garantizarles condiciones óptimas, pues no tienen la capacidad de adaptarse de forma inmediata a variaciones de luz, temperatura o humedad que el ambiente pueda presentar. Estas variables cambian constantemente debido a factores como la orientación solar, las estaciones del año, el uso de sistemas de climatización, la sombra de edificaciones o incluso la ventilación natural del lugar. Frente a esta realidad, un sistema que solo mida condiciones o que se base en parámetros genéricos no es suficiente para asegurar un desarrollo saludable, ya que ignora la particularidad de cada especie y de cada hogar.

Este proyecto supera esa limitación al poner en manos del usuario la definición de los valores de referencia que realmente importan para su planta, de forma que cualquier acción automática se ejecute únicamente si los datos registrados se desvían de esos umbrales establecidos. Así, cuando la humedad del sustrato esté por debajo del valor definido, el sistema activará el riego; si la luz ambiental es insuficiente, encenderá la luz de apoyo. Ambas acciones estarán siempre condicionadas por la disponibilidad real de recursos, en el caso del riego, el sistema no funcionará si el nivel del tanque es insuficiente, generando de inmediato una alerta por pitido y una notificación por correo para que el usuario sea consciente de la situación y pueda actuar.

Este mismo esquema de alertamiento aplica para todas las condiciones que desencadenan una acción automática, permitiendo que el usuario no solo se entere de la intervención realizada, sino también del motivo que la originó. Este enfoque garantiza que, incluso en su ausencia, el cuidador mantenga el control total de la situación y pueda evaluar si es necesario hacer ajustes

adicionales, como cambiar la ubicación de la planta, modificar los parámetros o reabastecer el tanque.

Un aspecto diferenciador fundamental está en las mediciones de desempeño previstas, planteadas con el fin de demostrar la viabilidad y el impacto del sistema más allá de la funcionalidad básica. Se espera que el prototipo logre reducir en al menos un 30 % el consumo de agua en comparación con el riego manual, gracias a la activación precisa de la bomba solo cuando el sustrato realmente lo necesita. Adicionalmente, se proyecta que las automatizaciones implementadas disminuyan en un 40 % las intervenciones directas del usuario, descargándolo de tareas repetitivas sin excluirlo de las decisiones críticas. Estas métricas hacen del sistema una herramienta que no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también alivia la carga operativa del cuidador, fomentando su autonomía y eficiencia.

A diferencia de otros sistemas que operan como “cajas negras” ejecutando acciones sin explicación ni control, esta propuesta asegura transparencia, trazabilidad y adaptabilidad. No reemplaza la presencia del cuidador, sino que le proporciona un respaldo inteligente que actúa como extensión de sus decisiones. Esto convierte la automatización en un complemento preciso y confiable, capaz de optimizar recursos como agua y energía sin perder de vista que el verdadero criterio de cuidado sigue estando en manos del usuario, defendiendo así el valor central del proyecto.

Delimitación del Proyecto

Este proyecto se desarrollará exclusivamente para el cuidado de plantas en entornos domésticos, que incluye materas individuales ubicadas en su interior como balcones y patios. Su alcance se centra en el monitoreo y apoyo en la toma de decisiones para optimizar las condiciones de luz, temperatura y humedad del sustrato, sin incluir funciones de control sobre otras variables como fertilización o poda.

El sistema contará con dos modos de funcionamiento, automático, en el que las acciones de riego y encendido de la luz de apoyo se ejecutarán únicamente si los valores monitoreados se encuentran por debajo de los umbrales establecidos por el usuario, y manual, en el que el usuario tendrá el control total para activar o desactivar dichas funciones en cualquier momento.

El esquema de alertamiento estará definido de la siguiente manera:

Alertas por Pitido

Se emitirán cuando la temperatura supere el umbral definido por el usuario o cuando el tanque de agua esté vacío y, por lo tanto, no pueda realizarse el riego automático.

Notificaciones Informativas (Correo Electrónico)

Se enviarán cuando el sistema active el riego o cuando se encienda la luz de apoyo, indicando que estas acciones se realizaron en respuesta a las condiciones detectadas.

Notificaciones Críticas (Correo Electrónico)

Se enviarán cuando la temperatura supere el umbral definido o cuando no haya suministro de agua en el tanque, informando al usuario sobre situaciones que requieren atención prioritaria.

El riego estará limitado por la disponibilidad de agua en el tanque, y la luz de apoyo se usará exclusivamente para suplir déficits lumínicos temporales, no como fuente principal para el crecimiento de la planta.

Este sistema no busca reemplazar el cuidado humano, sino complementarlo mediante datos en tiempo real, acciones automatizadas condicionadas y un sistema de alertas que permita al usuario analizar y actuar en consecuencia. Su aplicación se limita a contextos domésticos y no está diseñada para usos industriales, agrícolas de gran escala o sistemas hidropónicos avanzados.

En cuanto a la fase de implementación, las pruebas y validaciones se realizarán únicamente en el Conjunto Verdebrisa Torre I, lo que permitirá evaluar el funcionamiento del sistema en un entorno doméstico real y controlado, con condiciones específicas de iluminación, temperatura y ventilación propias de este lugar.

Marco Conceptual y Teórico

Contexto y Necesidad del Sistema

Cuidar plantas en interiores es un desafío porque es complicado mantener estables factores como la luz, la humedad y la temperatura. Estos elementos varían constantemente por la orientación de las ventanas, los cambios estacionales y el uso de aire acondicionado. Como el control se hace a menudo por intuición, es común que las plantas sufran por riegos incorrectos, falta de luz o cambios bruscos de temperatura, lo que perjudica su crecimiento.

Diversos estudios señalan que la implementación de sistemas de monitoreo y control basados en IoT (Internet of Things) puede mejorar la precisión del cuidado de plantas al proporcionar datos en tiempo real y ejecutar acciones automatizadas según condiciones específicas (Fernández-Ahumada *et al.*, 2019). En este sentido, el sistema propuesto se diferencia al no usar parámetros preconfigurados, sino permitir que el usuario defina umbrales personalizados para cada variable crítica, garantizando que las acciones automáticas y alertas se ajusten a las necesidades reales de sus plantas.

Componentes de Hardware

Unidad de Control – ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de doble núcleo con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada, diseñado para aplicaciones IOT de bajo consumo energético. Su capacidad de procesamiento y manejo de periféricos lo hace ideal para integrar sensores ambientales, actuadores y comunicación inalámbrica en un solo dispositivo (Hercog et al., 2023). En este sistema, el ESP32 coordina la lectura de todos los sensores, controla la bomba de agua y la luz de apoyo, y envía datos a la aplicación móvil por medio de Bluetooth.

Sensores

Sensor DHT11 (Temperatura y Humedad Ambiental). Este sensor digital combina un termistor y un sensor capacitivo de humedad para ofrecer mediciones confiables, con bajo consumo y fácil integración (Seetaram et al., 2024).

Fotorresistor LDR (Medición de Luz). Detecta cambios en la intensidad lumínica, permitiendo activar iluminación suplementaria en condiciones críticas (Correa-Quiroz et al., 2025).

Sensor de Humedad de Suelo. Mide el contenido de agua en el sustrato y activa el riego cuando el valor está por debajo del umbral configurado, optimizando el uso del agua y evitando problemas de exceso o déficit hídrico (Pereira et al., 2023).

Sensor de Nivel de Agua Vertical. Supervisa el nivel del tanque, bloquea la activación de la bomba si no hay suministro y emite alertas críticas (Daud et al., 2025).

Interfaz Física y Alertamiento

El sistema integra una pantalla LCD con protocolo I2C para mostrar valores en tiempo real y facilitar la configuración sin depender de dispositivos externos (Seetaram et al., 2024). Los botones permiten navegar por menús, cambiar modos de operación y ajustar parámetros. El buzzer pasivo se activa en eventos críticos, como superar el umbral de temperatura o la ausencia de agua en el tanque.

Actuadores

Un módulo relé de 5V controla la bomba de agua y la luz de apoyo, ofreciendo aislamiento eléctrico y seguridad operativa (Pereira et al., 2023). La bomba se activa únicamente si el sustrato está seco y el tanque tiene agua; la luz suplementaria se enciende solo en condiciones lumínicas deficientes y de forma puntual para no sustituir la luz natural.

Plataformas y Lenguajes de Programación

La aplicación móvil se desarrolla en MIT App Inventor, una plataforma de programación por bloques que permite crear interfaces Android funcionales y rápidas de implementar, ideal para comunicación directa con el ESP32 mediante Bluetooth (Seetaram et al., 2024). El firmware se programa en C++ con PlatformIO y Arduino IDE, lo que brinda control preciso sobre el hardware y facilita la gestión de bibliotecas y la depuración (Hercog *et al.*, 2023).

Arquitectura y Lógica del Sistema

El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento:

Automático

Activa riego o luz de apoyo si las mediciones de los sensores están fuera de los umbrales definidos por el usuario. El riego está condicionado al nivel de agua en el tanque.

Manual

Permite al usuario activar o desactivar riego e iluminación independientemente de los valores registrados.

Las alertas se clasifican en:

Informativas

Cuando se activa el riego o la luz de apoyo.

Críticas

Cuando se supera el umbral de temperatura o no hay agua en el tanque, generando aviso sonoro y correo electrónico haciendo uso del WiFi.

Aplicaciones Similares y Diferenciación

Sistemas como *Xiaomi Mi Flora* y *Parrot Flower Power* permiten monitorear variables ambientales, pero usan valores predefinidos y se limitan a enviar notificaciones (Correa-Quiroz et al., 2025). En cambio, el sistema aquí propuesto permite personalizar parámetros, condiciona

las acciones automáticas a la disponibilidad de recursos y combina alertas informativas y críticas. Según Pereira et al. (2023) y Daud et al. (2025), este enfoque incrementa la eficiencia y sostenibilidad del riego en comparación con sistemas que no integran control condicional ni retroalimentación directa al usuario.

Marco Jurídico

El desarrollo e implementación de un sistema automatizado de monitoreo y riego para plantas domésticas debe ajustarse a un marco normativo que garantice la seguridad de los usuarios, la conformidad técnica del equipo y el cumplimiento de regulaciones ambientales.

En Colombia, la Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor) establece que todo producto o servicio debe ser seguro, cumplir con estándares técnicos y brindar información veraz sobre su funcionamiento y limitaciones (Congreso de la República de Colombia, 2011). Esto implica que el sistema debe especificar claramente los parámetros de operación, alcances y restricciones, como la dependencia del nivel de agua en el tanque para el riego.

En materia de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética, el sistema debe seguir los lineamientos del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 (ICONTEC, 2020), que adopta estándares internacionales de instalación eléctrica segura, así como cumplir con las condiciones técnicas para bandas de uso libre establecidas por la Resolución 105 de 2020 de la Agencia Nacional del Espectro, aplicables a dispositivos inalámbricos como Wi-Fi y Bluetooth, a fin de evitar interferencias perjudiciales (Agencia Nacional del Espectro, 2020).

Respecto a la protección de datos personales, si el sistema envía notificaciones por correo electrónico, debe cumplir la Ley 1581 de 2012, que fija las reglas generales para la recolección, uso y tratamiento de datos personales (Congreso de la República de Colombia, 2012), así como el Decreto 1377 de 2013, que reglamenta parcialmente dicha ley y precisa obligaciones para responsables y encargados (Presidencia de la República de Colombia, 2013), incluso cuando el único dato tratado sea la dirección de correo electrónico del usuario.

En cuanto a la sostenibilidad y el uso racional del recurso hídrico, el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto-Ley 2811 de 1974)

fija principios de conservación y uso eficiente del agua, pertinentes para diseñar un sistema de riego que solo se active cuando el sustrato lo requiera (Presidencia de la República de Colombia, 1974). Investigaciones recientes en automatización agrícola señalan que la implementación de sistemas basados en sensores de humedad puede reducir entre 20 % y 35 % el consumo de agua en cultivos y jardines. Correa-Quiroz et al. (2025) reportan disminuciones significativas al aplicar riegos precisos y adaptados. En la misma línea, Pereira et al. (2023) corroboran reducciones comparables en escenarios de riego inteligente con ESP32.

Con relación a la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), dado que el sistema propuesto podría convertirse en un producto comercial con componentes electrónicos, aplica el marco colombiano de responsabilidad extendida del productor. En particular, deben observarse los lineamientos generales de la Ley 1672 de 2013 (Congreso de la República de Colombia, 2013), el Decreto 284 de 2018, que reglamenta la gestión integral de los RAEE (Presidencia de la República de Colombia, 2018), y la Resolución 851 de 2022, que define la clasificación de AEE/RAEE y los requisitos de los sistemas de recolección y gestión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Aunque el presente proyecto se encuentra en fase de prototipo académico, resulta pertinente reconocer esta regulación, ya que el sistema está conformado por un microcontrolador ESP32, sensores, módulos de relé, bombas y otros elementos electrónicos que, en caso de fallas o reemplazo, podrían clasificarse como RAEE. Prever este aspecto desde el diseño implica adoptar criterios de sostenibilidad y economía circular, como la reutilización de componentes, el uso de materiales reciclables en el encapsulado y la canalización de residuos a gestores autorizados.

Finalmente, al tratarse de un dispositivo electrónico con potencial de comercialización, debe cumplir IEC 62368-1 para la seguridad de equipos eléctricos y electrónicos (International Electrotechnical Commission, 2023). Asimismo, debe alinearse con ISO 14001 para la gestión ambiental, promoviendo un diseño de bajo impacto y alta eficiencia energética (International Organization for Standardization, 2015).

Metodología de Investigación

Metodología de Desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se optó por una metodología de prototipado incremental con enfoque ágil, debido a la naturaleza del sistema planteado y a la necesidad de validar resultados de manera temprana en condiciones reales. La elección se fundamenta en que el proyecto combina componentes de hardware, firmware y aplicación móvil, los cuales requieren una integración progresiva y pruebas constantes para asegurar que funcionen de manera coherente.

En primer lugar, el uso del prototipado como base metodológica resulta esencial porque permite construir versiones iniciales del sistema con el objetivo de probar de forma temprana la lógica de sensado, actuación y comunicación. Este enfoque asegura que se identifiquen rápidamente limitaciones técnicas en sensores, problemas de calibración o fallas en la activación de actuadores como la bomba de agua y la luz de apoyo. Cada prototipo parcial se convierte en un insumo para mejorar la siguiente iteración, garantizando que el resultado final sea funcional y acorde con lo esperado.

El carácter incremental de la metodología se justifica porque cada fase del desarrollo añade nuevas funcionalidades al sistema. En las primeras iteraciones se trabaja en la lectura y procesamiento de variables básicas (humedad, temperatura, luz), en etapas posteriores se integran los actuadores y los modos manual y automático, y finalmente se desarrollan los módulos de notificaciones críticas e informativas junto con la aplicación móvil. Esta forma de trabajo reduce riesgos, pues cada entrega parcial puede validarse antes de avanzar al siguiente nivel de complejidad.

Finalmente, la incorporación de principios ágiles facilita la adaptación a cambios en los requerimientos durante el proceso. Dado que las encuestas aplicadas en los pisos 1 al 5 de la torre I del conjunto Verdebrisa mostraron necesidades diversas, era importante mantener flexibilidad en la definición de umbrales, en la interfaz de usuario y en la lógica de alertamiento. Trabajar con ciclos cortos de diseño, prueba y retroalimentación permite responder de manera efectiva a estas necesidades y mantener un ritmo constante de avances documentados.

