



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“SISTEMA TELEMÁTICO PARA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE
VARIABLES DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO PARA CULTIVO
DE FRESAS”

AUTOR: JORGE DARIO FUELTALA CUASPUD

DIRECTOR: CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI

IBARRA-ECUADOR
FEBRERO 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DEL AUTOR | | | |
|-------------------------|--|----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD | 1003779319 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES | Jorge Dario Fualta Cuaspud | | |
| DIRECCIÓN | Otavalo - Punyaro | | |
| EMAIL | jdfualtalac@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO | (62)520137 | TELÉFONO MÓVIL | 0991410373 |
| DATOS DE LA OBRA | | | |
| TÍTULO | “Sistema Telemático para Medición y Análisis de Variables de un Sistema Hidropónico para Cultivo de Fresas ” | | |
| FECHA | 10 de Febrero del 2022 | | |
| PROGRAMA | PREGRADO | | |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA | Ingeniero en Mecatrónica | | |
| DIRECTOR | PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi | | |



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de febrero de 2022



Jorge Dario Fuéltala Cuaspud
C.I. 1003779319



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CERTIFICADO

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de grado “SISTEMA TELEMÁTICO PARA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE DE VARIABLES DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO PARA CULTIVO DE FRESAS”, presentado por el egresado JORGE DARIO FUELTALA CUASPUD, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica.

Ibarra, 10 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS XAVIER
ROSERO CHANDI**

Carlos Xavier Rosero Chandi
DIRECTOR DE TESIS

Agradecimiento

A mis hermanas Yazmin Fuiltala, Daniela Fuiltala y mis padres Jorge Fuiltala y Monica Cuaspud quienes siempre me apoyaron en el trascurso de toda la carrera.

A mis docentes por brindarme sus conocimientos y experiencias que me servirán para guiarme en mi vida personal y profesional.

Jorge Dario Fuiltala Cuaspud

Dedicatoria

A mi padre Jorge Fweltala y a mi madre Monica Cuaspud por ser los pilares fundamentales para formar mi carrera universitaria, por guiarme y ser mi ejemplo a seguir.

A toda mi familia y amigos que siempre estuvieron pendientes.

Jorge Dario Fweltala Cuaspud

Resumen

Actualmente el desarrollo tecnológico ha facilitado el manejo de la información a gran escala mediante dispositivos de monitoreo, cambiando por completo la actividad de cultivo artesanal a cultivo inteligente. Con la llegada del internet de las cosas (IoT) es posible desarrollar sistemas para mejorar el proceso de cultivo, haciendo uso de componentes electrónicos como sensores y tarjetas programables. El siguiente trabajo establece la implementación de una arquitectura SCADA conformada por tres partes:

Primero, se utiliza el microcontrolador ESP32, así como también sensores de pH, CE, temperatura y humedad del suelo para adquirir las magnitudes del sistema hidropónico. La programación se realiza en el software Arduino. Cada uno de los componentes del sistema eléctrico-electrónico se seleccionan mediante criterios ponderados.

Segundo, se utiliza a Firebase como base de datos en tiempo real. Esta se encarga de sincronizar la comunicación, almacena y envía la información cada vez que un cliente lo solicite.

Tercero, se desarrolla una aplicación móvil en el software Android Studio. La información adquirida por los sensores se muestra en la pantalla de un smartphone, así el usuario puede tomar decisiones de cultivo en base a las magnitudes proporcionadas.

Como resultado del proyecto se obtiene una aplicación móvil capaz de satisfacer las necesidades del usuario. Brinda una guía informativa sobre el cultivo de fresas, monitorea las variables de temperatura, humedad del sustrato, pH y CE, posee un sistema de alarmas que se activan cada vez que las variables se encuentran fuera del rango tolerable, lee los registros en la base de datos. Las variables como temperatura y humedad del sustrato pueden ser controladas mediante

actuadores de forma manual o automática.

El tiempo de respuesta en el intercambio de información de las tres partes que conforman al sistema telemático depende de factores como procesamiento de datos e intensidad de red.

Para todos los casos se utilizó hardware y software libre de tal manera que el proyecto sea legítimo en el campo académico. Por otro lado, a causas de la pandemia se optó por seleccionar componentes de bajo costo y accesibles en el medio local. Finalmente las pruebas de funcionamiento se desarrollan en un prototipo de invernadero hidropónico para verificar los objetivos planteados.