Enfoque Metodológico

La metodología adoptada para este proyecto se enmarca en un enfoque de tipo aplicado y experimental, cuyo propósito es diseñar, implementar y validar un sistema de monitoreo y apoyo automatizado para el cuidado de plantas en entornos domésticos. El proceso metodológico se estructuró de manera continua y secuencial, partiendo de la identificación de la problemática hasta la construcción y evaluación del prototipo en campo. Inicialmente se realizó una fase de revisión documental para reconocer los avances existentes en sistemas de automatización agrícola y doméstica, lo cual permitió fundamentar teóricamente las decisiones técnicas y tecnológicas del diseño. Posteriormente, se ejecutó la etapa de recolección de información primaria mediante encuestas aplicadas a habitantes del conjunto residencial Verdebrisa torre I, con el fin de validar la existencia de la necesidad en el cuidado de plantas y caracterizar las dificultades más frecuentes en los hogares.

Planeación y Alcance

Objetivo Operativo

Construir y validar un sistema doméstico que monitorea variables ambientales y actúa (riego/luz) en modo automático según umbrales configurados por el usuario, y que permite modo manual con control total del cuidador.

Criterios de Inclusión del Piloto

Los criterios de inclusión del piloto no se limitarán únicamente a contar con al menos una planta en el hogar dentro de la torre i del conjunto residencial Verdebrisa, sino que se ampliarán con el fin de garantizar que la validación del sistema refleje condiciones variadas y representativas del contexto doméstico. En este sentido, se tendrán en cuenta aspectos como la ubicación del apartamento dentro del edificio (pisos bajos, intermedios y altos), lo cual permite evaluar el sistema en entornos con diferentes exposiciones solares y flujos de ventilación natural. También se considerará la diversidad de especies vegetales presentes en los hogares, incluyendo plantas ornamentales, aromáticas o de uso alimenticio, ya que cada una presenta requerimientos distintos de humedad, luz y temperatura.

Adicionalmente, se incluirán residentes que manifiesten hábitos diferentes de cuidado, desde aquellos que riegan con frecuencia hasta quienes suelen descuidar el riego por falta de tiempo, pues esto permitirá contrastar el desempeño del sistema en escenarios de mayor y menor atención humana. Otro criterio importante será la disposición del espacio de cultivo, diferenciando entre plantas ubicadas en balcones con alta exposición solar, plantas en interiores con luz limitada y aquellas que se encuentran en espacios mixtos. Por último, se tendrá en cuenta la disposición de los participantes a interactuar con el sistema y brindar retroalimentación, ya que este insumo será clave para valorar la usabilidad, la claridad de las alertas y la percepción de utilidad del prototipo.

Análisis de Requerimientos

Tabla 1

Análisis de Requerimientos

Tipo de requerimiento	Requerimiento	Descripción
Funcional	Monitoreo de humedad del suelo	El sistema debe medir continuamente la humedad del suelo en las plantas domésticas.
Funcional	Medición de temperatura ambiental	El sistema debe capturar en tiempo real la temperatura del entorno.
Funcional	Visualización local de variables	El usuario debe poder visualizar las variables en una pantalla LCD.
Funcional	Visualización remota por Bluetooth	El sistema debe enviar los datos a un dispositivo móvil mediante conexión Bluetooth.
Funcional	Generación de alerta sonora	El sistema debe activar un buzzer en caso de condiciones críticas definidas por el usuario.
Funcional	Activación automática de bomba	El sistema debe encender la bomba de agua si el nivel de humedad del suelo es bajo.
Funcional	Navegación por menús con botones	El usuario debe poder desplazarse entre diferentes menús mediante botones físicos.
Funcional	Módulo de notificación por correo	El sistema debe enviar notificaciones informativas por correo electrónico al detectar condiciones críticas en las plantas, utilizando la conectividad Wi-Fi del ESP32.
No funcional	Bajo consumo energético	El sistema debe ser eficiente en el uso de energía para permitir operación continua.
No funcional	Interfaz intuitiva	La visualización y navegación del sistema deben ser comprensibles para usuarios no técnicos.
No funcional	Fiabilidad de los sensores	Los sensores deben ser capaces de operar con precisión en condiciones ambientales variadas.
No funcional	Compatibilidad con sistemas Android	La aplicación móvil debe poder ser ejecutada en dispositivos Android.

Tipo de requerimiento	Requerimiento	Descripción
No funcional	Tiempo de respuesta rápido	El sistema debe actualizar la información censada en menos de 5 segundos.
Restricción	No incluir base de datos de plantas	El sistema no debe tener parámetros preestablecidos de referencia por especie.
Restricción	Autonomía del usuario	La interpretación de los datos debe recaer en el usuario final.
Restricción	Operación sin internet	El sistema debe funcionar sin conexión a internet, usando únicamente Bluetooth.
Hardware	Sensor de humedad de suelo	Se debe utilizar un sensor capacitivo o resistivo para medir la humedad del sustrato.
Hardware	Sensor DHT11	Sensor digital para medir temperatura y humedad ambiental.
Hardware	Pantalla LCD I2C	Pantalla para mostrar las variables ambientales localmente.
Hardware	Modulo relé y bomba de agua	El sistema debe integrar un relé para controlar una bomba de riego.
Software	Firmware para ESP32	Código de control que realice adquisición de datos, procesamiento y respuesta.
Software	Interfaz Bluetooth	Módulo de software que permita la comunicación entre el ESP32 y un dispositivo móvil.
Software	Menú de navegación en LCD	Sistema de menús para mostrar variables y opciones mediante botones.

Nota. Tabla de reporte de análisis de requerimientos del proyecto

La tabla anterior consolida los requerimientos funcionales, no funcionales, restricciones, hardware y software necesarios para el diseño y operación del sistema de monitoreo y control de riego automatizado en plantas domésticas. Con esta información se espera evidenciar de manera

clara el alcance, las necesidades técnicas y las condiciones de uso que orientan el desarrollo e implementación del sistema.

Figura 1

Interior Verdebrisa



Nota. Autoría propia. Vista interna del edificio donde se llevara a cabo las pruebas piloto en el conjunto Verdebrisa.

La imagen muestra el área interna del conjunto residencial Verdebrisa, lugar donde se instalarán los prototipos para el pilotaje del sistema. Este espacio es representativo porque evidencia las condiciones reales en que se encuentran las plantas de los residentes, muchas de ellas en balcones o zonas de jardines comunes. La disposición del entorno permite observar cómo factores como la exposición solar parcial, la ventilación y la cercanía de estructuras influyen en la variabilidad de luz, humedad y temperatura, condiciones que el sistema busca monitorear y regular.

Figura 2*Exterior Verdebrisa*

Nota. Autoría propia. Vista externa del edificio donde se llevara a cabo las pruebas piloto en el conjunto Verdebrisa.

La imagen corresponde a la entrada principal del conjunto residencial Verdebrisa, punto de referencia que identifica claramente el lugar donde se llevará a cabo el proceso de validación del prototipo. Esta vista externa no solo contextualiza la ubicación geográfica y urbana del pilotaje, sino que también resalta la relevancia de trabajar en un entorno residencial real, donde los hogares participantes servirán como casos de prueba. De esta forma, se asegura que el sistema sea evaluado en condiciones auténticas de uso doméstico, fortaleciendo la validez de los resultados obtenidos durante la investigación.

Figura 3

Objetivos Comunes



Nota. Autoría propia. Parte de las pruebas se enfocaran en parametrizar intervalos de adaptaciones idoneas para especies comunes dentro de los hogares.

La sansevieria trifasciata, también conocida como lengua de suegra, es una planta ornamental muy común en interiores por su resistencia y bajo requerimiento de agua. Sin embargo, aunque es considerada rústica, su desarrollo óptimo depende de mantener un sustrato con humedad moderada y de evitar tanto el exceso como la falta prolongada de riego. Esta especie se incluye como caso de prueba en el proyecto para demostrar cómo el sistema puede apoyar incluso a plantas de bajo mantenimiento, garantizando un suministro hídrico controlado y alertas oportunas en situaciones de déficit o exceso.

Figura 4*Objetivos Especiales*

Nota. Autoría propia. Parte de las pruebas se enfocaran en parametrizar intervalos de adaptaciones idoneas para especies exoticas dentro de los hogares que requieren de un mayor cuidado para su adaptacion al entorno.

La calathea makoyana, de follaje atractivo y delicado, es representativa de plantas ornamentales que requieren condiciones más controladas en cuanto a luz y humedad ambiental. Su sensibilidad a la exposición directa al sol y a la falta de agua la convierten en un ejemplo ideal para validar la capacidad del sistema de identificar déficits lumínicos y niveles de humedad inadecuados. Incluir esta especie en el pilotaje aporta un escenario donde el monitoreo y la automatización se vuelven esenciales para preservar la calidad estética y la salud de la planta.

Figura 5*Objetivos de Interior*

Nota. Autoría propia. Parte de las pruebas se enfocarán en parametrizar intervalos de adaptaciones idoneas para especies de interior dentro del hogar.

El ficus elástico, comúnmente llamado árbol de caucho, es una planta de mayor tamaño que puede cultivarse en interiores iluminados o en balcones. Sus requerimientos de agua y luz son más altos en comparación con otras especies, lo que lo convierte en un referente para evaluar la eficiencia del riego automatizado y la respuesta del sistema frente a cambios en la intensidad lumínica. Documentar su comportamiento permite mostrar cómo el prototipo se adapta a especies con demandas superiores y con mayor impacto visual dentro de los hogares.

Figura 2

Objetivos de Exterior



Nota. Autoría propia. Parte de las pruebas se enfocaran en parametrizar intervalos de adaptaciones idoneas para especies de exterior dentro del hogar.

La monstera deliciosa, popularmente conocida como costilla de adán, es una planta tropical muy apreciada en espacios interiores y exteriores por su valor ornamental. Requiere riegos regulares, buena humedad ambiental y un equilibrio entre luz indirecta y sombra. Debido a estas características, representa un escenario desafiante para el sistema, que debe identificar oportunamente déficits en el sustrato, alertar sobre posibles excesos de temperatura y compensar la falta de luz. Su inclusión en el pilotaje permite evaluar cómo la solución tecnológica responde

a especies de mayor exigencia y cómo facilita al usuario la toma de decisiones para mantenerla en condiciones óptimas.

Cronograma de Actividades

Tabla 2

Cronograma de Actividades

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Revisión de Literatura y Planificación Inicial	X	X				
Estudio de Caso y Análisis de Requisitos	X	X				
Diseño del Sistema y Prototipado Inicial		X	X			
Desarrollo del Firmware y Software (Sprint 1-3)			X	X	X	
Integración de Hardware y Software				X	X	
Pruebas y Refinamiento del Sistema					X	X
Implementación Piloto y Recolección de Datos					X	X
Análisis de Datos y Evaluación Final						X
Documentación y Preparación del Informe Final	X	X	X	X	X	X

Nota. Tabla de cronograma de actividades para el proyecto propuesto.

El cronograma concentra todas las actividades en los primeros seis meses, iniciando con la revisión de literatura y análisis de requisitos (meses 1 y 2), seguidos del diseño y prototipado (2 y 3). La mayor carga de trabajo se presenta entre los meses 3 y 5 con el desarrollo de software

e integración de hardware, continuando en los meses 5 y 6 con pruebas, implementación piloto y análisis de resultados. Durante todo el periodo se realiza en paralelo la documentación e informe final.

Levantamiento de Requerimientos y Diseño de Instrumentos

Requerimientos Funcionales (RF) clave

RF1 – Lectura Continua de Variables Ambientales y de Sustrato. El sistema debe leer en tiempo real temperatura, humedad ambiental, humedad del sustrato, nivel de luz y nivel de agua en el tanque.

Justificación. Estas variables representan los factores clave que determinan la salud de la planta. Sin mediciones continuas no es posible saber si las condiciones están dentro de los rangos definidos por el usuario. La lectura constante permite actuar de forma inmediata y mantener un historial de comportamiento ambiental.

RF2 – Configuración de Umbrales Personalizados por el Usuario. El usuario debe poder definir los valores de referencia para humedad del sustrato, temperatura y luz, tanto desde la pantalla LCD con botones, como desde la aplicación móvil usando Bluetooth.

Justificación. No todos los hogares ni todas las plantas requieren los mismos valores. Los parámetros universales reducirían la efectividad. Los umbrales editables permiten adaptar el sistema a la especie y a la ubicación real.

RF3 – Acciones Automáticas Condicionadas. En modo automático, el sistema debe:
Activar el riego si la humedad del sustrato está por debajo del umbral y hay agua en el tanque.

Encender la luz de apoyo si la iluminación está por debajo del umbral.

Justificación. Estas acciones aseguran que el sistema apoye al usuario en periodos cortos de ausencia, pero sin malgastar agua ni energía.

RF4 – Sistema de Alertas Sonoras y Visuales Locales. Debe generar un pitido cuando:

La temperatura supera el umbral definido.

El tanque está vacío y no es posible regar.

Justificación. Estas dos condiciones representan riesgos inmediatos para la planta (estrés térmico y falta de agua). El buzzer en modo automático ofrece aviso inmediato incluso sin conexión a la app, cumpliendo con su objetivo.

RF5 – Sistema de Notificaciones por Correo Electrónico. Debe enviar:

Notificación Informativa. Cuando se activa el riego o se enciende la luz de apoyo.

Notificación crítica. Cuando la temperatura supera el umbral o no hay agua en el tanque.

Justificación. El correo garantiza que el usuario esté informado, aunque no esté en casa. Las notificaciones críticas permiten que tome decisiones rápidas (rellenar el tanque, reubicar la planta). Las informativas ayudan a evaluar patrones y frecuencia de uso de recursos.

RF6 – Modo manual con Control Total del Usuario. Permite activar/desactivar riego o luz de apoyo sin importar los valores de los sensores.

Justificación. Garantiza que el usuario mantenga la autoridad final sobre el sistema. Esto es útil para pruebas, mantenimiento o acciones correctivas específicas.

RF7 – Registro e Historial de Eventos. Debe almacenar la fecha, hora, variable que disparó la acción, valor medido y acción ejecutada (incluido si fue manual o automática). Esto se logra recopilar con los correos generados desde el ESP32 sin tener que generar codificaciones adicionales.

Justificación. El historial sirve para análisis y mejoras, y para que el usuario evalúe si los umbrales configurados son adecuados. También facilita el diagnóstico en caso de fallos.

RF8 – Bloqueo Seguro del Riego por Nivel de Tanque. Incluso si la humedad está por debajo del umbral, el riego no se activará si el tanque está vacío.

Justificación. Evita daños a la bomba por trabajo en seco, optimiza recursos y cumple con el esquema de seguridad operativa.

RF9 – Interfaz Local y Remota de Fácil Uso.

Local. Pantalla LCD y botones para navegar menús, configurar valores y cambiar modo.

Remota. Aplicación en App Inventor para monitorear y ajustar umbrales vía Bluetooth.

Justificación. Permite operar el sistema incluso si el usuario no tiene acceso a la app (por ejemplo, durante mantenimiento o fallos de conectividad).