Índice general

| | |
|---|----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Problema | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.2.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.3. Alcance | 3 |
| 1.4. Justificación | 3 |
| 2. Revisión Literaria | 5 |
| 2.1. Estado del arte | 5 |
| 2.1.1. Green House | 5 |
| 2.1.2. Hidroponic | 6 |
| 2.1.3. Tekax | 7 |
| 2.1.4. aHydro | 9 |
| 2.2. Monitoreo de cultivos hidropónicos | 10 |
| 2.3. Factores que influyen en el cultivo tradicional de fresa | 10 |
| 2.4. Parámetros para el cultivo de fresa hidropónica | 12 |
| 2.4.1. Sistema hidropónico por goteo | 12 |
| 2.4.2. Nutrientes, Ph y Conductividad eléctrica | 13 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.4.3. | Sustrato | 13 |
| 2.4.4. | Rangos óptimas para el cultivo de Fresa | 14 |
| 2.5. | Estructura del sistema SCADA | 15 |
| 2.5.1. | Back-end | 15 |
| 2.5.2. | Rest | 15 |
| 2.5.3. | Sistema de gestión de bases de datos | 16 |
| 2.5.4. | Firestore | 16 |
| 2.5.4.1. | Autenticación | 17 |
| 2.5.5. | Plataformas para desarrollo de aplicaciones | 17 |
| 2.5.6. | Tipos de aplicación | 18 |
| 2.5.7. | Android Studio | 19 |
| 2.6. | Propuesta | 20 |
| 3. | Metodología | 21 |
| 3.1. | Descripción del sistema | 21 |
| 3.2. | Gestor de datos (Componente 1) | 23 |
| 3.2.1. | Pasos para crear un nuevo proyecto | 23 |
| 3.3. | Aplicación móvil (Componente 2) | 23 |
| 3.3.1. | Configuraciones IDE Android Studio | 23 |
| 3.3.2. | Boceto de la aplicación móvil | 24 |
| 3.3.3. | Módulo de usuario | 25 |
| 3.3.4. | Fragment | 25 |
| 3.3.5. | MPAndroidChart:v3.0.3 | 26 |
| 3.3.6. | Lottie Animations | 26 |
| 3.3.7. | Diagrama de funcionamiento de la aplicación móvil | 27 |
| 3.4. | Circuito eléctrico (Componente 3) | 27 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.4.1. | Tarjeta de programación | 28 |
| 3.4.1.1. | ESP32 Kit | 30 |
| 3.4.1.2. | Configuraciones de ESP32 | 30 |
| 3.4.2. | Sensores | 32 |
| 3.4.3. | Selección del sensor de humedad | 33 |
| 3.4.3.1. | YL-69 | 33 |
| 3.4.4. | Selección del sensor de temperatura | 34 |
| 3.4.4.1. | DHT22 | 35 |
| 3.4.5. | Selección del sensor de pH | 36 |
| 3.4.5.1. | PH-4502C | 37 |
| 3.4.6. | Selección del sensor de conductividad eléctrica | 37 |
| 3.4.6.1. | CE Gravity V2 | 38 |
| 3.4.7. | Módulos | 39 |
| 3.4.7.1. | ADS1115 | 39 |
| 3.4.7.2. | DS3231 | 40 |
| 3.4.7.3. | Relevador | 40 |
| 3.5. | Conexiones | 41 |
| 3.5.1. | Sensor de humedad, ADS1115 y ESP32 | 41 |
| 3.5.2. | Sensor de temperatura y ESP32 | 42 |
| 3.5.3. | Conexiones del sensor DTH22 | 42 |
| 3.5.3.1. | Calibración del sensor de pH | 43 |
| 3.5.4. | Sensor de conductividad eléctrica, ADS1115 y ESP32 | 45 |
| 3.5.4.1. | Calibración del sensor de conductividad | 45 |
| 3.5.5. | Diagrama de funcionamiento circuito eléctrico | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Implementación y pruebas | 48 |
| 4.1. Sistema telemático | 48 |
| 4.1.1. Instalación del circuito eléctrico | 48 |
| 4.1.2. Base de datos | 52 |
| 4.2. +Berry - aplicación móvil para monitoreo | 57 |
| 4.2.0.1. +Berry - pantallas de navegación | 59 |
| 4.2.0.2. +Berry - Mensajes informativos | 63 |
| 4.2.0.3. +Berry - Registro de actividad | 64 |
| 4.2.0.4. +Berry - Alertas y actuadores | 65 |
| 4.3. Pruebas de funcionamiento | 66 |
| 4.3.1. Etapa de floración | 67 |
| 4.3.1.1. Monitoreo de la variable Humedad | 67 |
| 4.3.1.2. Monitoreo de la variable pH | 68 |
| 4.3.1.3. Monitoreo de la variable Temperatura | 69 |
| 4.3.1.4. Monitoreo de la variable Conductividad eléctrica | 71 |
| 4.4. Resultados del cultivo de fresa hidropónica | 73 |
| 5. Conclusiones y Trabajo Futuro | 74 |
| 5.1. Conclusiones | 74 |
| 5.2. Trabajo futuro | 75 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 2.1. Proyecto Green House [24]. | 6 |
| 2.2. Proyecto Hidroponic [25]. | 7 |
| 2.3. Proyecto Tekax, a) Aplicación móvil, b) Circuito eléctrico [26]. | 8 |
| 2.4. Proyecto aHydro [27]. | 9 |
| 3.1. Diagrama general del sistema | 22 |
| 3.2. Boceto de aplicación móvil | 24 |
| 3.3. LineChart [34] | 26 |
| 3.4. Diagrama de funcionamiento de aplicación móvil | 27 |
| 3.5. Pines de ESP32 Wifi Kit [40] | 30 |
| 3.6. Sensor de humedad YL-69 [35]. | 34 |
| 3.7. Sensor DHT22 [36]. | 35 |
| 3.8. Sensor PH-4502C [37]. | 37 |
| 3.9. Sensor Gravity conductivity [38]. | 38 |
| 3.10. Módulo ADS1115 [42] | 39 |
| 3.11. Módulo DS3231 [44]. | 40 |
| 3.12. Módulo relevador [45] | 41 |
| 3.13. Conexiones del sensor de humedad. | 41 |
| 3.14. Conexiones del sensor DTH22. | 42 |

| | |
|--|----|
| 3.15. Conexiones del sensor de ph. | 42 |
| 3.16. Calibración del sensor de pH. a) Ph 4.01, b) Ph 6.86, c) Ph 9.18. | 43 |
| 3.17. Muestras datos del sensor. a) Lectura del sensor ph 4.01, b) Lectura del sensor ph 6.86, c) Lectura del sensor ph 9.18. | 44 |
| 3.18. Conexiones del sensor de conductividad. | 45 |
| 3.19. Calibración del sensor de conductividad. a) Ce 12.88mS cm, b) Monitor serial. | 46 |
| 3.20. Diagrama de funcionamiento del sistema eléctrico | 47 |
| 4.1. Circuito eléctrico. a) Diagrama general de conexiones, b) Implementación físi- ca. | 49 |
| 4.2. Sistema hidropónico por goteo. a) Estructura, b) Sustrato. | 49 |
| 4.3. Instalación del sensor de temperatura | 50 |
| 4.4. Instalación del sensor de pH y Conductividad eléctrica | 50 |
| 4.5. Instalación del sensor de humedad del sustrato | 51 |
| 4.6. Implementación de circuito eléctrico en el invernadero. a) Perspectiva 1, b) Pers- pectiva 2. | 51 |
| 4.7. Árbol de directorio: estructura global en Firebase | 52 |
| 4.8. Árbol de directorio: Datos del usuario y registros | 53 |
| 4.9. Árbol de directorio: alertas del sistema | 54 |
| 4.10. Árbol de directorio: Numero de registro, actuadores, fecha y sensores | 55 |
| 4.11. Árbol de directorio: Envío de datos y magnitudes. | 56 |
| 4.12. Árbol de directorio: Sistema de control. | 56 |
| 4.13. Inicio de sesión o crear cuenta. Ejecutando app, b) Log in, c) Sing in. | 57 |
| 4.14. Autenticación de datos en Firebase | 58 |
| 4.15. Ventana de recuperación de contraseña | 58 |
| 4.16. Ventana WEB para cambio de contraseña | 59 |