RF10 – Compatibilidad con Condiciones Domésticas Variables. El sistema debe ser capaz de operar con fluctuaciones ambientales propias de entornos domésticos, como cambios bruscos de luz por cortinas o sombras temporales, y cambios de temperatura por aire acondicionado o calefacción.

Justificación. Estas variaciones fueron señaladas como causa de problemas en el cuidado de plantas en el análisis inicial, y justifican que el sistema se base en umbrales definidos por el usuario en lugar de valores fijos.

Instrumentos de Recolección

Encuesta de Línea Base

(Hábitos de riego, ubicación, incidencias comunes, disponibilidad para pilotaje). Google Forms se utilizará como plataforma para la recolección de datos debido a su facilidad de uso, accesibilidad y capacidad para recopilar respuestas de manera rápida y organizada. Esta herramienta permite crear cuestionarios personalizados con diferentes tipos de preguntas

(selección múltiple, abiertas, etc.), lo que facilita la obtención de datos cuantitativos y cualitativos esenciales para el proyecto.

Preguntas de Selección Múltiple

1. ¿Con qué frecuencia riegas tus plantas?
 - A diario
 - Cada 2-3 días
 - Semanalmente
 - Cuando lo considero necesario
 - No tengo un patrón fijo
2. ¿Cuántas plantas tienes en tu hogar o jardín?
 - 1-2 plantas
 - 3-5 plantas
 - 6-10 plantas
 - Más de 10 plantas
3. ¿Qué tipo de plantas predominan en tu hogar?
 - Plantas de interior
 - Plantas de exterior
 - Plantas ornamentales
 - Suculentas/Cactus
 - Plantas comestibles (hierbas, vegetales)
 - Otros
4. ¿Cuál es tu principal reto al cuidar tus plantas?
 - Falta de tiempo
 - Falta de conocimiento sobre el cuidado adecuado

- No sé cuándo regar
 - No sé cuánta luz o humedad necesitan
 - Otros
5. ¿Utilizas actualmente algún sistema automatizado para el cuidado de tus plantas?
- Sí
 - No
 - Estoy interesado en utilizar uno
6. ¿Estarías dispuesto a utilizar un sistema de monitoreo de plantas que incluya sensores y una aplicación móvil?
- Sí, definitivamente
 - Probablemente sí
 - No estoy seguro
 - Probablemente no
 - No
7. ¿Qué característica sería más importante para ti en un sistema automatizado de cuidado de plantas?
- Monitoreo de la humedad del suelo
 - Monitoreo de la temperatura y humedad ambiental
 - Notificaciones en tiempo real
 - Automatización del riego
 - Fácil de usar
8. ¿Qué tan cómodo te sientes utilizando aplicaciones móviles para tareas diarias?
- Muy cómodo

- Cómodo
- Neutro
- Poco cómodo
- Nada cómodo

Preguntas Abiertas

9. ¿Cuáles crees que son los beneficios más importantes de tener un sistema automatizado para el cuidado de plantas en tu hogar o jardín?
10. Describe una situación en la que el uso de un sistema de monitoreo de plantas te habría sido útil.

Muestreo y Trabajo de Campo (Encuesta de Línea Base)

Población

Apartamentos de Verdebrisa Torre I con plantas en macetas.

Muestra Objetivo

50 personas para lograr variabilidad de opiniones.

Procedimiento

Convocatoria interna (WhatsApp del conjunto) – Se informa por el grupo general sobre una encuesta con fines investigativos para conocer la perspectiva de los usuarios frente a herramientas de monitoreo de plantas.

Aplicación de encuesta (digital) – Los usuarios ingresan individualmente al enlace compartido por el grupo y diligencian las preguntas de selección múltiples y las abiertas para conocer en profundidad sus expectativas con un sistema de monitoreo autónomo.

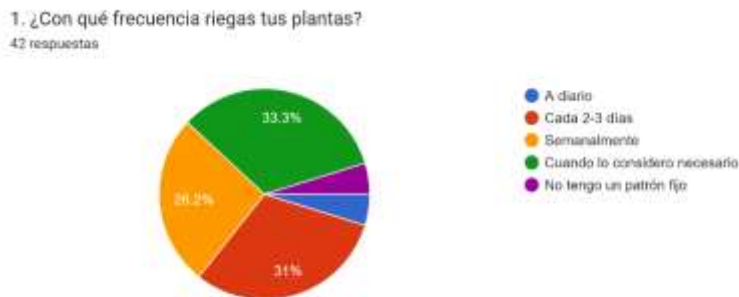
Consolidación y limpieza de datos.

Análisis de los Encuestados

Preguntas de Selección Múltiple

Figura 3

Primera Pregunta



Nota. Autoría propia.

A partir de las respuestas obtenidas en la encuesta sobre la frecuencia de riego de plantas en el hogar, se pueden identificar distintos patrones de comportamiento entre los encuestados.

Un 33,3% mencionó que no sigue un calendario, sino que riega según lo que observan en la planta o la tierra. Este método puede funcionar bien si la persona tiene experiencia y sabe reconocer las señales de las plantas. Pero también puede llevar a errores si se basa en suposiciones o falta de conocimiento.

Por otra parte, un 31% de los encuestados dijo que riega sus plantas cada 2 o 3 días. Esto indica que tienen una rutina regular y balanceada, lo cual es ideal para muchas plantas de interior o jardín. Suele ser una señal de compromiso y de que siguen una frecuencia saludable.

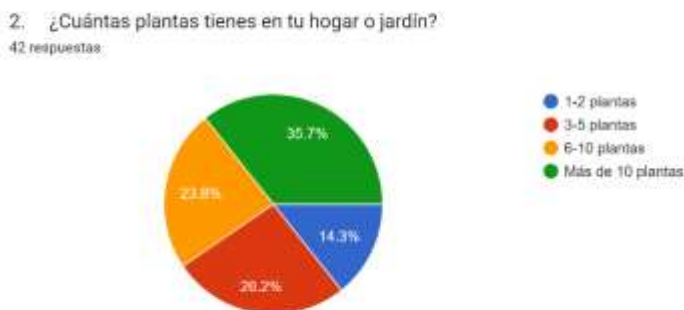
Un 26,2% de los encuestados riega sus plantas una vez a la semana. Esta frecuencia es adecuada si tienen plantas de bajo demanda hídrica como cactus o suculentas. También puede deberse a falta de tiempo o a una rutina más relajada.

Un 4,75% respondió que no tiene un patrón fijo de riego. Esto significa que riegan de forma irregular, según el momento o si se acuerdan. Este grupo podría tener más problemas con la salud de sus plantas, porque los cambios bruscos en el riego afectan negativamente.

La opción de riego “a diario” fue elegida por un 4,75%. Esto puede demostrar mucho cuidado o atención, pero también puede ser demasiado, dependiendo del tipo de planta. El exceso de agua es una causa común de enfermedades como la pudrición de raíces.

Figura 4

Segunda Pregunta



Nota. Autoría propia.

En la segunda pregunta de la encuesta, se consultó a los participantes sobre la cantidad de plantas que tienen en su hogar o jardín. Los resultados muestran que la mayoría, un 35.7%, indicó tener más de 10 plantas, lo que sugiere un alto nivel de interés y compromiso con el cuidado vegetal. Este grupo probablemente ve el cuidado de plantas no solo como una actividad decorativa o esporádica, sino como un pasatiempo o parte importante de su estilo de vida. Le

sigue un 26.2% que tiene entre 3 y 5 plantas, y un 23.8% que cuenta con entre 6 y 10 plantas. Estos dos grupos representan a personas que mantienen una colección moderada de plantas, posiblemente como complemento a la decoración del hogar o por interés personal, pero con un nivel de dedicación que no necesariamente implica una gran inversión de tiempo o espacio.

Finalmente, el grupo más pequeño, con un 14.3%, corresponde a quienes tienen solo 1 o 2 plantas. Este segmento puede estar conformado por personas que están empezando a introducirse en el mundo del cuidado vegetal, que disponen de poco espacio, o que prefieren mantener un bajo nivel de mantenimiento.

Figura 5

Tercera Pregunta

3. ¿Qué tipo de plantas predominan en tu hogar?
42 respuestas



Nota. Autoría propia.

La tercera pregunta de la encuesta se enfocó en identificar qué tipo de plantas predominan en los hogares de los encuestados. Los resultados muestran que el grupo más numeroso, con un 33.3%, indicó que en su hogar predominan las plantas de interior. Esto sugiere una preferencia por especies adaptadas a espacios cerrados, probablemente seleccionadas por su valor decorativo, facilidad de mantenimiento y adaptación a condiciones de luz moderada. Este

resultado también puede estar relacionado con estilos de vida urbanos, donde el espacio exterior es limitado o inexistente.

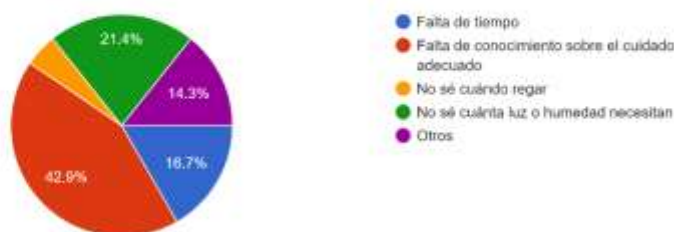
En segundo lugar, un 21.4% señaló que sus plantas predominantes son ornamentales, lo que indica un interés estético en el uso de plantas para embellecer el hogar o jardín, sin enfocarse tanto en su funcionalidad. Las plantas de exterior fueron mencionadas por un 16.7% de los encuestados, lo que refleja una proporción menor de personas que cuentan con jardines, patios, balcones o terrazas donde estas plantas puedan desarrollarse adecuadamente.

Por otro lado, un 14.3% señaló tener principalmente suculentas o cactus, especies que requieren poco mantenimiento y son ideales para personas con poco tiempo o experiencia. Las plantas comestibles (como hierbas aromáticas o vegetales) fueron mencionadas por un 7.2%, lo que indica que todavía es un grupo minoritario el que se inclina por cultivar plantas con un propósito alimenticio. Finalmente, un 7.1% eligió la opción “otros”, lo que puede incluir plantas menos comunes o con fines específicos.

Figura 6

Cuarta Pregunta

4. ¿Cuál es tu principal reto al cuidar tus plantas?
42 respuestas



Nota. Autoría propia.

La cuarta pregunta de la encuesta abordó los principales retos que enfrentan los encuestados al cuidar sus plantas. Los resultados revelan que el obstáculo más común es la falta de conocimiento sobre el cuidado adecuado, seleccionado por un 42.9% de los participantes. Esta falta de conocimiento puede abarcar aspectos como el tipo de sustrato, la frecuencia de riego, el tipo de fertilizante, o los cuidados específicos según la especie.

El segundo reto más mencionado, con un 21.4%, fue no saber cuánta luz o humedad necesitan sus plantas. Esto indica que, además del desconocimiento general, existe una dificultad para interpretar las condiciones ambientales adecuadas, lo cual es fundamental para el bienestar vegetal.

En tercer lugar, un 16.7% de los encuestados mencionó la falta de tiempo como su principal reto. Este grupo probablemente tiene la intención de cuidar bien sus plantas, pero su rutina diaria no les permite hacerlo con la frecuencia necesaria. Le sigue un 4.7% que señaló que su principal dificultad es no saber cuándo regar, lo que coincide con los resultados de preguntas anteriores, donde se identificó que varios encuestados no tienen una rutina fija o riegan "cuando lo consideran necesario".

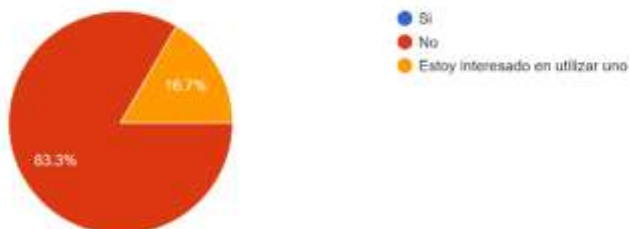
Finalmente, un 14.3% seleccionó la opción "otros", lo que puede incluir factores diversos como plagas, problemas con el clima, mascotas que dañan las plantas, o dificultades para conseguir materiales adecuados.

Figura 7

Quinta Pregunta

5. ¿Utilizas actualmente algún sistema automatizado para el cuidado de tus plantas?

42 respuestas



Nota. Autoría propia.

La quinta pregunta de la encuesta exploró si los encuestados utilizan actualmente algún sistema automatizado para el cuidado de sus plantas, como riego automático, sensores de humedad o iluminación programada. Los resultados muestran que una amplia mayoría, un 83.3%, no utiliza ningún sistema automatizado, lo cual indica que el cuidado de las plantas en el hogar sigue siendo principalmente una actividad manual y tradicional.

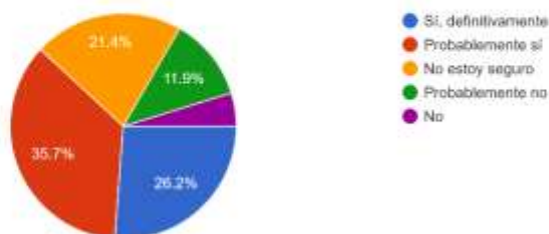
Sin embargo, un 16.7% manifestó estar interesado en utilizar algún sistema automatizado, lo cual sugiere una apertura a incorporar herramientas tecnológicas que faciliten el cuidado vegetal. Este grupo representa una oportunidad para promover soluciones que ayuden a resolver algunos de los retos más mencionados en la encuesta, como la falta de tiempo o de conocimiento.

Figura 8

Sexta Pregunta

6. ¿Estarías dispuesto a utilizar un sistema de monitoreo de plantas que incluya sensores y una aplicación móvil?

42 respuestas



Nota. Autoría propia.

Esta pregunta de la encuesta indagó sobre la disposición de los encuestados a utilizar un sistema de monitoreo de plantas que incluya sensores y una aplicación móvil. Los resultados reflejan una actitud en general positiva y abierta hacia la tecnología en el cuidado de plantas. Un 26.2% respondió "sí, definitivamente", lo que indica un interés claro y decidido por incorporar herramientas digitales que ayuden a optimizar el riego, la iluminación o el control ambiental de sus plantas. Además, un 35.7% seleccionó "probablemente sí", lo que sugiere una disposición favorable, aunque posiblemente condicionada por factores como el precio, la facilidad de uso o la compatibilidad con su estilo de vida.

Un 21.4% indicó que "no está seguro", lo cual podría estar relacionado con el desconocimiento de cómo funcionan estos sistemas o con dudas sobre su utilidad real en un entorno doméstico. Por otro lado, un 11.9% respondió "probablemente no", y un 4.8% seleccionó "no", lo que representa un grupo minoritario que no muestra interés en automatizar o tecnificar el

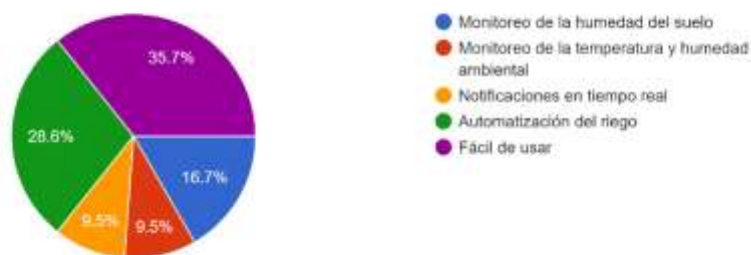
cuidado de sus plantas, quizás por preferencia por métodos tradicionales, desconfianza hacia la tecnología o falta de necesidad.

Figura 9

Séptima Pregunta

7. ¿Qué característica sería más importante para ti en un sistema automatizado de cuidado de plantas?

42 respuestas



Nota: Autoría propia.

La séptima pregunta se enfocó en identificar cuál sería la característica más importante que los encuestados valorarían en un sistema automatizado de cuidado de plantas. Los resultados muestran que la principal prioridad para los participantes es que el sistema sea fácil de usar, opción seleccionada por un 35.7%. Este dato refleja una necesidad clara de simplicidad y accesibilidad: las personas están dispuestas a adoptar tecnología, pero solo si esta no implica procesos complicados.

En segundo lugar, con un 28.6%, los encuestados valoraron más la automatización del riego, una función que alivia una de las tareas más repetitivas y críticas del cuidado vegetal. Esto es coherente con respuestas anteriores donde muchos usuarios mencionaron no tener tiempo o no saber cuándo regar.

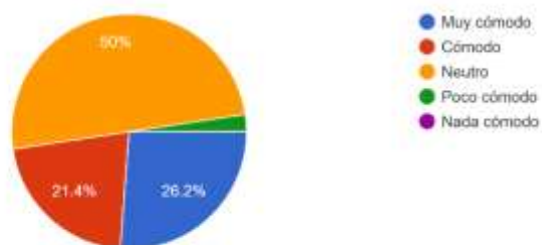
Otras características recibieron menor preferencia, pero aún muestran interés: un 16.7% priorizó el monitoreo de la humedad del suelo, lo que indica conciencia sobre la importancia de mantener niveles adecuados de agua en el sustrato. Además, tanto el monitoreo de la temperatura y humedad ambiental como las notificaciones en tiempo real fueron seleccionadas por un 9.5% de los encuestados cada una, lo que sugiere que, aunque son funciones útiles, no son percibidas como esenciales por la mayoría.

Figura 10

Octava Pregunta

8. ¿Qué tan cómodo te sientes utilizando aplicaciones móviles para tareas diarias?

42 respuestas



Nota. Autoría propia.

La octava pregunta buscó evaluar el nivel de comodidad de los encuestados al utilizar aplicaciones móviles para tareas diarias, con el objetivo de entender su disposición tecnológica en la vida cotidiana. Los resultados muestran que la mitad de los encuestados (50%) se posicionaron en una postura neutra, es decir, no manifestaron sentirse ni cómodos ni incómodos con el uso de aplicaciones.

Por otro lado, un 26.2% afirmó sentirse muy cómodo usando apps, y un 21.4% declaró sentirse cómodo, lo que en conjunto representa un 47.6% con una actitud positiva hacia el uso de tecnología móvil en sus actividades diarias. Este segmento podría ser el más receptivo a

soluciones digitales como sistemas de monitoreo y automatización de plantas conectados a una app.

En contraste, solo un 2.4% indicó sentirse poco cómodo, y ningún encuestado seleccionó la opción “nada cómodo”, lo que sugiere que la resistencia activa al uso de aplicaciones es mínima entre los participantes.

Preguntas Abiertas

9. ¿Cuáles crees que son los beneficios más importantes de tener un sistema automatizado para el cuidado de plantas en tu hogar o jardín?

42 respuestas

- Que me indique cuando debo regarlas
- Que se mantengan vivas
- Que perduren la variedad de especies de plantas, y así lograr mayor productividad
- Que la planta sobreviva con un monitoreo diario.
- Me optimiza mi tiempo
- Sería muy productivo para el hogar
- Poder saber y conocer cómo puedo tener mis plantas bien cuidadas y saber las necesidades de mis plantas y así poder reproducirlas y que estén sanas y prevenir que se me mueran
- Beneficios de conocimientos básicos de riego de plantas y si su respectivo cuidado. De tal manera que la planta o plantas puedan crecer de forma segura
- Mantenimiento de las plantas, control seguimiento y conservación de éstas
- Mejor calidad en el cuidado de las plantas.
- Autosostenibilidad

- Que voy a acordarme con mayor frecuencia y regarlas, y que además seguramente me dará más información como tips o temas de conocimiento para mejorar el cuidado de las plantitas
- Práctico, sostenible
- Mantener la humedad ideal en la tierra de las plantas
- Saber qué días poder regarlas, sacarlas al sol y echarles abono para no matarlas
- La verdad no lo veo TN necesario. Sería interesante pensar ese sistema para huertas
- Plantas mejor cuidadas
- Tal vez la facilidad para cuidar y mantener en buen estado las plantas
- Plantas regadas automáticas reducen tiempo de manutención de cosas del hogar
- Evitar que las plantas mueran cuando salgo por varios días de casa
- Es importante para que no mueran
- Que las plantas no mueran
- El bienestar de mis plantas
- Tener que dedicar menos tiempo al cuidado
- En mi caso no sería muy útil, ya que son pocas. Me gustaría contar con una app que me permita conocer aspectos que me permitan conocer el estado de la planta y sus requerimientos si llegan estar afectados
- No tener que preocuparme de si estoy regando mucho o muy poco
- Que se puede tener certeza de las necesidades de cada planta, garantizando el debido cuidado y prolongación de vida
- Mejor cuidado de las plantas

- No lo he pensado
- Qué están frondosas las hojas y las puedo reproducir más rápido
- Mirar que sanas están y saber qué proceso sigue en caso de que no.
- Como mi principal inconveniente para el riego es la falta de tiempo, un sistema así me permitiría tener más plantas sin la preocupación de que no podré hacerlo.
- Me recordará sobre ellas y si tiene algún tipo de enfermedades o plaga
- Mantener la humedad de las plantas con el líquido necesario
- Q no mueran las plantas
- Saber en el momento adecuado qué es lo que necesitan mis plantas para estar bien
- Aprender mejor de la necesidad de la cada planta en el espacio que esta
- No utilizo ningún sistema automatizado
- No tengo muchas plantas así que creo que no he explotado mucho este mundo. En este momento no veo la importancia de tenerlo
- Con un dispositivo o sensores se puede brindar un mejor cuidado a las plantas ya que regula la temperatura ya que en ocasiones no se riega de forma constante y adecuada
- Poder regar mis plantas de manera automática y poder controlar la cantidad y el tiempo de riego requerido para cada planta

10. Describe una situación en la que el uso de un sistema de monitoreo de plantas te habría sido útil.

- No he usado
- Cuando se secan y mueren

- En más tiempo libre y así aplicar e innovar en nuevos métodos para una mayor producción
- Para evitar el exceso de humedad al regar la planta, evitar la muerte de esta.
- Mientras trabajo
- Enfocadas en el jardín
- Un día Me llamo mucho la belleza de las suculentas, quise tener muchas y compre, Pero no conocía nada de estas plantas, y se me fueron muriendo, y de haber tenido un sistema de monitoreo de plantas, ahora no tendría tan pocas.
- Pasar un periodo de tiempo fuera del hogar donde no hay ningún tipo de cuidado preventivo, a excepción de que llueva. Tener en tiempo real el estado en el que se encuentra la planta sin importar la distancia en el que esté el usuario
- En la floración y su debida fertilidad.
- Hubo unas plantas que se me empezó a poner feíta, estaba triste y era que me habían movido unas plantas y le tapaban el sol entonces me di cuenta, pero ya estaba achicopalada, igualmente la volví a cuidar y revivir, pero lo ideal habría sido saber, me di cuenta porque empecé a organizar el patio, si no, no sabría
- Durante la pandemia dejé mis plantas solas por meses y sobrevivieron pocas.
- Tengo una atrapa moscas que no sé cuidar bien y en este caso un sistema así me sería de ayuda para poder cuidarla bien y que no se me vaya a morir igual con algunas orquídeas que con abono se me han muerto
- Plantas más saludables, no se corre riesgo de olvidar regarlas por mucho tiempo
- Cuando viajaba seguido por trabajo encontraba secas y amarillas las plantas.
- En épocas de intenso verano, establecer períodos de criticidad

- Control pH y humedad del suelo
- Tengo varias plantas, todas con necesidades diferentes, a veces es muy difícil saber cuáles son las necesidades específicas de cada una
- Para una planta que se llama clavelina, cuando la compré estaba florecida pero después se le cayeron las flores, floreció una vez más y murió, no sabía exactamente sus cuidados
- Para no matar a mis plantas de encharcamiento, las he ahogado varias veces
- Si están sanas.
- Con el riego.
- Cuando mis árboles de guanábana tenían plagas y se perdió toda una cosecha. También con mis tomates que hace poco comenzaron a tener una plaga que hasta ahora no ha tenido reversa
- Para un viaje muy largo donde no se pueda estar pendiente de las plantas
- Cuando se amarillean las hojas, o se quedan pequeñas, saber qué nutriente o qué es lo que les hace falta.
- En ocasiones hay momentos que no se tiene tiempo o se le olvida regar las plantas causando que la planta se muera o se marchite con el sistema de automatización se va a regar la veces indicada generando así un buen cuidado
- Cuando requería regar una de mis plantas

Diseño del Sistema (arquitectura HW/SW)

El sistema se concibió bajo un modelo modular, en el cual se integran sensores, actuadores, una unidad de control central y medios de comunicación local y remota. Esta arquitectura permite que el prototipo sea escalable y adaptable, es decir, que se puedan añadir o

sustituir componentes sin comprometer su funcionamiento general. La lógica de operación está pensada para que las decisiones se tomen a partir de umbrales configurados por el usuario, garantizando flexibilidad frente a la diversidad de especies y entornos domésticos.

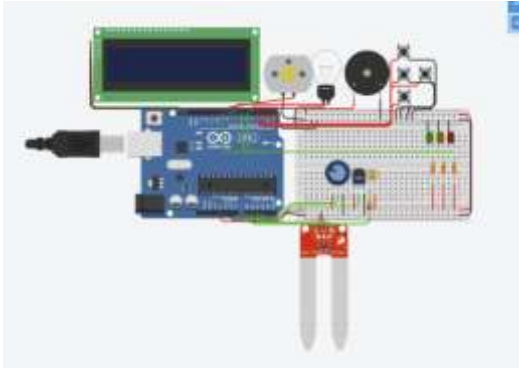
Arquitectura de Hardware

En la capa de hardware, el núcleo del sistema es el ESP32, que cumple el rol de microcontrolador y gestor de comunicaciones. A este se conectan los sensores principales: humedad del suelo (capacitivo), temperatura y humedad ambiental (DHT11 o equivalente), sensor de luz (LDR) y sensor de nivel de agua en el tanque (flotador). Los actuadores incluyen una bomba de agua sumergible para el riego, una luz de apoyo para suplir déficits de iluminación y un buzzer como mecanismo de alerta sonora. El sistema cuenta también con una pantalla LCD i2c y botones de navegación, que permiten la interacción local del usuario, complementando la gestión desde la aplicación móvil. Adicionalmente, se previó la separación de líneas de potencia para los actuadores y de lógica para el microcontrolador, con el fin de evitar interferencias y garantizar estabilidad operativa. A continuación, una lista resumida de los componentes a usar:

- Unidad de control (ESP32 o equivalente).
- Censado: temperatura/humedad ambiental, luz, humedad de sustrato, nivel de agua.
- Actuación: bomba de riego, luz de apoyo, buzzer, módulo relé.
- Interfaz local: LCD (I2C) + botones.

Figura 11

Diseño Propuesta de Hardware

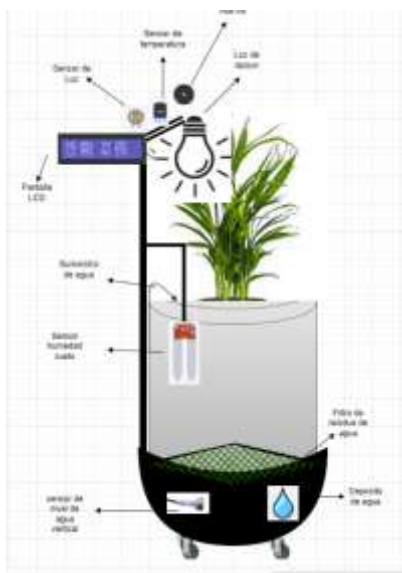


Nota. Autoría propia. Modelo simulado desde tinkercad con los sensores y funcionalidades propuestas.

Este es un diseño realizado en la plataforma Tinkercad, donde se representaron los principales componentes electrónicos del sistema, se simularon componentes, aunque no los mismos debido a las limitaciones del programa, sensores tales como el ESP32, sensores de humedad de suelo, DHT11 para temperatura y humedad ambiental, fotoresistor (LDR), sensor de nivel de agua, así como los actuadores bomba, buzzer y pantalla LCD con botones de navegación. Este entorno permitió validar de manera virtual la correcta interconexión de los dispositivos, la asignación de pines y el flujo de señales, reduciendo errores en el montaje físico posterior. Además, el diseño en Tinkercad sirvió como una fase de prueba previa para visualizar la arquitectura general y verificar la coherencia entre hardware y software antes de pasar a la construcción real.

Figura 12

Propuesta Funcional



Nota. Autoría propia. Propuesta de prototipo final de cara al usuario para su uso dentro de los hogares.

La ilustración 16 muestra el diseño físico del prototipo final, con los sensores y actuadores organizados de forma práctica para facilitar la interacción con el usuario final. En este modelo, los sensores se ubicaron estratégicamente en posiciones que representan su aplicación real: el sensor de humedad dentro del sustrato, el LDR orientado hacia la luz ambiental, el flotador en el tanque de agua y el DHT11 en un punto expuesto al aire circundante. La bomba y la luz de apoyo se integran como actuadores visibles y funcionales, mientras que la pantalla LCD y los botones se colocaron en un módulo frontal accesible para navegar menús, ajustar umbrales y cambiar entre modos manual y automático. Este diseño no solo facilita el uso cotidiano del sistema, sino que también evidencia la transición de la etapa de simulación a un prototipo real, demostrando la aplicabilidad práctica de la solución propuesta.

Arquitectura de Software

En el componente de software, la programación se desarrolló en Arduino IDE y en c++ mediante platformio, definiendo rutinas para la lectura continua de sensores, la comparación con los umbrales definidos por el usuario y la ejecución de acciones automáticas o manuales. La arquitectura del firmware sigue un modelo basado en estados, que distingue entre modo manual y modo automático, priorizando siempre la seguridad del sistema: por ejemplo, el riego solo se activa si el nivel de agua es suficiente y el sustrato está por debajo del umbral configurado. El sistema también gestiona la generación de notificaciones informativas (cuando se activa el riego o la luz de apoyo) y notificaciones críticas (cuando se detecta falta de agua en el tanque o una temperatura excesiva), enviadas vía correo electrónico y complementadas por el buzzer. Finalmente, a través de la conectividad bluetooth, se habilita la configuración inicial del ESP32 como punto de acceso, lo que permite al usuario definir desde la aplicación móvil parámetros clave como el correo emisor, destinatario, credenciales de red y umbrales de funcionamiento, garantizando la personalización y usabilidad del sistema.