| | |
|---|----|
| 4.17. Pantalla de monitoreo de variables | 59 |
| 4.18. Guía de cultivo | 60 |
| 4.19. Pantalla de monitoreo de variables | 61 |
| 4.20. Pantallas de monitorización de variables. a) Pantalla de Humedad , b) Pantalla de pH, c) Pantalla de CE, d) Pantalla de temperatura. | 62 |
| 4.21. Mensajes informativos para temperatura y humedad en el sustrato. a) Alerta temperatura max, b) Alerta temperatura min, c) Alerta humedad min, d) Alerta de humedad max. | 63 |
| 4.22. Mensajes informativos para pH y conductividad eléctrica. a) pH min, b) pH max, c) CE min, d) CE max. | 64 |
| 4.23. Registro de actividad del cultivo implementado. a) Registro pH, b) Registro Temperatura, c) Registro Conductividad eléctrica, d) Registro Humedad. | 65 |
| 4.24. Pantalla de alertas y actuadores. a) Pantalla de alertas, b) Pantalla de actuadores. | 66 |
| 4.25. Plantas de fresa en estado de floración | 67 |
| 4.26. Gráfica de mediciones de humedad en la aplicación móvil | 68 |
| 4.27. Gráfica de mediciones de Ph en la aplicación móvil | 69 |
| 4.28. Gráfica de mediciones de Tempertura en la aplicación móvil | 71 |
| 4.29. Gráfica de mediciones de Conductividad eléctrica en la aplicación móvil | 72 |
| 4.30. Fresa en desarrollo | 73 |
| 4.31. Plantas de fresa con aquenios y fruto | 73 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| 2.1. Resultados experimentales para selección de sustrato [23]. | 14 |
| 2.2. Matriz de rangos óptimos para cultivo de fresas [Fuente propia] | 15 |
| 2.3. Características de plataformas para desarrollo de aplicaciones móviles [26]. . . | 17 |
| 3.1. Matriz para selección del microcontrolador | 29 |
| 3.2. Criterios ponderados para selección de microcontrolador | 29 |
| 3.3. Matriz para selección de sensor de humedad | 33 |
| 3.4. Criterios ponderados para selección de sensor de humedad | 33 |
| 3.5. Matriz para selección de sensor de temperatura | 34 |
| 3.6. Criterios ponderados para selección de sensor de temperatura | 35 |
| 3.7. Matriz para selección de sensor de ph | 36 |
| 3.8. Criterios ponderados para selección de sensor de ph | 36 |
| 3.9. Matriz para selección de sensor de conductividad | 37 |
| 3.10. Criterios ponderados para selección de sensor de conductividad eléctrica | 38 |
| 3.11. Calculo del porcentaje de error con pH 6.86 | 44 |
| 4.1. Mediciones del sensor de humedad del sustrato en % | 67 |
| 4.2. Mediciones del sensor de pH | 68 |
| 4.3. Mediciones del sensor de Temperatura en °C | 70 |
| 4.4. Mediciones del sensor de Ce en mS/cm | 71 |

Capítulo 1

Introducción

1.1. Problema

Los sistemas hidropónicos son técnicas de cultivo sin intervención de suelo agrícola, su utilidad se ha incrementado debido a las propiedades organolépticas de alta calidad que se obtienen en el proceso de cosecha. En la provincia de Imbabura la agricultura es una de sus mayores fuentes de ingreso económico. En los últimos años se han implementado varios sistemas hidropónicos de producción industrializada para consumo humano y animal como tomate, acelgas, fresas, forraje verde. [1]

El cultivo de fresa ha demostrado un importante nivel progresivo en el Ecuador tanto así que la CORPEI Corporación de promoción de exportaciones e inversiones a orientado a productores nacionales a la exportación de este producto. La fresa es demandada por su exquisito y delicioso sabor además de que aporta con gran variedad de componentes nutricionales.

En la actualidad, los invernaderos en Imbabura no cuentan con sistemas de medición automáticos, por lo que la producción se realiza de forma tradicional [2], el agricultor encargado

debe permanecer el mayor tiempo posible cerca del sistema hidropónico y debe tener una alta experiencia sobre el manejo de variables como humedad, temperatura de ambiente, pH y conductividad eléctrica [3] como consecuencia al no considerar una de las variables se pueden presentar síntomas como estrés, necrosis o enanismo en las frutas[4] lo que provocaría pérdidas de producción.

Con el desarrollo de una aplicación móvil basada en el internet de las cosas “IoT” se podría realizar el proceso de medición automático de las variables de un sistema hidropónico con el fin de maximizar la eficiencia del sistema y minimizar costos de producción. Al automatizar procesos mediante herramientas digitales se puede mejorar la calidad del producto, la calidad de vida de los agricultores y sus ingresos económicos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil para monitoreo de variables de un sistema hidropónico con acceso a una base de datos utilizando el método de comunicación IoT.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir los rangos de valores de ph, conductividad eléctrica, temperatura y humedad óptimos para cultivo de fresas.
- Diseñar una aplicación móvil mediante el uso de herramientas computacionales con software libre.

- Establecer el proceso de comunicación remoto de datos entre los componentes del sistema telemático.
- Validar el método propuesto a través de pruebas de campo.

1.3. Alcance

En el proyecto se realizará la recopilación de datos mediante la implementación de un microcontrolador con 4 entradas analógicas disponibles para la conexión de sensores de humedad, temperatura de ambiente, pH y conductividad eléctrica. Esto permitirá obtener la información del sistema hidropónico los cuales serán almacenadas en una base de datos mediante conexión a internet. Por medio del desarrollo de una aplicación móvil se podrán monitorear y analizar las variables del sistema.

1.4. Justificación

Las fresas han sido muy apetecidas por las personas ya que brinda una alta cantidad de nutrientes y porque brindan versatilidad para la preparación de diferentes postres.[5] demanda de este producto exige altos estándares de calidad para ser comercializada.

La aceptación de esta fruta exótica ha llevado a la CORPEI (Corporación de promoción de exportación e inversiones) a productores nacionales para la exportación competitiva a diferentes países vecinos.[6] Esto permitirá aumentar la cantidad y calidad del producto en los siguientes años. Fomentando al progreso tecnológico en invernaderos.

Los sistemas hidropónicos son técnicas de agricultura de nueva generación que permiten obtener productos con propiedades organolépticas de alta calidad. Por ese motivo es necesario utilizar herramientas en base a tecnología como aplicaciones móviles para monitorear el proceso de producción de la fresa.

Esta herramienta puede ser utilizada en cualquier sistema hidropónico, minimizando los costos de producción, ahorrando recursos, mejorando la calidad del producto, mejorando la calidad de vida del agricultor y previniendo pérdidas de producción.

Capítulo 2

Revisión Literaria

En este capítulo se describen los sistemas de monitoreo para invernaderos hidropónicos basados en el Internet de las cosas IoT. Además se analiza los parámetros necesarios para el cultivo de fresas, los cuales serán indispensables en posteriores procesos.

2.1. Estado del arte

2.1.1. Green House

En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla se realizó la investigación referente al desarrollo de una aplicación móvil para el monitoreo y control de variables de un sistema hidropónico, en el cual se consideró medir magnitudes como temperatura de ambiente, humedad y aporte lumínico.

El objetivo del proyecto es implementar un prototipo de Invernadero conformado por una fuente de luz artificial, sistema de ventilación, sistema de dosificación, sistemas de riego, sistema de calefacción, sensorización y componentes electrónicos. Se utilizó un microcontrolador

arduino mega en conjunto con un modulo bluetooth para la comunicación de datos. La aplicación se desarrollo en el entorno de programación App Inventor [24], la misma que se muestra en la Figura 2.1.