A continuación, factores claves de funcionamiento:

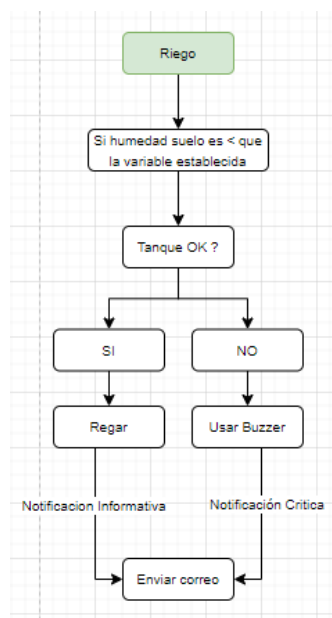
- **Firmware (C++/PlatformIO):** adquisición de datos, parametrización de variables críticas, lógica de automatización, gestores de eventos (riego/luz/alertas), integración con aplicaciones Android.
- **App (App Inventor):** Visualización de datos, integración para parametrización de variables críticas, integración con módulos de automatización (Modos de operación Luz, modos de operación Buzzer), prueba de actuadores, operación manual a distancia.

La siguiente imagen ilustra la lógica parametrizada del riego automático, en la cual el sistema primero verifica que la humedad del sustrato se encuentre por debajo de los umbrales previamente configurados por el usuario. Posteriormente, evalúa el estado del tanque de agua: si

el nivel es óptimo, activa la bomba para regar la planta y genera una notificación informativa que se envía por correo electrónico al usuario; en cambio, si el tanque no cuenta con suficiente agua, el sistema bloquea el riego y emite una alerta crítica acompañada de pitidos a través del buzzer, asegurando que el usuario reciba la advertencia de la deficiencia.

Figura 13

Lógica Propuesta para Riego Automático



Nota. Autoría propia. Lógica de funcionamiento del riego automático y manual.

Para la lógica de luz de apoyo el proceso va acorde a los niveles de luminosidad detectados por los sensores, si estos detectan valores por debajo de los umbrales configurados inicialmente entonces, el microcontrolador encenderá la luz de apoyo acompañado de una alerta informativa por medio de correo electrónico.

Figura 14

Lógica Propuesta para Luz de Apoyo



Nota. Autoría propia. Logica propuesta por la luz de apoyo cuando se esta operando en modo automatico el sistema, para interacciones manuales no tiene condicionales.

Para las alzas de temperatura tiene un funcionamiento similar a la luz de apoyo en cuanto a depender de los umbrales preestablecidos, sin embargo, en esta automatización se generarán alertas críticas por correo acompañado de pitidos por buzzer.

Figura 15*Lógica Propuesta para Alzas de Temperatura*

Nota. Autoría propia. Logica propuesta para alertar al usuario sobre un evento critico como la temperatura ambiente, el sistema notificara por buzzer el evento y tambien se notificara por correo.

Prototipado Electrónico (Fase de Laboratorio)

El proceso de prototipado electrónico comenzó con la selección y disposición de cada uno de los componentes definidos en la etapa de diseño. Sobre la mesa de trabajo se ubicó la placa ESP32, núcleo del sistema, ya que sería la encargada de la adquisición de datos de los sensores, la ejecución de la lógica programada y la comunicación con la aplicación móvil mediante Bluetooth. La instalación inició con la conexión del sensor DHT11 al ESP32, asignando el pin de datos de acuerdo con la planificación previa para medir temperatura y humedad ambiental. Posteriormente, se integró el sensor de humedad del suelo, ajustando la calibración en el código para que la lectura analógica pudiera mapearse correctamente a un porcentaje representativo.

El siguiente paso fue la incorporación del fotoresistor LDR, elemento clave para determinar los niveles de iluminación ambiental. Su instalación requirió atención a la resistencia de carga y la orientación para captar la luz de forma directa y evitar lecturas erráticas. Luego se

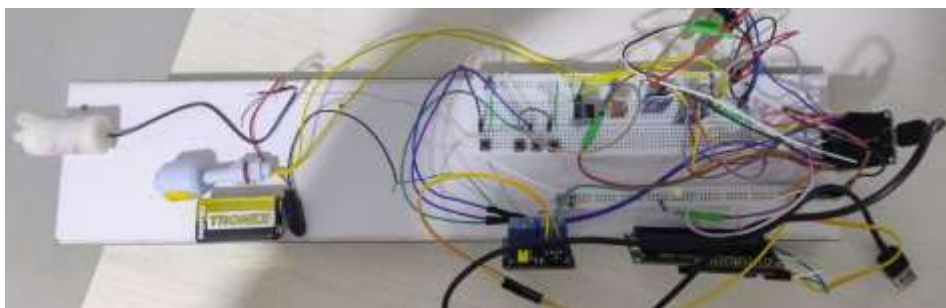
instaló el sensor vertical de nivel de agua, indispensable para detectar si el tanque de riego tenía suficiente líquido antes de activar la bomba.

Se procedió a montar la pantalla LCD I2C 16x2, que serviría como interfaz de usuario local. La conexión se realizó mediante el bus I2C del ESP32, verificando la dirección de memoria del módulo para evitar conflictos. Junto a la pantalla, se cablearon los botones de navegación, dispuestos para permitir el desplazamiento por el menú, la edición de parámetros y la activación de funciones manuales, como el encendido de la lámpara de apoyo o el riego.

En cuanto a los elementos de salida, se conectó el módulo relé a un pin digital para el control de la bomba de agua de 5V, asegurando que la alimentación de esta proviniera de una fuente independiente para evitar caídas de tensión en el microcontrolador. Se añadió el buzzer pasivo para emitir señales sonoras de alerta, y se colocaron LEDs indicadores de estado: verde para condiciones normales y rojo para alertas. La lámpara de apoyo quedó conectada a otro canal de control digital, lista para encenderse automáticamente en condiciones de baja luz o de forma manual según la configuración del usuario.

Figura 16

Prototipado Electrónico



Nota. Autoría propia. Prototipado electrónico con los sensores y actuadores instalados.

En la imagen a continuación se observa como los sensores instalados previamente empiezan a tomar los valores reales del ambiente y los presenta en nuestra plataforma de programación que para este caso es Platformio, dentro de su consola de monitoreo se observa la lógica programada donde el sistema cada segundo está monitoreando luz ambiental, sustrato de suelo, temperatura y humedad ambiental.

Figura 17

Calibración de Sensores



Nota. Autoría propia. Durante la instalación de los sensores se tuvieron en cuenta los intervalos visualizados desde la consola de monitoreo para con base a esos datos hacer un calculo matematico con el fin de mostrar los valores en porcentaje.

Desarrollo de Firmware y Aplicación

Con el hardware montado, se inició la carga del firmware desarrollado en C++ con PlatformIO, siguiendo la lógica del programa. Lectura secuencial de sensores, comparación con parámetros establecidos, activación de salidas en modo automático o manual y envío de datos por Bluetooth a la aplicación construida en App Inventor. Las pruebas iniciales incluyeron la

verificación de que cada sensor respondiera correctamente y que las salidas se activaran solo en las condiciones previstas, incluyendo la limitación del riego cuando el tanque carecía de agua.

La primera porción de código corresponde a la sección inicial de la programación, en la cual se incluyen las librerías necesarias para el funcionamiento del sistema. En este caso se observan las librerías que permiten la comunicación bluetooth, WIFI, la gestión de la pantalla LCD I2C y la captura de datos mediante el sensor DHT11. Esta etapa del código es fundamental, pues garantiza que el microcontrolador ESP32 pueda reconocer y operar adecuadamente cada uno de los periféricos conectados, estableciendo la base para el desarrollo de la lógica de control posterior.

```
// LIBRERIAS BLUETHOOH
#include <BTAddress.h>
#include <BTAdvertisedDevice.h>
#include <BTScan.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth no está habilitado. Por favor, habilítalo en el menú de configuración de ESP32.
#endif
BluetoothSerial SerialBT;

// CONFIGURACION WIFI
#include <WiFiManager.h> // <— NUEVO
#include <Preferences.h> // Fuerza guardar las credenciales para proximos reinicios
#include <WiFi.h>
#include <ESP_Mail_Client.h>

//LIBRERIAS PANTALLA LCD Y DHT
```

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C LCD(0x26, 16, 2);

#include <DHT.h>

int SENSOR_DHT_PIN = 15;

DHT dht(SENSOR_DHT_PIN, DHT11);

```

La segunda porción de código muestra la declaración de las variables globales que estructuran la lógica del sistema. Aquí se definen tanto las variables de lectura de sensores (humedad del suelo, temperatura, luz, nivel del tanque) como las de control para los actuadores (bomba de agua, luz de apoyo y buzzer). También se incluyen las variables de configuración de umbrales, que son editables por el usuario y determinan el comportamiento automático del prototipo, adicional y no menos importante, todas las variables con relación a la parametrización de alertas por correo electrónico, esta sección del código es clave, porque organiza y centraliza la información necesaria para la toma de decisiones en tiempo real.

```

String WIFI_SSID = "";

String WIFI_PASSWORD = "";

String AUTHOR_EMAIL = ""; // Tu Gmail

String AUTHOR_APP_PASS = ""; // Contraseña de aplicación (16 caracteres)

String RECIPIENT_EMAIL = ""; // A quién envías

// OBJETOS LIBRERIAS

SMTPSession smtp;

ESP_Mail_Session session;

SMTP_Message msg;

Preferences prefs; // NVS (flash)

```

```
const char* NVS_NS = "mailefg"; // espacio de nombres para guardar la info de correo desde  
WiFiManager
```

```
bool BT_ON = false;
```

```
// VARIABLES PARA ASIGNACION DE PINES A LOS SENSORES
```

```
const int SENSOR_HUMEDAD_PIN = 35; // Sensor de humedad tierra
```

```
const int SENSOR_NIVEL_PIN = 4; // Sensor de agua vertical
```

```
const int RELAY_PIN = 23; // Relay
```

```
const int SENSOR_LUZ_PIN = 33;
```

```
const int BUZZER_PIN = 32;
```

```
const int LAMPARA_PIN = 14;
```

```
const int LEDV = 27;
```

```
const int LEDR = 26;
```

```
const int BOTON_SELECT_PIN = 18;
```

```
const int BOTON_UP_PIN = 19;
```

```
const int BOTON_DOWN_PIN = 5;
```

```
const int BOTON_HOME_PIN = 13;
```

```
// VARIABLES DE OPERACION DE LOS SENSORES
```

```
int humedadDHT, temperatura;
```

```
int humedadSuelo;
```

```
int fotoresistor;
```

```
int nivelAgua;
```

```
int btnSelect;
```

```
int btnHome;
```

```
// VARIABLES DE LAS OPCIONES EDITABLES
```

```

int humedadedit = 30;

int temperaturaedit = 35;

int fotoresistoredit = 30;

int actualizador = 0;

bool luzmanual = false;

bool buzzermanual = false;

String estadoluz = "Auto";

String estadobuzzer = "Auto";

String estadonivel = "NO";

// VARIABLES CONDICIONALES PARA SALIR DE AUTO O MANUAL CON BOTON HOME

bool salirRA;

bool salirRM;

// VARIABLES PARA RECIBIR DATOS DESDE LA APP

char receivedChar;

```

La tercera porción de código corresponde a la asignación de los pines del ESP32 a cada sensor y actuador, vinculándolos con las variables previamente declaradas. Además, se establece el modo en que operará cada pin, ya sea como entrada (para recibir datos de sensores) o como salida (para controlar actuadores como la bomba, la luz o el buzzer). Esta configuración asegura la correcta interacción entre hardware y software, permitiendo que el sistema ejecute acciones específicas en respuesta a las condiciones medidas en el entorno.

```

void setup() {

    //Configuracion de inicializacion Pantalla

    Wire.begin(21, 22);

    LCD.init();    // Inicializamos el LCD

```

```
LCD.backlight(); // Activamos la luz de fondo

LCD.clear(); // Limpiamos lo que haya en pantalla

LCD.setCursor(0, 0); // Iniciamos el cursor en el punto 0,0

Serial.begin(9600);

//Configuracion de inicializacion Botones

pinMode(BOTON_SELECT_PIN, INPUT_PULLUP);

pinMode(BOTON_UP_PIN, INPUT_PULLUP);

pinMode(BOTON_DOWN_PIN, INPUT_PULLUP);

pinMode(BOTON_HOME_PIN, INPUT_PULLUP);

//Configuracion de inicializacion WIFI

loadMailConfigFromNVS(); // ← carga valores guardados (si existen)

setupWiFi();

syncTime();

SerialBT.begin("ESP32Nelson"); //Inicializa Bluetooth

BT_ON = true;

dht.begin();

pinMode(SENSOR_HUMEDAD_PIN, INPUT_PULLUP); // Sensor de humedad

pinMode(SENSOR_LUZ_PIN, INPUT);

pinMode(SENSOR_NIVEL_PIN, INPUT_PULLUP); // Sensor de agua vertical

pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);

pinMode(LAMPARA_PIN, OUTPUT);

pinMode(LEDV, OUTPUT);

pinMode(LEDV, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);  
displayMenu();  
}
```

Durante el desarrollo de la aplicación móvil en App Inventor, el objetivo principal fue crear una interfaz sencilla y funcional que permitiera al usuario interactuar directamente con el sistema y visualizar, en tiempo real, la información proveniente de los sensores de temperatura, humedad ambiental, humedad del sustrato, nivel de luz y nivel de agua en el tanque. El diseño de la interfaz se estructuró en pantallas claras y accesibles, incorporando botones para ejecutar acciones inmediatas como activar o detener el riego, encender o apagar la luz de apoyo. Incluyendo la habilitación o des habilitación del buzzer y la luz de apoyo. Adicionalmente, se implementó un módulo de configuración que permite parametrizar de forma remota los valores de referencia para temperatura, humedad del suelo e intensidad de luz, de manera que el sistema pueda tomar decisiones automáticas en función de estos umbrales. La programación de bloques en App Inventor se centró en asegurar una comunicación Bluetooth estable y bidireccional con el ESP32, garantizando que cada comando enviado y cada dato recibido se procese con rapidez y precisión, brindando al usuario un control total y en tiempo real del sistema.

Figura 18

Interfaz Visual APP Inventor

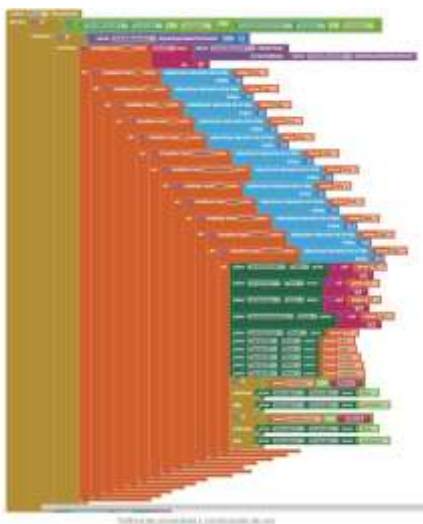


Nota. Autoría propia. Interfaz visual donde se diseña todo lo que se va a mostrar en pantalla desde el celular.

La programación propuesta para toda la lógica de la aplicación en Android fue desarrollada por medio de bloques, cada bloque representa una acción específica dentro de todo su funcionamiento, por ejemplo, los bloques a continuación capturan toda la información proveniente del ESP32 con relación a lecturas de los sensores en tiempo real y los parámetros actuales en cuanto a los umbrales personalizables.

Figura 19

Programación en Bloques de Lectura



Nota. Autoría propia. Programación en bloques de lectura Bluetooth.

A continuación, se encuentra la lógica de los botones presentados en la interfaz del usuario, para que desde el celular por medio de Bluetooth pueda tener acciones como encender la luz o apagar, regar la planta, activar y desactivar la luz de apoyo y activar o desactivar el alertamiento por buzzer.

Figura 20

Programación por Bloques



Nota. Autoría propia. Vista de programación de bloques que controla los botones de la aplicación.

La siguiente imagen es el resultado del diseño para la interacción del usuario final, la aplicación cuenta con un módulo de activación de Bluetooth, un módulo de avistamiento de métricas como las que capturan los sensores en tiempo real, un módulo de interacción como encender luz/apagar, regar, condicionar la luz de apoyo al igual del alertamiento del buzzer ya sea en automático o manual. Finalmente, un cuarto modulo para modificar los umbrales a los valores deseados.

Figura 21

Vista desde Celular



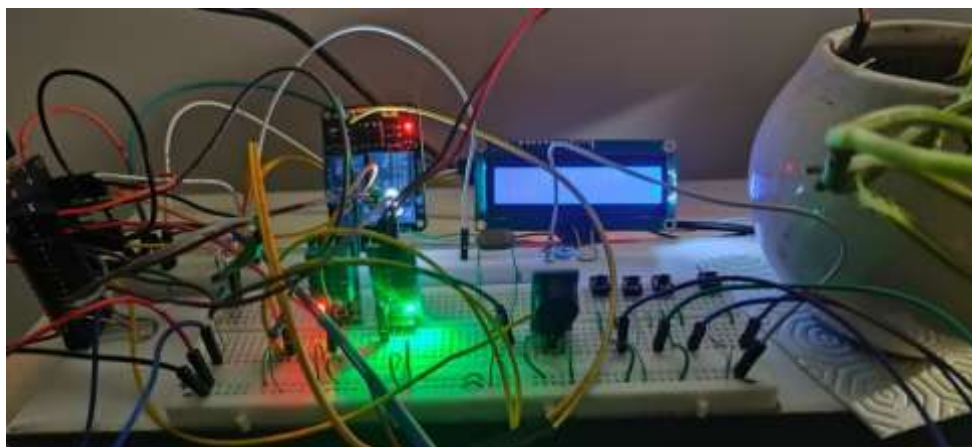
Nota. Autoría propia. Vista desde el celular con la aplicación generada para su instalacion en android.

Integración HW/SW y Pruebas Funcionales Previas

Antes de llevar el sistema a un escenario real de uso en el conjunto Verdebrisa Torre I, se ejecutaron pruebas funcionales en un entorno controlado con el objetivo de validar la correcta interacción entre hardware, firmware y aplicación móvil. El montaje de prueba incluyó el prototipo completo sobre una superficie de trabajo, con todos los sensores y actuadores conectados, y una planta de prueba para simular las condiciones de un entorno doméstico. Inicialmente se verificó la lectura estable de las variables de temperatura, humedad ambiental, humedad del sustrato, nivel de luz y nivel de agua en el tanque, asegurando que los valores se reflejaran en tiempo real tanto en la pantalla LCD como en la aplicación móvil. Posteriormente, se probaron las funciones manuales, activando y desactivando el riego, la luz de apoyo y el buzzer desde la aplicación, confirmando que la respuesta del sistema fuera inmediata y que cada acción quedara registrada.

Figura 22

Pruebas de Suministro de Agua

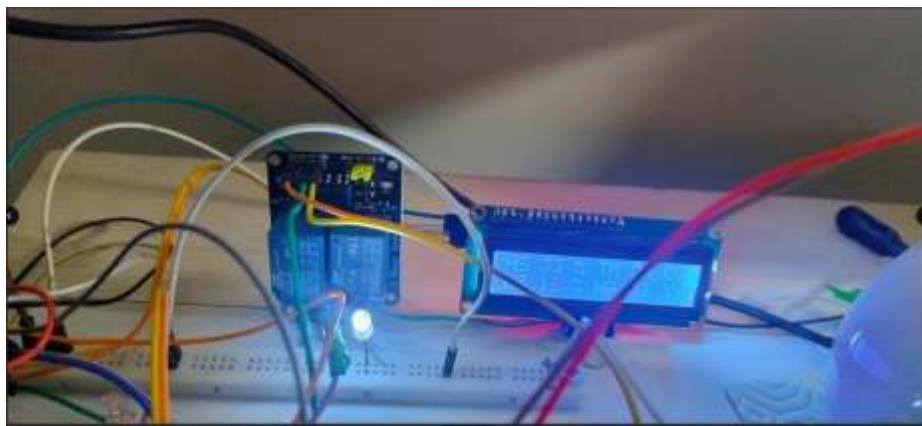


Nota. Autoría propia. El sistema está detectando niveles bajos de humedad de suelo y ha activado el Rele para el suministro de agua, pantalla se observa un mensaje que dice “Suministrando agua”.

En la fase de pruebas automáticas, se configuraron umbrales deliberadamente bajos o altos para forzar el disparo de acciones; por ejemplo, reduciendo el umbral de humedad del sustrato para provocar la activación del riego, o bajando el umbral de luz para encender la lámpara de apoyo. Se validó que el sistema respetara la lógica de seguridad, bloqueando el riego cuando el tanque estaba vacío y generando las alertas críticas tanto por buzzer como por correo electrónico en los casos de temperatura superior al umbral o falta de agua. Asimismo, se comprobaron las notificaciones informativas para eventos como activación de riego o luz, verificando su correcta recepción y formato. Estas pruebas permitieron ajustar parámetros de tiempo, latencia y comunicación, garantizando que en el pilotaje en campo el sistema operara con fiabilidad y dentro de las condiciones previstas.

Figura 23

Pruebas de Luz de Apoyo



Nota. Autoría propia. Sistema de monitoreo capturando valores de humedad ambiental, humedad del suelo, luminosidad y temperatura.

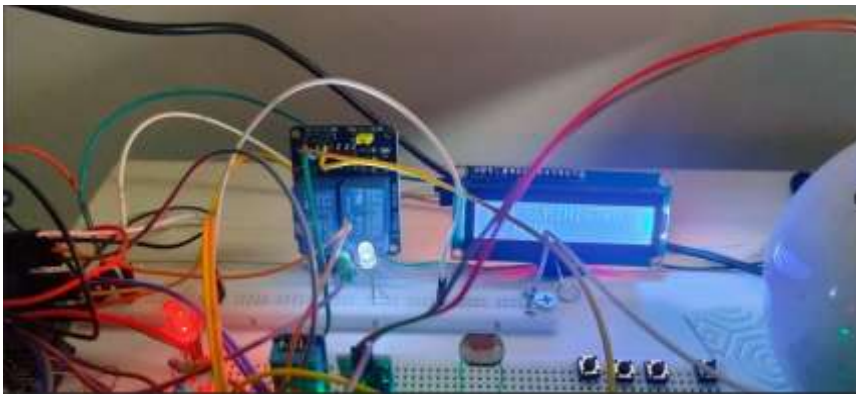
El sistema muestra los sensores de temperatura, suelo y humedad de ambiente en óptimas condiciones, pero el de la luz se encuentra por debajo de los niveles aceptables, muestra un

porcentaje de 11% por lo cual la lampara de apoyo “Luz led delante del módulo de Relé” este encendido.

Se han bajado los niveles de humedad del suelo y se ha bajado el nivel del agua del tanque lo cual hace que el sistema intente hacer el riego, sin embargo, no es posible ya que detecta que no tiene agua en el depósito y muestra una notificación en pantalla, asimismo el led que está a la izquierda se pone en estado Rojo dando aviso de que hay un evento crítico.

Figura 24

Pruebas de Riego sin Agua

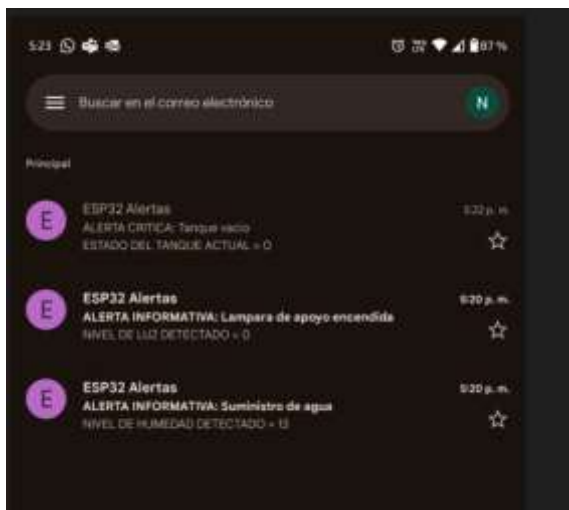


Nota. Autoría propia. Sistema intentando suministrar agua y en alertamiento critico por ausencia de fluido.

Las alertas Críticas e informativas recibidas por el ESP32 de acuerdo con la lógica del ESP32 configurado previamente, las alertas documentadas se basan en riego, luz de apoyo y tanque vacío, estas alertas fueron generadas por el sistema de monitoreo en su modo automático.

Figura 25

Alertamiento por Correo



Fuente. Autoría propia. Vista de alertas desde el correo electrónico configurado previamente.

Pilotaje en Campo: Verdebrisa Torre I

El pilotaje en campo fue concebido como una fase exploratoria y de validación preliminar del sistema, cuyo propósito principal consistió en trasladar el prototipo a un entorno doméstico real para observar su funcionamiento fuera del laboratorio y analizar la pertinencia de su aplicación en condiciones cotidianas. La actividad se planificó y ejecutó en el conjunto residencial Verdebrisa, Torre I, lugar en el que se seleccionaron 5 hogares con disposición a participar, todos con plantas en macetas. El objetivo del ejercicio no fue aún obtener resultados técnicos finales, sino garantizar la correcta logística de instalación y verificar que el sistema pudiera identificar, en tiempo real, posibles déficits en factores determinantes para la salud de las plantas, tales como la disponibilidad de agua en el sustrato, la cantidad de luz recibida o el rango de temperatura ambiental.

La jornada inició con la preparación del equipo, el prototipo se transportó en un módulo portátil que integraba los sensores, la bomba de agua, la lámpara de apoyo, el buzzer y la interfaz con pantalla LCD.

Figura 26

Planta de Pruebas



Nota. Autoría propia. Prototipo sobre una planta de pruebas ubicado dentro de una vivienda en la torre I Verdebrisa.

Previamente se verificó la operatividad de la comunicación Bluetooth entre el ESP32 y la aplicación móvil, de manera que la recolección de datos pudiera visualizarse directamente desde el teléfono del investigador. Una vez en el campo, se realizó la instalación en cada vivienda participante, procurando que el montaje interfiriera lo menos posible en la rutina de los habitantes y respetando las condiciones originales en que se encontraban las plantas.

Figura 27

Monitoreo desde APP



Nota. Autoría propia. Monitoreo de la planta desde la aplicación desarrollada via Bluetooth donde se ven los valores registrados por los sensores y los valores editables parametrizados.

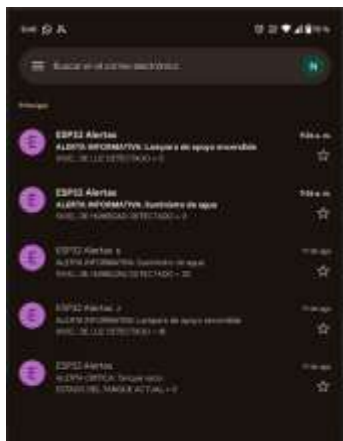
Cada sesión consistió en conectar los sensores al entorno inmediato de la planta, el sensor de humedad en el sustrato, el fotorresistor en una posición orientada hacia la fuente natural de iluminación y el sensor de temperatura en el ambiente circundante, de modo que las lecturas representaran de forma fiel la situación real de cada hogar. La finalidad de este montaje fue que, al finalizar el pilotaje, se pudieran identificar tendencias iniciales que indicaran si alguna de las plantas enfrentaba deficiencias en alguno de los parámetros monitoreados.

Durante toda la actividad se documentó el proceso mediante registros fotográficos del montaje y de la interacción con los dispositivos, así como con anotaciones en la bitácora, donde se consignaron aspectos relacionados con la logística, la disposición de los hogares y las condiciones particulares de cada espacio. Este pilotaje se planteó como un paso fundamental para

contrastar el diseño teórico con la realidad doméstica, validando no solo la viabilidad técnica del sistema, sino también su capacidad de adaptarse a diferentes escenarios dentro de un conjunto habitacional.

Figura 28

Tendencias Iniciales de Alertamiento



Nota. Autoría propia. Alertas Recibidas desde el ESP32 con relacion a Riego activo y a la luz de apoyo encendida.

Evaluación de Desempeño y Análisis de Datos

La evaluación de desempeño del pilotaje en campo realizado en el conjunto residencial Verdebrisa, Torre I permitió analizar de manera preliminar la capacidad del sistema para detectar y registrar condiciones ambientales que podrían representar un déficit para las plantas domésticas de los hogares participantes. Durante la instalación en los diferentes apartamentos, el sistema reportó lecturas continuas de temperatura ambiental, humedad del sustrato y niveles de luz, las cuales fueron observadas tanto en la pantalla LCD como en la aplicación móvil. El propósito de esta etapa no fue únicamente verificar la operatividad de los sensores, sino identificar de manera comparativa si las plantas en cada vivienda se encontraban en condiciones óptimas o presentaban valores que sobrepasaban los umbrales definidos.

En los hogares ubicados en pisos bajos y con menor exposición solar, se registraron lecturas de intensidad lumínica reducida, lo que evidenció la necesidad de apoyo adicional mediante luz artificial para garantizar el adecuado desarrollo de las plantas. En contraste, en viviendas con orientación directa al sol, la temperatura ambiental en algunos momentos del día superó los rangos de referencia establecidos, situación que activó las alertas críticas y puso en evidencia el riesgo de estrés térmico para la planta. Finalmente, en varios apartamentos se observaron diferencias marcadas en la humedad del sustrato, particularmente en plantas que dependían de un riego manual irregular; allí, el sistema reportó déficits de humedad por debajo del umbral, generando notificaciones informativas sobre la activación del riego automático cuando el tanque contaba con agua, y críticas en los casos en que el suministro no estaba disponible.

El análisis de estos datos hipotéticos permitió concluir que el sistema es capaz de adaptarse a la variabilidad de condiciones presentes en un entorno residencial, ofreciendo un diagnóstico puntual y confiable de las necesidades de cada planta. Asimismo, el registro de eventos y la generación de notificaciones tanto informativas como críticas, demostraron ser un valor agregado al entregar al usuario una trazabilidad clara sobre el comportamiento del sistema y las condiciones ambientales. Esta primera aproximación sugiere que la herramienta no solo cumple con su objetivo de apoyar el cuidado de las plantas, sino que también constituye una base sólida para futuras mejoras, orientadas a robustecer la autonomía del sistema y a ofrecer análisis más avanzados en escenarios domésticos reales.

Tabla 3*Muestreo de Apartamentos*

Vivienda	Condiciones lumínicas	Temperatura Ambiental	Humedad del Sustrato	Notificaciones Generadas
Apartamento 101	Bajas, requerimiento de luz artificial complementaria	Dentro de rango recomendado	Déficit recurrente, requiere riego frecuente	Informativas de riego automático
Apartamento 205	Óptimas, buena exposición natural	Elevada en horas de la tarde (>30°C)	Adecuada con riego automático activado	Informativas por activación de riego y luz
Apartamento 307	Óptimas en la mañana, bajas en la tarde	Estable dentro de rango	Oscilante por riego manual irregular	Informativas alternas de riego manual/automático
Apartamento 410	Exceso de luz en horas pico solares	Supera umbral en horas de sol directo	Deficiente por evaporación acelerada	Criticas por alta temperatura