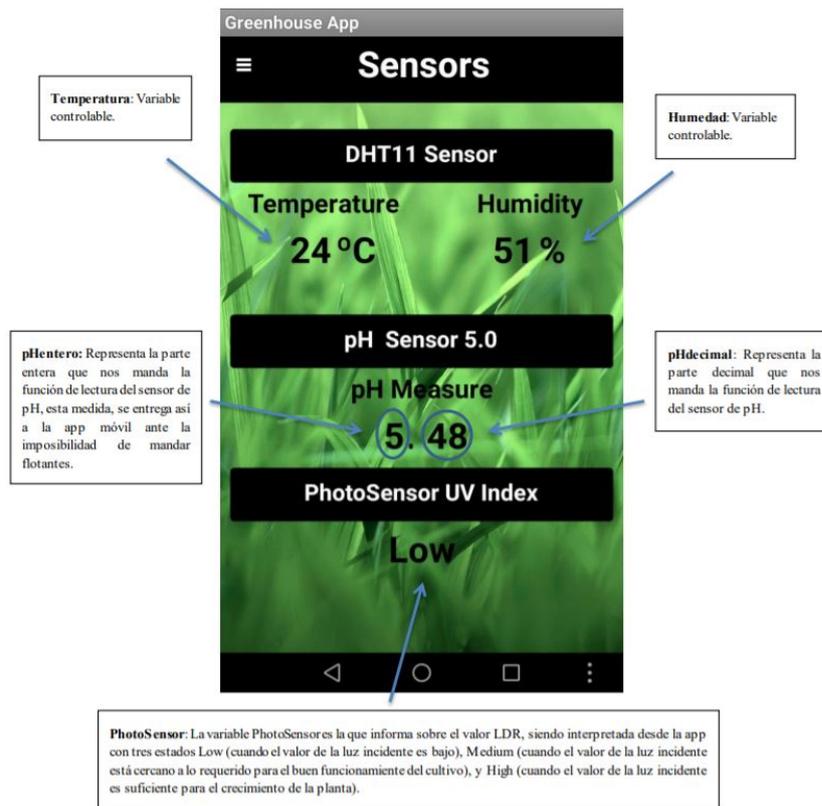


Figura 2.1: Proyecto Green House [24].

2.1.2. Hidroponic

El proyecto pretende implementar y desarrollar una interfaz gráfica de bajo costo para monitorear sistemas hidropónicos. La arquitectura del sistema se conforma de 3 componentes: Raspberri pi 3B+, Se encarga de la programación de las acciones del sistema, Firebase, almacena los datos tomados por los sensores y servidor WEB , se usa como interfaz gráfica . Ver Figura 2.6. Se realiza un estudio de aplicaciones mediante internet de las cosas basados en lenguajes

de programación como JavaScript y HTML [25].



Figura 2.2: Proyecto Hidroponic [25].

2.1.3. Tekax

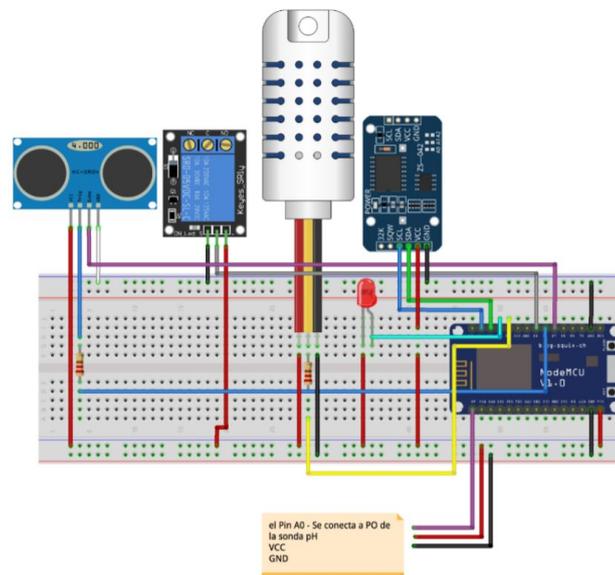
Tekax es un proyecto que incluye protocolos de comunicación basado en el Internet de las cosas IoT. El autor selecciona la tarjeta de programación ESP8266, debido a los requerimientos basados en comunicación inalámbrica para dicho proyecto. Ver Figura 2.3.

El proyecto se estructura de 4 partes. Primero, se implementa un sistema hidropónico de tipo NFT. Segundo, se diseña el sistema eléctrico-electrónico, para ello se realiza un proceso de selección de sensores y módulos. Tercero, Se adquiere información mediante los sensores y se escriben en Firebase. Cuarto se desarrolla una aplicación móvil para el monitoreo de las variables. En este proyecto se utilizó flutter como entorno de programación de la aplicación y Arduino para el microcontrolador. [26].

El desarrollo del proyecto se basó en programación de libre código. Las variables consideradas para este proyecto fueron: temperatura, humedad relativa, ph y nivel del depósito de agua.



(a)



(b)

Figura 2.3: Proyecto Tekax, a) Aplicación móvil, b) Circuito eléctrico [26].

2.1.4. aHydro

La investigación consiste de 3 partes: En la primera parte se desarrolla una aplicación móvil capaz de funcionar en varios dispositivos, para ello se utilizó la plataforma de desarrollo Angular, mediante el protocolo HTTP la aplicación interactúa con el módulo de cultivo para corregir acciones de control o medición.

La segunda parte consistió en desarrollo del sistema electrónico, para ello se utilizó un arduino mega el cual permitió obtener los datos de los sensores ubicados en el invernadero para posteriormente guardarlos en una memoria externa. Las variables consideradas para la medición fueron ph, conductividad eléctrica y temperatura ambiente.

La tercera parte consistió en elaborar un sistema hidropónico NFT para la implementación del proyecto.

Mediante la arquitectura REST que actúa sobre un protocolo HTTP, se comunica la aplicación con el microcontrolador a modo de cliente - servidor. El proyecto se basa en el tipo de comunicación interfaz de usuario UI- controladora la cual se conforma a su vez de un módulo principal y la aplicación web [27]. En la Figura 2.4 se muestra la arquitectura del sistema a modo de diagrama.

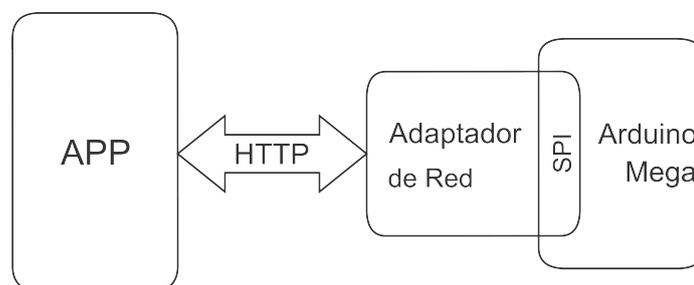


Figura 2.4: Proyecto aHydro [27].

2.2. Monitoreo de cultivos hidropónicos

La hidroponía es una práctica de cultivo sin intervención de suelo agrícola. Los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas son proporcionados mediante una solución nutritiva aplicados directamente en la raíz [18].

Mediante la implementación de dispositivos capaces de obtener información de forma rápida y eficiente se ha mejorado las practicas agrícolas. Una de las posibilidades implementadas en cultivos inteligentes es la monitorización mediante aplicaciones móviles.

Es notable que un dispositivo celular se ha convertido en una parte esencial para el ser humano, detonando un sin numero de tareas a realizar simultáneamente. Generalmente el desarrollo de aplicaciones móviles resultan ser menos costosas en comparación con un software de computador, lo que lo convierte en un producto accesible para un publico en general [11].

La producción masiva ha sido el motor de circulación económica no-petrolero más importante del país. Su participación en el crecimiento del PIB ha sido determinante con el pasar de los años. Es así que 300 hectáreas de terreno en Imbabura son destinadas para el cultivo, por lo que recurrir a nuevas técnicas mejorarán la calidad de los productos, tendrán mayor aceptación en el mercado nacional e internacional. [12].