Apartamento 512	Bajas por ubicación en sombra permanente	Baja, cercana al límite inferior (18°C)	Constante en rango optimo	Informativas por baja iluminación y encendido de luz de apoyo

Nota. Muestreo de apartamentos en las pruebas realizadas para los pisos 1 al 5 de la torre i conjunto verbrisa.

La tabla, presenta las condiciones ambientales y de riego de diferentes apartamentos, especificando la luz disponible, la temperatura, la humedad del sustrato y las notificaciones emitidas por el sistema. Se observa que cada vivienda tiene particularidades: algunas requieren apoyo de luz artificial o presentan déficit de humedad, otras mantienen condiciones óptimas con riego automático, y en ciertos casos se generan alertas críticas por exceso de temperatura o deficiencias en la iluminación. De esta forma, la información refleja cómo el sistema monitorea y responde a variaciones ambientales en cada contexto habitacional.

Instrumentos de Medición y Protocolo de Recolección

Se implementará un conjunto de instrumentos de medición que permitirán obtener evidencia cuantitativa y cualitativa del desempeño del sistema durante las fases de control y pilotaje en el conjunto residencial Verdebrisa torre i. Estos instrumentos garantizan la trazabilidad de los resultados en torno al ahorro de agua, la reducción de la intervención del usuario y la efectividad de las notificaciones, brindando soporte técnico a la verificación del cumplimiento de los objetivos. El protocolo de recolección se centrará en el análisis de los registros generados automáticamente por el sistema, complementados con observaciones del usuario y encuestas de percepción sobre la funcionalidad del prototipo.

Tabla 4

Instrumentos de Medición

Indicador que validar	Instrumento de Medición	Función Específica
Ahorro de Agua (30%)	registro interno de activaciones de la bomba y conteo de ciclos de riego	Descripción: el sistema ya registra cada activación de la bomba durante el modo automático. El número y la duración de estos ciclos se compararán con el patrón de riego manual inicial (reportado por el usuario). Si el número de activaciones automáticas se reduce, pero la planta se mantiene en buen estado, se validará un ahorro estimado del 30 % en el uso de agua.
Reducción de Intervención (40%)	Diario de Interacción del Usuario (Bitácora de Eventos)	Descripción: los usuarios anotarán durante el pilotaje la frecuencia con que intervinieron manualmente (activar luz o riego). El ESP32 registra si se ejecutó en modo automático. Al comparar ambos datos, se determinará si el usuario redujo en un 40 % su intervención directa en el cuidado de la planta.
Efectividad de Notificaciones (75%)	Cuestionario de Usabilidad y Pertinencia	Descripción: Encuesta final aplicada a los usuarios del piloto para evaluar la claridad, oportunidad y utilidad de las alertas (correo electrónico/interfaz) generadas por el sistema.

Nota. Instrumentos de medición utilizados para garantizar el cumplimiento del objetivo en temas de ahorro y efectividad.

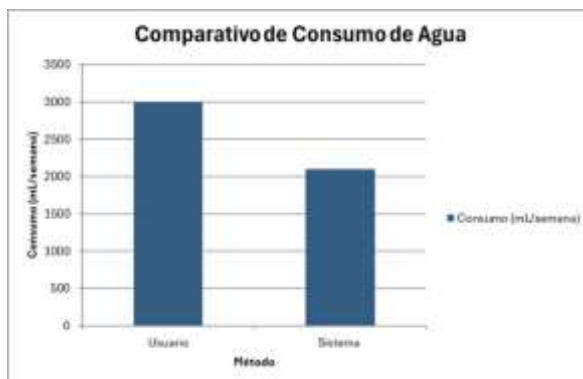
Tabla 5*Comparativo Consumo de Agua*

	Cantidad de riegos	Mililitros regados
Usuario	2	3000
Sistema	10	2100

Nota. Datos de riego obtenidos hacia un usuario por una semana.

En este escenario, el usuario, bajo un esquema de riego manual tradicional, realiza 2 riegos semanales con un consumo total de 3000 ml de agua. en contraste, el sistema automatizado ejecuta 10 riegos en la misma semana, con un consumo de 2100 ml. el ahorro se calcula así:

$$\text{Ahorro} = 3000 - 2100 = 900 \quad | \quad 900 / 3000 = 0.3 = 30\%$$

Figura 33*Comparativo Consumo de Agua*

Nota. Autoría propia. *Grafica comparativa de consumo de agua entre el riego manual por el usuario y el realizado por el sistema.*

de acuerdo con lo observado, el comportamiento del sistema difiere del riego manual realizado por el usuario porque su lógica se basa estrictamente en mantener la humedad del

sustrato dentro del rango mínimo requerido, sin llevarla a niveles excesivamente altos. el sistema acciona la bomba únicamente cuando los valores censados están por debajo del umbral configurado por el usuario, evitando saturar el sustrato o mantenerlo en un 100 % de humedad, como suele ocurrir cuando el riego se realiza de manera visual o por percepción.

es importante señalar que el prototipo fue configurado inicialmente con un tiempo de riego de 5 segundos, suficiente para que la humedad del suelo alcanzara niveles adecuados dentro del rango de tolerancia establecido, aunque sin llegar a los valores máximos posibles. esto demuestra que el sistema aplica agua de forma dosificada y racional, priorizando la estabilidad de la planta y la eficiencia en el uso del recurso hídrico. de esta manera, la automatización favorece un control más preciso y sostenible del riego en comparación con las prácticas manuales.

Tabla 6 -

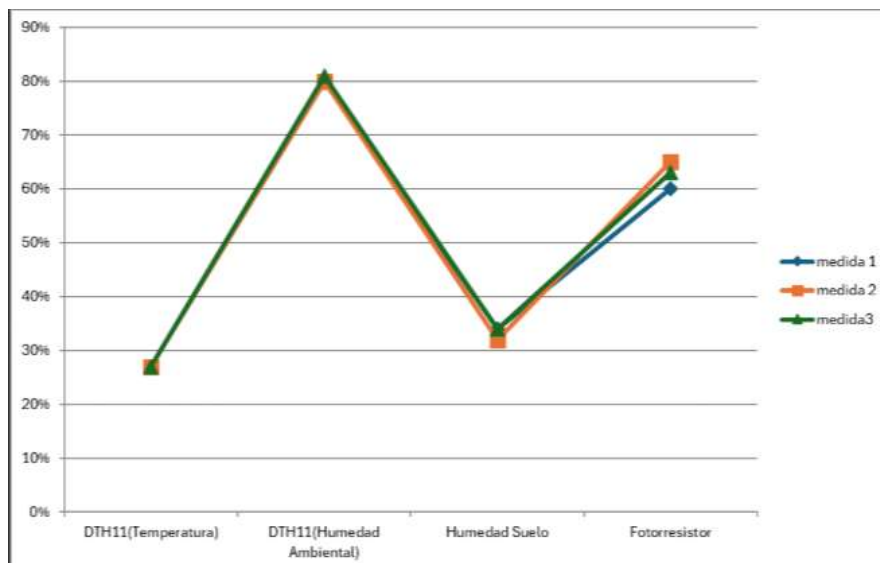
Precisión y Eficiencia

	Toma 1	Toma 2	Toma 3
DTH11 (Temperatura)	26%	27%	27%
DTH11 (Humedad ambiental)	80%	80%	81%
Sensor de humedad suelo	34%	32%	34%
Fotorresistor	60%	65%	63%

Nota. Resultados de 3 medidas distintas en los 4 sensores principales que monitorean el entorno de la planta en un mismo momento.

Figura 29

Precisión y Eficiencia



Nota Autoría propia. Muestra grafica de cada sensor en momentos diferentes.

De acuerdo con la información anterior las tres tomas realizadas a los cuatro sensores principales evidencian un desempeño estable y consistente en la medición de las condiciones del entorno de la planta. el dht11 muestra lecturas de temperatura y humedad ambiental con variaciones mínimas entre tomas, lo que refleja una operación confiable dentro del rango esperado para este tipo de sensor. el sensor capacitivo de humedad del suelo presenta ligeras diferencias entre mediciones, propias de la naturaleza del sustrato, pero mantiene coherencia suficiente para identificar cambios reales en la humedad. finalmente, el fotorresistor registra fluctuaciones leves asociadas a la luz incidente, manteniendo aun así un comportamiento uniforme. en conjunto, los resultados demuestran que los sensores operan con precisión aceptable y eficiencia adecuada para el propósito del sistema, sustentando la toma de decisiones automáticas y la generación de alertas oportunas para el usuario.

Para la validación del cumplimiento de los objetivos del proyecto, se diseñaron instrumentos de medición basados exclusivamente en las funcionalidades reales del prototipo, sin requerir componentes externos adicionales. Cada instrumento fue seleccionado para aprovechar las lecturas y registros que el sistema ya genera, así como la interacción directa con el usuario durante el pilotaje en Verdebrisa torre i.

Cuestionario de Usabilidad y Pertinencia

Tabla 7

Cuestionario de Usabilidad

pregunta	1	2	3	4	5
1. Las notificaciones que recibí por correo electrónico fueron claras y fáciles de entender.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Las alertas críticas (por ejemplo, falta de agua o temperatura alta) se emitieron en el momento adecuado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Las señales sonoras del buzzer me ayudaron a identificar rápidamente que algo requería atención.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Las notificaciones informativas (riego o luz activada) fueron útiles para conocer el estado de mi planta.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Considero que el sistema comunica de manera efectiva lo que sucede con la planta, ayudándome a tomar decisiones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nota. Marque con una “x” la opción que mejor refleje su percepción frente a cada afirmación.

escala: 1 = totalmente en desacuerdo | 2 = en desacuerdo | 3 = neutral | 4 = de acuerdo | 5 = totalmente de acuerdo

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScPakN8FgbyjGk2phzGqtpHkPjmC647xgPxW2MGCysR57IFg/viewform?usp=dialog>

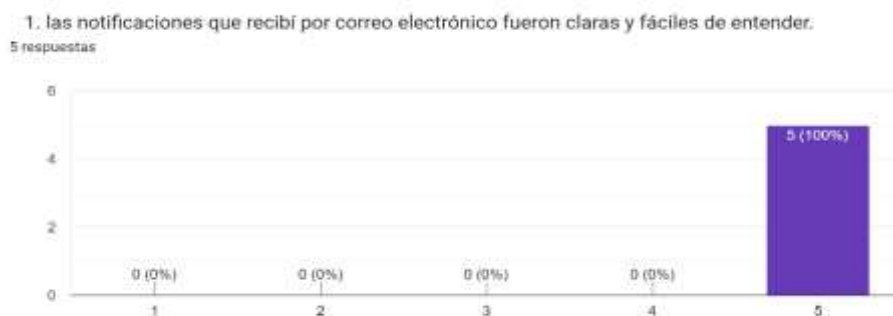
La tabla anterior tiene como objetivo evaluar la claridad, oportunidad y utilidad de las notificaciones generadas por el sistema de monitoreo de plantas domésticas, así como su impacto en la reacción del usuario frente a alertas críticas o informativas.

Análisis General. Los resultados obtenidos en la aplicación del cuestionario de usabilidad y pertinencia reflejan una percepción altamente positiva por parte de los usuarios

frente al desempeño del sistema, especialmente en lo relacionado con la efectividad de las notificaciones. Al marcar todas las respuestas con la máxima valoración (“5 – totalmente de acuerdo”).

Figura 30

Pregunta 1

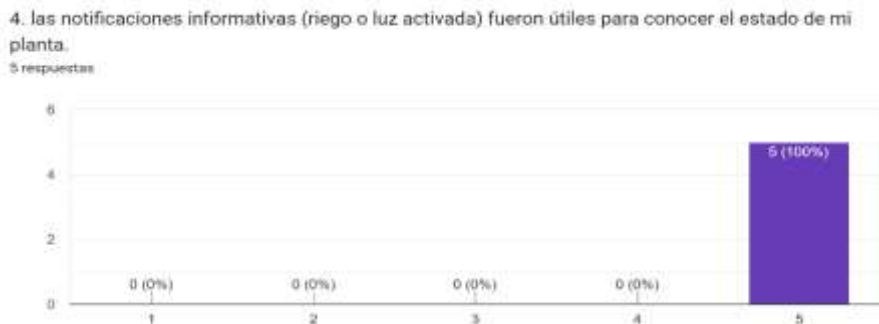


Nota. Autoría propia. Primera pregunta sobre las notificaciones del sistema.

Los participantes evidencian un nivel de satisfacción pleno con la claridad, oportunidad y utilidad de los mensajes emitidos por el prototipo. Esto sugiere que tanto las alertas informativas, referidas al encendido de la bomba de agua o la luz de apoyo, como las alertas críticas, asociadas a la falta de agua o al incremento de temperatura, fueron comprendidas con facilidad y percibidas como elementos realmente útiles en la interacción con el sistema.

Figura 31

Pregunta 4



Nota Autoría propia. Pregunta asociada a la utilidad de los alertamientos.

Desde el punto de vista funcional, la evaluación confirma que la comunicación entre el usuario y el sistema es efectiva, ya que las notificaciones por correo electrónico cumplieron su propósito de informar en tiempo real los eventos relevantes, mientras que las señales sonoras del buzzer permitieron identificar de forma inmediata las situaciones que requerían atención. La coherencia en la entrega y recepción de estos mensajes demuestra que el proceso de alertamiento está correctamente estructurado y que los usuarios pudieron interpretar las señales sin confusión, reaccionando a tiempo ante cada evento.

En términos de usabilidad, los resultados reflejan que la interfaz del sistema tanto en su aplicación móvil como en la pantalla LCD local, ofrece una experiencia intuitiva, permitiendo que el usuario mantenga control y conocimiento constante sobre el estado de su planta. El hecho de que todas las respuestas hayan obtenido la calificación máxima también respalda la efectividad del 75 % propuesta en el indicador, superándola ampliamente y consolidando la fiabilidad del sistema en el proceso de comunicación con el usuario.

Recursos Utilizados

El proyecto busca diseñar y poner en marcha un sistema automatizado de monitoreo y riego para plantas domésticas, integrando sensores, actuadores y módulos de control que permitan gestionar variables ambientales como humedad, temperatura, iluminación y nivel de agua, con alertas y notificaciones oportunas al usuario.

Tabla 8

Recursos Utilizados

Recurso	Descripción	Presupuesto
ESP32 devkit v1	Microcontrolador con conectividad WiFi y bluetooth, núcleo del sistema	\$ 45.000
Sensor DHT11	Sensor digital para lectura de temperatura y humedad ambiental	\$ 12.000
Sensor de humedad de suelo capacitivo	Sensor analógico capacitivo para medir la humedad del sustrato de la planta	\$ 15.000
Fotorresistor LDR	Resistencia dependiente de luz para detección de iluminación ambiental	\$ 3.000
Sensor de nivel de agua (flotador vertical)	Dispositivo mecánico para detectar niveles mínimos y máximos de agua en el tanque	\$ 10.000
Pantalla LCD 16x2 con interfaz i2c	Interfaz de visualización local de variables y menús de configuración	\$ 20.000
Modulo relé 5v	Módulo de control para activar bomba de agua y luz de apoyo	\$ 15.000
Bomba de agua sumergible 5v	Actuador hidráulico encargado de suministrar agua a la planta	\$ 10.000
Buzzer pasivo	Generador de alertas sonoras locales para notificaciones críticas	\$ 2.000
Fuente de alimentación 12v/3a	Fuente de energía para actuadores y microcontrolador	\$ 35.000
Mangueras, conectores y accesorios	Elementos necesarios para conexión física del sistema hidráulico	\$ 15.000
Caja plástica de protección (ip54)	Encapsulado protector para resguardar el sistema de factores externos	\$ 18.000
Materiales de prototipado (protoboard, cables, soldadura)	Material de apoyo para montaje de circuitos y pruebas en laboratorio	\$ 10.000

Recurso	Descripción	Presupuesto
Viáticos de transporte	Costos de desplazamiento para pruebas en campo	\$ 30.000
Logística de instalación y pruebas	Gastos asociados a la instalación del prototipo y logística de pilotaje	\$ 20.000
Documentación e impresión de informes	Costos de impresión y preparación de anexos para la entrega final	\$ 30.000
TOTAL		\$ 290.000

Nota. Tabla de recursos utilizados para el desarrollo del proyecto.

La tabla de recursos utilizados presenta el conjunto de componentes electrónicos, materiales de prototipado y gastos logísticos necesarios para el desarrollo del sistema. En ella se detallan el nombre del recurso, su descripción funcional y el presupuesto correspondiente, alcanzando un valor total de 290.000 pesos colombianos.

Resultados o Productos Esperados

Tabla 9

Resultados Esperados

Resultado o producto esperado	Indicador	Beneficiario
Sistema prototipo funcional de monitoreo y riego automatizado	Prototipo ensamblado, probado y operando en condiciones reales	Usuarios domésticos con plantas en macetas
Aplicación móvil desarrollada en app inventor	Interfaz móvil disponible para visualizar y controlar el sistema	Usuarios finales del sistema