2.3. Factores que influyen en el cultivo tradicional de fresa

La fresa es una planta híbrida que tiene la capacidad de crecer mediante estolones. En la investigación [12] se menciona que existen diversas variedades de fresa que se cultivan en la

provincia de Imbabura, sin embargo tres variedades son preferidas por los agricultores debido a las características organolépticas que presentan, entre ellas: Albión, Monterrey y San Andreas. La implementación de espacios protegidos representa una inversión alta en la etapa de instalación, sin embargo se compensa con la ausencia de problemas fitosanitarios.

- **Invernadero:** La característica principal es formar un ambiente con condiciones de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono óptimas para el desarrollo de las plantas [13].
- **Suelo:** Cumple dos funciones esenciales, la primera consiste en captar suficiente humedad para que la planta pueda nutrirse y la segunda es servir como anclaje para evitar que se caiga [13].
- **Humedad:** Las raíces absorben el agua y nutrientes del suelo, debido a que las plantas carecen de movimiento, utilizan moléculas que transportan la solución en toda su estructura. Mediante el proceso de la fotosíntesis eliminan partículas de agua por medio de estomas ubicadas en las hojas, ocasionando que la humedad del suelo disminuya cuyas consecuencias se ven reflejadas a modo de infecciones. [14]. La humedad debe mantenerse entre el 60% y 85% [15].
- **Temperatura:** Juega un rol importante en el crecimiento de la planta ya que afecta al proceso de fotosíntesis, transpiración y absorción de nutrientes. La temperatura interfiere en las actividades de metabolismo, crecimiento y desarrollo de las plantas. El rango de temperatura ideal para el cultivo de fresas puede variar entre los 8 a 15°C por la noche y

15 a 25°C en el día [16].

- **Temporada:** Se cultiva los meses de mayo, junio y julio por los altos índices de lluvias. En épocas de sequía la planta tarda en madurar. Cuando se cultiva tradicionalmente es una fruta dependiente del clima [16].
- **Tiempo de vida:** El ciclo de vida productivo de la fresa es de 2 años y una vez culminado la planta reduce el rendimiento y presenta frutos de baja calidad [16].
- **Siembra:** Se realiza mediante cobertores de polietileno negro de tal manera que la raíz pueda evitar el contacto de la luz ultravioleta. Los cobertores contienen la humedad y mantienen la temperatura del suelo [12].

2.4. Parámetros para el cultivo de fresa hidropónica

Para comprender el comportamiento e implementación de sistemas hidropónicos es necesario tomar en cuenta los factores que intervienen en el cultivo tradicional, así, tomando en cuenta la sección 2.3 se considera que el sistema hidropónico mas adecuado es por medio de goteo.

2.4.1. Sistema hidropónico por goteo

La solución nutritiva es aplicada mediante goteros directamente en la raíz. El sustrato debe poseer buenas propiedades de absorción de líquidos para mantener la humedad dentro de los

rangos óptimos durante un lapso de tiempo prolongado. Se considera un sistema eficiente ya que ahorra significativamente el consumo de agua. Sin embargo [17] establece que la solución nutritiva debe ser controlada para evitar el estrés hídrico en las plantas.

2.4.2. Nutrientes, Ph y Conductividad eléctrica

En la investigación [19] se analiza el suministro de macro y micro nutrientes que se deben usar en los sistemas hidropónicos, tomando en cuenta que las cantidades varían dependiendo del tipo de cultivo. La autora establece mediante análisis que el rango óptimo de Ph para el cultivo de fresas varía entre 5.5 a 6.5 y el rango óptimo de Conductividad eléctrica varía entre 1.0 a 1.5 mS/cm.

2.4.3. Sustrato

Según [23] seleccionar el tipo de sustrato para cultivo hidropónico de fresas es fundamental, ya que moderniza la actividad de cultivo. Mediante experimentación se combinó porcentajes de varios sustratos con la finalidad de obtener el mejor resultado posible:

- . G1C3: 25 % tezontle y 75 % fibra de coco
- . G2C2: 50 % tezontle y 50 fibra de coco
- . G3C1: 75 % tezontle y 25 % fibra de coco
- . G4C0: tezontle al 100 %

Tabla 2.1: Resultados experimentales para selección de sustrato [23].

| Material | Densidad Aparente | Cap de retención de agua | Porosidad Total |
|-----------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|
| | g mL ⁻¹ | % | Vol |
| G1C3 | 1.35 | 48.96 | 66.46 |
| G2C2 | 1.50 | 35.68 | 53.73 |
| G3C1 | 1.66 | 26.53 | 44.06 |
| G4C0 | 2.93 | 12.91 | 37.91 |

Como resultado de la experimentación se determinó que la mejor opción para el cultivo de fresa de tipo Oso, Chandler y Monterrey fue G3C1 75 % tezontle y 25 % fibra de coco, en los otros casos estadísticamente no demostraron diferencia alguna.

En base a la disponibilidad y el precio accesible se seleccionó la alternativa G1C3 que consiste en 25 % tezontle y 75 % fibra de coco para la implementación en el proyecto.

2.4.4. Rangos óptimas para el cultivo de Fresa

Los valores de variables para el cultivo de fresa se delimitan del análisis previamente realizado en las anteriores subsecciones. En la tabla 2.2 se muestra los rangos óptimos para el cultivo de fresa.

Tabla 2.2: Matriz de rangos óptimos para cultivo de fresas [Fuente propia]

| Variables | Rangos |
|-----------------------------|---------------|
| Humedad del sustrato | 60 - 85 % |
| Temperatura Diurna | 15 a 25 °C |
| Temperatura Nocturna | 8 a 15 °C |
| Ph | 5.5 a 6.5 |
| Ce | 1.0 a 1.5 Sm |

2.5. Estructura del sistema SCADA

2.5.1. Back-end

Es la programación interna de un servidor, por lo que no esta visible a los ojos del usuario. Su arquitectura está conformada por el servidor, la aplicación y la base de datos. Es muy importante cuando un cliente realiza una petición, ya que se encarga de realizar toda el procedimiento lógico con el fin de devolver adecuadamente la información solicitada. [26]

2.5.2. Rest

Es la transferencia de estado representacional, se trata del estándar más eficiente y lógico para la creación de servicios web. Se define como una interfaz que utiliza el protocolo de comunicación HTTP, con datos encapsulados en formato JSON y XML [46] . En la actualidad, se utiliza este protocolo en la mayor parte de aplicaciones ya que resulta sencillo de implementar.

2.5.3. Sistema de gestión de bases de datos

El STGD permite el almacenamiento, manipulación, consulta y modificación de datos interrelacionados [29]. Es el mecanismo para la eficiencia y buen funcionamiento de una aplicación [30]. Los datos a manejar deben mantener relación, estructura definida y organización.

Existen diversos tipos de bases de datos sin embargo 2 de ellas son las más utilizadas:

- 1.- Bases de datos relacionales: Emplean el lenguaje principal de consultas SQL, estructura los datos en forma de tablas con columnas y filas, en la que integra un conjunto de valores predefinidos entre ellos. Las columnas guardan un tipo de dato y las filas representan una recopilación de valores relacionados, donde cada una de ellas tiene un identificador único. [26].
- 2.- Bases de datos no relacionales: Usan el modelo de almacenamiento como documento JSON o árbol JSON ya que estructura la información por campos escalares o colección de elementos primarios y secundarios [26].

2.5.4. Firebase

Fue creada por la empresa Google. Es muy útil para el desarrollo de aplicaciones móviles como iOS, Android y web. Firebase proporciona una base de datos noSQL en tiempo real. [32].

Características:

- Minimiza el tiempo de desarrollo de aplicaciones móviles.
- Brinda la función Analytics que permite controlar el rendimiento de las aplicaciones a través de métricas y análisis estadístico.

- Permite monetizar a las aplicaciones móviles.
- Integra API intuitiva sostenida en un solo SDK.
- Puede gestionar diferentes aplicaciones realizadas en diferentes lenguajes de programación.

2.5.4.1. Autenticación

La autenticación guarda los datos del usuario de forma segura. Firebase Authentication proporciona servicios de backend, SDK fáciles de usar[132]. Este proceso se puede desarrollar mediante un correo electrónico, contraseña, número de teléfono o identidades como Facebook y Twiter [32]. Dichos datos se utilizarán para iniciar sesión en la aplicación móvil de tal manera que solo aquellos usuarios registrados tengan acceso a la información de la base de datos.

2.5.5. Plataformas para desarrollo de aplicaciones

Para el desarrollo de la aplicación móvil se pueden encontrar una variedad muy extensa de plataformas de programación. Mediante un estudio [26] se concluye que las plataformas de desarrollo mas usadas actualmente son Android studio, iOS y Windows Phone.

Tabla 2.3: Características de plataformas para desarrollo de aplicaciones móviles [26].

| Características | Apple iOS | Android | Windoes phone |
|---------------------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| Compatibilidad con dispositivos | alto | alto | medio |
| Tienda de apps | App store | Play store | Market pkace |
| Lenguaje de programación | Objective - C | Java C ++ | C #, C ++ |
| Multiusuario | no | si | si |
| Plataforma de desarrollo | Mac | Windows, Linux, Mac | Windows |
| Coste a publicar | \$99 por año | \$25 una vez | \$99 por año |

2.5.6. Tipos de aplicación

En la investigación [41] establece que existen 3 tipos de aplicaciones orientadas a dispositivos móviles, las cuales se presentan a continuación:

- 1.- Aplicaciones nativas: Se trata de aplicaciones desarrolladas para fines específicos, normalmente son funcionales en un solo sistema operativo haciendo uso de un Software Development Kit (SDK), por consiguiente el rendimiento es muy alto y el consumo de recursos muy bajo.
- 2.- Aplicaciones Híbridas: Se trata de aplicaciones basadas en funcionalidades nativas, con la diferencia que el código puede ser ejecutado en diferentes dispositivos. Dependiendo de las tecnologías implementadas para su ejecución pueden limitar o aumentar el rendimiento de la aplicación, nativo o web frame.
- 2.- Aplicaciones Web: Son plataformas que se encuentran en los navegadores web. Es muy eficiente y ejecutable en múltiples dispositivos. El rendimiento y la capacidad de procesar información es muy alta, sin embargo no siempre se puede hacer uso de todas las funcionalidades. La seguridad es un factor importante para analizar ya la información está expuesta a robo cibernético, eso dependiendo del tipo de plataforma a utilizar.

Se debe considerar 4 aspectos [31] para el desarrollo de aplicaciones móviles :

- 1.- Prerrequisitos: Generalmente para el desarrollo de aplicaciones móviles se necesita un entorno de desarrollo integrado IDE, que provee un marco de trabajo amigable para la mayor parte de lenguajes de programación, poseen emuladores para la simulación del producto a desarrollar, en algunos casos se considera la adaptación a multiplataforma.

- 2.- Implementación: La mayoría de veces el emulador que viene por defecto en el IDE no aprovecha al máximo los componentes y en algunos casos no se puede realizar todas las operaciones programadas, para ello es indispensable usar un teléfono físico como emulador.
- 3.- A través de herramientas propias de la plataforma se realiza pruebas de funcionamiento y se instala la aplicación en un dispositivo real para verificar el rendimiento.
- 4.- Firma y distribución: Es el procedimiento legal que se debe seguir para poner en funcionamiento la aplicación móvil. Así se puede definir el canal de distribución dirigido hacia el usuario.

2.5.7. Android Studio

Es un entorno de desarrollo integrado IDE, para el desarrollo de aplicaciones móviles. La plataforma posibilita programar sistemas operativos muy comunes en el mercado y al alcance del usuario. La plataforma ofrece varias características [33], entre ellas:

- Compilación flexible basado en Gradle.
- Ofrece macros de trabajo
- Es compatible con lenguajes de programación C o C++ mediante la herramienta android NDK.
- Carga rápida de funciones.
- Permite cambios en el código sin necesidad de reiniciar la aplicación.
- Es adaptable a la mayoría de dispositivos en el mercado.

2.6. Propuesta

Con base al análisis realizado se plantea como solución, desarrollar una aplicación móvil para monitoreo de temperatura ambiente, humedad en el sustrato, ph y conductividad eléctrica de un sistema hidropónico por goteo para cultivo de fresas. Para llevar a cabo, el trabajo se dividirá en 3 partes, primero se seleccionará la base de datos en la que se gestionara las variables a modo que resulte fácil de utilizar, segundo se desarrollará una aplicación móvil nativa y tercero se tomará los datos del sistema hidropónico a través de sensores los cuales estarán conectados a un microcontrolador, para ello se realizara un análisis de características afines al proyecto.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se desarrolla el diseño del sistema telemático y la selección de cada uno de los componentes tanto para hardware como software de tal manera que satisfaga la propuesta planteada en el capítulo 2.

3.1. Descripción del sistema

Este sistema se diseña con el propósito de monitorear la temperatura del ambiente, la humedad en el sustrato, el ph y la conductividad eléctrica de un sistema hidropónico para cultivo de fresas con ayuda de un dispositivo móvil utilizando protocolos de comunicación basado en el internet de las cosas. Mediante un microcontrolador se tomarán las magnitudes de los sensores para posteriormente almacenarlos en una base de datos.

Por lo tanto, para llevar a cabo el proyecto se dividirá al sistema en tres componentes, Ver Figura 3.1.

- 1.- Gestor de datos

- 2.- Desarrollo de una aplicación móvil
- 3.- Circuito eléctrico para adquisición de datos.

Requerimientos para el desarrollo del proyecto

- La información de la base de datos se clasificará por segmentos debido a la cantidad de variables que demanda el proyecto.
- La aplicación móvil tendrá acceso a la base de datos para mostrar la información al usuario.
- Las magnitudes de las variables se medirán a través de los sensores.
- El microcontrolador enviará las mediciones adquiridas a una base de datos con hora y fecha mediante conexión a internet.
- Se seleccionará software de libre código para la programación en todos los casos.