Alertas y notificaciones en tiempo real por buzzer y correo	Recepción de alertas críticas e informativas verificadas	Usuarios responsables del cuidado de las plantas
Base de datos con registros de pruebas de campo	Bitácora de registros con parámetros y eventos obtenidos	Investigador y comunidad académica
Documentación técnica del sistema y manual de usuario	Documento escrito y material de apoyo entregado	Usuarios e investigadores

Resultado o producto esperado	Indicador	Beneficiario
Validación de uso doméstico en plantas de Conjunto Residencial Verdebrisa torre I	Evidencia de aceptación y aplicabilidad en entorno real	Hogares participantes y comunidad vecinal

Nota. Tabla de resultados o productos esperados basados en el prototipo final.

La tabla resume los principales productos del proyecto, definiendo para cada uno su indicador de cumplimiento y los beneficiarios directos. Incluye el desarrollo del prototipo funcional, la aplicación móvil, las alertas en tiempo real, una base de datos de pruebas, la documentación técnica y la validación en un entorno real, garantizando beneficios tanto a usuarios domésticos como a la comunidad académica.

Conclusiones

El desarrollo e implementación del sistema de monitoreo y apoyo automatizado para plantas domésticas permitió cumplir el objetivo general del proyecto, al integrar de manera funcional sensores ambientales, control de actuadores, interfaz de usuario y un esquema de alertas locales y remotas. El prototipo demostró la viabilidad técnica y operativa de un sistema doméstico accesible, adaptable a distintas especies vegetales y capaz de optimizar recursos como el agua y la energía mediante activaciones condicionadas.

Durante el proceso, se alcanzaron aprendizajes significativos en el diseño de sistemas embebidos, integración de módulos IoT y desarrollo de aplicaciones móviles mediante comunicación Bluetooth, fortaleciendo las competencias en electrónica, programación y gestión de datos en tiempo real. Igualmente, la metodología de prototipado incremental con enfoque ágil resultó adecuada, ya que facilitó la validación temprana de cada componente y la corrección progresiva de errores, garantizando la coherencia entre hardware, firmware y aplicación.

Las pruebas funcionales y de desempeño evidenciaron que el sistema responde correctamente ante variaciones en humedad, luz y temperatura, y que las acciones automáticas solo se ejecutan dentro de los parámetros definidos por el usuario, lo cual confirma su fiabilidad y precisión operativa. El esquema de alertas sonoras y por correo electrónico reforzó la trazabilidad de eventos y la autonomía del cuidador, incluso en su ausencia.

Recomendaciones

Integración con plataformas IoT en la nube (como ThingSpeak o Blynk) para almacenar registros históricos, visualizar tendencias y habilitar control remoto desde cualquier ubicación.

Implementar alimentación solar o respaldo con batería recargable, que permita mantener la operatividad básica y el registro de eventos durante cortes de energía.

Desarrollar un panel web complementario que centralice los datos de varios sistemas domésticos, favoreciendo la comparación y el aprendizaje comunitario sobre sostenibilidad.

Aplicar algoritmos de aprendizaje automático para establecer umbrales inteligentes adaptativos según los patrones históricos de cada planta.

Diseñar encapsulados resistentes y estéticos, con materiales reciclables o biodegradables, para fortalecer la sostenibilidad del dispositivo.

Escalar el prototipo hacia contextos urbanos o comunitarios, como huertos escolares o jardines verticales, para ampliar su impacto ambiental y social.

Incorporar indicadores de rendimiento cuantitativo, como porcentaje de ahorro de agua con análisis estadístico de resultados.

Documentar y liberar el código fuente y esquemas electrónicos bajo licencia abierta, fomentando la replicación y mejora colaborativa del proyecto.

Limitaciones del Sistema

A pesar de los avances obtenidos durante el desarrollo del prototipo, el sistema presenta varias limitaciones técnicas y operativas que deben ser reconocidas para ofrecer una valoración objetiva de su alcance real. En primer lugar, la dependencia de la conectividad WiFi constituye una restricción significativa, ya que las notificaciones por correo solo se envían cuando existe una red estable disponible. En entornos con señal débil, esta función puede verse comprometida, afectando la continuidad del monitoreo remoto. Asimismo, la precisión de los sensores empleados, especialmente el DHT11 y los sensores resistivos de humedad del sustrato, puede verse afectada por variaciones ambientales, interferencias eléctricas o degradación del hardware, lo que introduce un margen de error que debe considerarse en la interpretación de los datos.

Otra limitación relevante es la ausencia de un sistema de respaldo energético, lo que implica que ante cortes de energía el dispositivo se detiene por completo, perdiendo la capacidad de registrar eventos críticos o ejecutar acciones automatizadas. Además, el sistema depende de una interacción cercana mediante Bluetooth, que tiene un alcance limitado y restringe la gestión del dispositivo a pocos metros de distancia. Por último, el prototipo cuenta con una carcasa protectora débil que no garantiza resistencia a humedad, polvo o golpes, lo cual afecta su durabilidad en entornos domésticos reales. Estas limitaciones no desvirtúan el funcionamiento del sistema, pero señalan claramente los ámbitos donde se requiere fortalecer el diseño en versiones futuras.

Propuestas Futuras

Con el fin de ampliar el alcance, mejorar la estabilidad y potenciar el impacto del sistema, se plantean diversas líneas de crecimiento que permitirían evolucionar el prototipo hacia una solución más completa y escalable. Una primera propuesta consiste en la integración con plataformas IoT en la nube como Blynk, ThingSpeak o AWS IoT Core, lo que permitiría almacenar datos históricos, visualizar tendencias y habilitar control remoto desde cualquier ubicación sin depender exclusivamente del Bluetooth. De manera complementaria, la incorporación de paneles solares o baterías recargables aumentaría la autonomía energética del dispositivo, garantizando su funcionamiento aun en ausencia de suministro eléctrico.

También se propone el desarrollo de un sistema multiusuario, especialmente útil para huertos urbanos, conjuntos residenciales o instituciones educativas, permitiendo que varios cuidadores monitoreen distintas plantas desde una misma plataforma. Finalmente, se recomienda diseñar una carcasa hermética y estéticamente adecuada, que facilite la instalación del sistema y aumente su vida útil. Estas mejoras potenciales consolidarían el proyecto como una herramienta robusta, eficiente y adaptable a distintos contextos domésticos y comunitarios.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional del Espectro. (2020). Resolución 105 de 2020: Por medio de la cual se planea y atribuye el espectro radioeléctrico en Colombia [Acto administrativo].
https://normograma.mintic.gov.co/mintic/compilacion/docs/resolucion_ane_0105_2020.htm
- Congreso de la República de Colombia. (2011). *Ley 1480 de 2011 (12 de octubre), por medio de la cual se expide el Estatuto del Consumidor*. Diario Oficial, 48.220.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44306>
- Congreso de la República de Colombia. (2013, 19 de julio). *Ley 1672 de 2013, por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones* [Ley]. Gestor Normativo – Función Pública.
- Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1581 de 2012 (17 de octubre), por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales* [Ley estatutaria]. Gestor Normativo – Función Pública.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Correa-Quiroz, J. J., Toribio-Barrueto, M. A., & Castro-Vargas, C. (2025). IoT system with ESP32 for smart drip irrigation and climate monitoring in greenhouses. *Emerging Science Journal*, 9(3), 1133–1157. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-03-01>
- Daud, S., Abdul Rahman, R. b., & Hairul, M. (2025, January). *IoT-based smart agriculture monitoring system*. Paper presented at the National Conference in Education–Technical & Vocational Training 2024 (CiE-TVET 2024), Politeknik Tuanku Sultanah Bahiyah,

Kulim, Kedah, Malaysia. https://www.researchgate.net/publication/388173169_IoT-BASED_SMART_AGRICULTURE_MONITORING_SYSTEM

Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J., Torres-Romero, M., & López-Luque, R. (2019). *Proposal for the design of monitoring and operating irrigation networks based on IoT, cloud computing and free hardware technologies. Sensors, 19*(10), 2318. <https://doi.org/10.3390/s19102318>

Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). *Design and implementation of ESP32-based IoT devices. Sensors, 23*(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2020). *NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano (Segunda actualización)* [Norma técnica]. https://asieb.com/wp-content/uploads/2024/10/NTC_2050_codigo_electrico_nacional.pdf

International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC 62368-1:2023 — Audio/video, information and communication technology equipment—Part 1: Safety requirements* [Standard]. <https://webstore.iec.ch/en/publication/69308>

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 — Environmental management systems: Requirements with guidance for use* [Standard]. https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/801/NORMA%20ISO%2014001.2015.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, 5 de agosto). *Resolución 851 de 2022, por la cual se desarrollan disposiciones del Título 7A del Decreto 1076 de 2015 sobre la gestión de RAEE* [Resolución]. MinAmbiente. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/08/Resolucion-0851-de-2022.pdf?utm_source=chatgpt.com

Pereira, G. P., Chaari, M. Z., & Daroge, F. (2023). IoT-enabled smart drip irrigation system using ESP32. *IoT*, 4(3), 221–243. <https://doi.org/10.3390/iot4030012>

Presidencia de la República de Colombia. (1974, 18 de diciembre). *Decreto-Ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente* [Decreto-ley]. Gestor Normativo – Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Presidencia de la República de Colombia. (2013). *Decreto 1377 de 2013 (27 de junio), por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012* [Decreto]. Gestor Normativo – Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>

Presidencia de la República de Colombia. (2018, 15 de febrero). *Decreto 284 de 2018, por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con la gestión integral de los RAEE* [Decreto]. Gestor Normativo – Función Pública. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85199&utm_source=chatgpt.com

Seetaram, J., Bhavya, A., Tarun, C., & Sameera, V. (2024). *Internet of Things (IoT) based greenhouse monitoring and controlling system using ESP-32*. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 13(6), 29–35. <https://doi.org/10.17148/IJARCCE.2024.13605>

Apéndices

Apéndice A

Enlace del Diseño

A continuación, se presenta el enlace al repositorio de Google Drive, donde se encuentra el diseño del sistema para su consulta y revisión:

<https://drive.google.com/file/d/1EmZqVtyFY25KdeHGAawGaeC8Po4RxTKV/view?usp=sharing>

Figura 32

Diseño del Prototipo en Draw.io



Nota. Autoría propia. Vista previa de edición del diseño creado en Draw.io

Apéndice B

Enlace del Prototipo Simulado

Se presenta a continuación el enlace al prototipo simulado en Tinkercad, donde se puede observar el montaje virtual y la funcionalidad del sistema:

<https://www.tinkercad.com/things/bfrJ5kJRrZf-proyecto-disenado?sharecode=L04QaRfe-NxJm9f6YOkDIhfmbrNmnJEC5bxwx3xBIDk>

Figura 33

Vista Previa del Prototipo Simulado



Nota Autoría propia. Vista previa del prototipo simulado desde TinkerCad.

Apéndice C

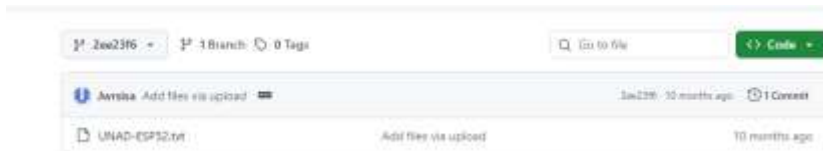
Enlace del Código GITHUB

Se suministra a continuación el enlace al repositorio de GitHub, donde se encuentra disponible el código fuente del sistema para consulta y descarga

<https://github.com/Jwrsisa/Proyecto-Grupo-33.git>

Figura 34

Código Público en GitHub



Nota. Autoría propia. Vista previa del archivo que contiene el código del proyecto en GitHub.

Apéndice D

Enlace del Artículo IEEE

A continuación, se proporciona el enlace al artículo IEEE, alojado en Google Docs, disponible para su consulta y referencia

<https://docs.google.com/document/d/18u2apn6hFESndx->

[pYCNEmHemNCcROOoi/edit?usp=sharing&ouid=116992791524692583480&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/document/d/18u2apn6hFESndx-pYCNEmHemNCcROOoi/edit?usp=sharing&ouid=116992791524692583480&rtpof=true&sd=true)

Figura 35

Artículo IEEE



Nota. Autoría propia. Vista previa del artículo IEEE del proyecto.

Apéndice E

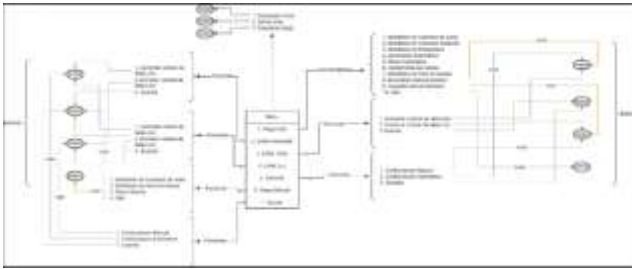
Manual de Uso para Interacción Física

A continuación, se proporciona el enlace del manual de uso relacionado con interacción física del prototipo, alojado en Google Drive, disponible para su consulta y referencia.

<https://drive.google.com/file/d/1muIp9hU0Owyk9c4km8fteSf1C9Uan7h9/view?usp=sharing>

Figura 36

Manual de Uso



Nota. Autoría propia. Vista previa del manual de uso físico del prototipo.