Diagrama de bloques del sistema

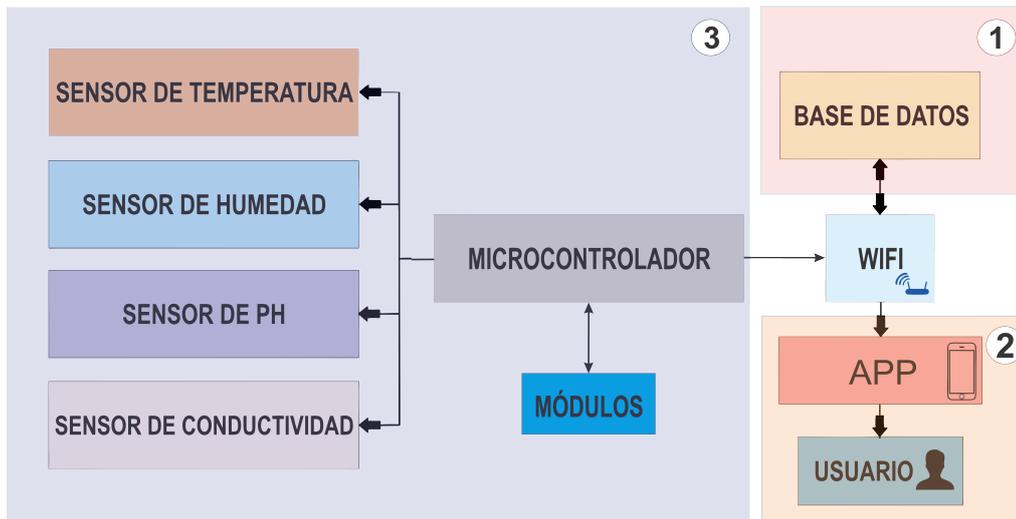


Figura 3.1: Diagrama general del sistema

3.2. Gestor de datos (Componente 1)

3.2.1. Pasos para crear un nuevo proyecto

Para iniciar el proceso de comunicación es necesario mantener activo una cuenta en Firebase, para ello se realizarán los siguientes pasos:

- 1.- Ingresar a la plataforma Firebase.
- 2.- Agregar un proyecto.
- 3.- Ingresar el nombre del proyecto.
- 4.- Habilitar google analytics.
- 4.- Configurar google analytics.
- 5.- Seleccionar una región y aceptar condiciones.
- 6.- Crear proyecto.

3.3. Aplicación móvil (Componente 2)

3.3.1. Configuraciones IDE Android Studio

Mediante SDK se podrá integrar el proceso de comunicación entre android studio y Firebase. Para ellos será necesario seguir los siguientes pasos:

- 1.- Ir a la base de datos.
- 2.- Seleccionar la plataforma de programación en este caso Android Studio.
- 3.- Registrar la aplicación.

4.- Descargar google-services.json

5.- Ir a build.gradle en la plataforma android studio.

6.- Añadir en build.gradle del fichero.

```
apply plugin: 'com.android.application' apply plugin: 'com.google.gms.google-services'
```

7.- Añadir la dependencia.

```
implementation 'com.google.firebase:firebase-analytics:17.2.2'
```

8.- Ejecutar y verificar la instalación.

9.- Ir a la consola.

3.3.2. Boceto de la aplicación móvil

Antes de iniciar el proyecto, se elaboró un bosquejo de la aplicación móvil que servirá como guía durante la etapa de desarrollo, Figura 3.2.

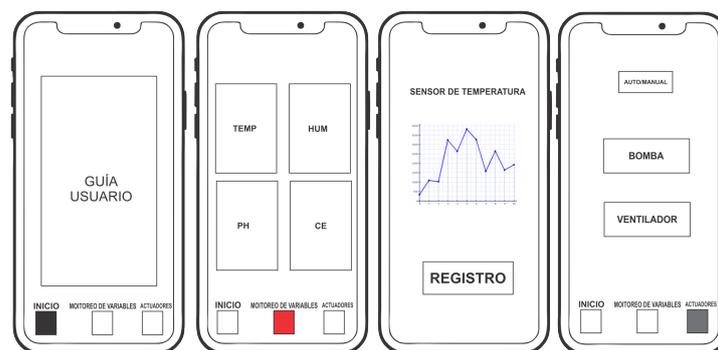


Figura 3.2: Boceto de aplicación móvil

Para iniciar el proceso de comunicación de la aplicación móvil con Firebase será necesario obtener el path que direcciona al lugar en el que se almacena la información, para ello se utilizará el comando ".getReference", tal como se muestra a continuación:

```
database=FirebaseDatabase.getInstance() reference=database.getReference("SISTEMAS_
HIDROPONICOS")
```

Mediante el comando ".child" se podrá navegar entre los directorios de la base de datos para obtener o enviar información, tal como se muestra a continuación:

```
referenceRegistro = databaseregistro.getReference("SISTEMAS_
HIDROPONICOS").child("JiGh_
31GA20JabpZBfa").child(REGISTROS").child(R").child("SENSORES").child(sensor)
```

La referencia lee la información de la carpeta SENSORES en la base de datos para posteriormente graficarlos en la aplicación móvil.

3.3.3. Módulo de usuario

Describe las características y funcionalidades que tendrá la aplicación móvil, con la finalidad de que resulte fácil e intuitiva al usuario. Una de las características más importantes en la aplicación móvil es obtener los datos almacenados en Firebase, los cuales a su vez se graficarán en la pantalla del smartphone, para ello será necesario implementar librerías que faciliten el trabajo.

3.3.4. Fragment

Es una sección modular que forma parte de una interfaz de usuario y que permanece alojado en una actividad. En éste proyecto se utilizará para la navegación entre pantallas.

3.3.5. MPAndroidChart:v3.0.3

Es una librería creada por Philipp Jahoda. La implementación de esta es esencial para el desarrollo de la aplicación móvil ya que es una herramienta poderosa para graficar. Su uso es de libre acceso por lo que se puede encontrar en la plataforma Github [28]. Una de las características más importantes es que incluye una gran variedad de gráficos para utilizar y personalizar.

Otras bibliotecas como GraphView y AndroidPlot se utilizan para el proceso de graficación de datos, sin embargo luego de varias investigaciones desarrolladores de Overflow determinaron que MPAndroidChart es la mejor opción, ya que sus funciones son fáciles de implementar y se encuentran en constante mejora [34].

El tipo de gráfica utilizada en este proyecto es LineChart para relleno degradado, integra funciones de acercamiento y traslación lateral mediante brindando una mayor versatilidad, Figura 3.3.

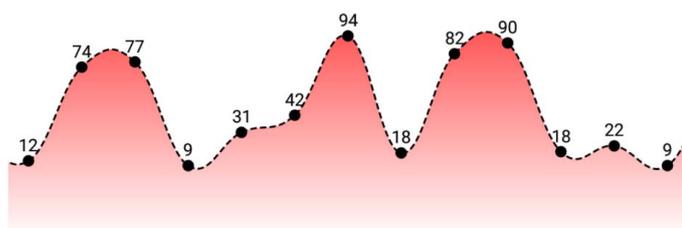


Figura 3.3: LineChart [34]

3.3.6. Lottie Animations

Es una biblioteca compatible con Android Studio y iOS, se encarga de generar animaciones y efectos de sonido en tiempo real para mejorar los detalles de una aplicación móvil. Es de libre

acceso por lo que se puede descargar desde la plataforma Github [39].

3.3.7. Diagrama de funcionamiento de la aplicación móvil

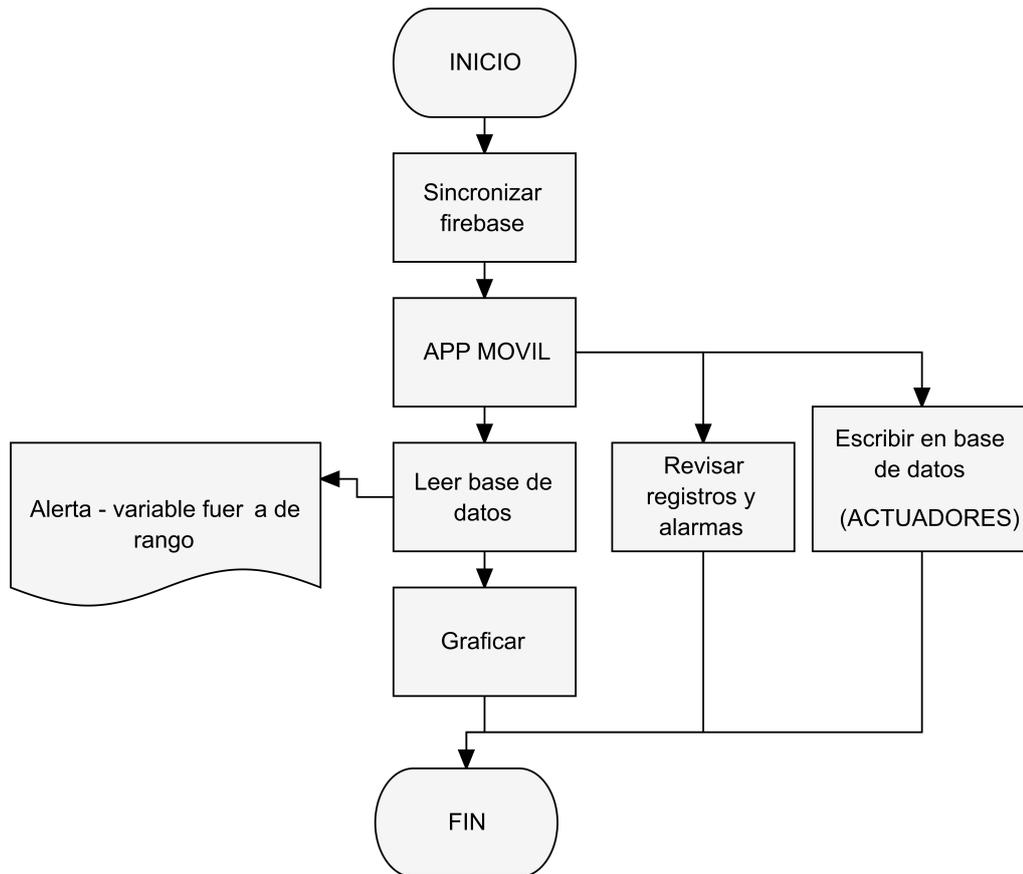


Figura 3.4: Diagrama de funcionamiento de aplicación móvil

3.4. Circuito eléctrico (Componente 3)

Los módulos y sensores se seleccionarán mediante criterios ponderados, para ello se asignarán las siguientes puntuaciones.

- 10 es el valor más alto, por lo que se considera que cumple con el requisito.

- 5 cumple regularmente el requisito.
- 0 es el valor mínimo, por lo que se considera que no cumple con el requisito.

Cabe recalcar que este procedimiento se realizará para todos los casos.

3.4.1. Tarjeta de programación

Actualmente existe una gran diversidad de microcontroladores destinados a diferentes campos de aplicación por lo que es necesario tomar en cuenta los requerimientos mencionados en la subsección 3.1 para una selección correspondiente. A continuación se presentan los requerimientos para el desarrollo del proyecto:

- Tener conexión a internet.
- Ser compatible con los sensores.
- Utilizar el protocolo de comunicación I²C para la conexión de módulos externos.
- Ser versátil, óptimo y de espacio reducido.
- Disponer de entradas analógicas.
- Disponer de salidas digitales para la conexión de módulos.

En la tabla 3.1 se comparan las características de 3 tarjetas de programación que pueden ser implementadas para el desarrollo del proyecto .

Tabla 3.1: Matriz para selección del microcontrolador

| Dispositivo | ESP8266 | ESP32 | Raspberry pi pico |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Alimentación | 3.3 V | 3.3 | 3.3 V |
| Sistema Operativo | Windows, linux | Windows, linux | Linux |
| IDE | Arduino | Arduino, MicroPython | Python |
| SRAM | 96 KB | 520 KB | 264 KB |
| Memoria flash | 4 MB | 4 MB | 2MB |
| Procesador | Xtensa LX106 | Dual core Xtensa® LX6 | Dual core ARM Cortex |
| Comunicación | UART, SPI,I ² C ,PWM | UART, SPI,I ² C ,PWM | UART, SPI,I ² C ,PWM |
| Precio | \$8 | \$35 | \$65 |

Tomando en cuentas dichas características se selecciona la tarjeta de programación.

Tabla 3.2: Criterios ponderados para selección de microcontrolador

| Dispositivo | ESP8266 | ESP32 | Raspberry pi pico |
|-----------------------------|----------------|--------------|--------------------------|
| Conexión a internet | 10 | 10 | 10 |
| Comunicación | 10 | 10 | 10 |
| Prestaciones | 5 | 10 | 10 |
| Tamaño | 10 | 10 | 10 |
| Precio | 10 | 5 | 5 |
| Disponibilidad | 5 | 10 | 0 |
| Compatibilidad con sensores | 10 | 10 | 10 |
| Total | 60 | 65 | 55 |

Basado en la Tabla 3.2 se optó por seleccionar la tarjeta de programación ESP32, ya que cumple con los requerimientos para llevar a cabo el proyecto.

- 2.- Abrir pestaña archivo/preferencias/ir a Gestor URLs Adicionales de Tarjetas en el casillero en blanco, pegar el siguiente enlace: https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json/ y presionar Ok
- 3.- Abrir Herramientas/placa/gestor de tarjetas y descargar ESP32.
- 4.- Reiniciar el IDE de Arduino.
- 5.- Abrir Herramientas/placa/ESP32 ARDUINO/ Heltec Wifi Kit 32
- 6.- Seleccionar Herramientas/velocidad de descarga: 921600, seleccionar puerto.
- 7.- IDE listo para usar.

Para que el microcontrolador envíe datos a Firebase es necesario realizar las siguientes configuraciones:

- 1.- Incluir las librerías:

```
# include <WiFi.h>  
# include <FirebaseESP32.h>
```

- 2.- Incluir el nombre y contraseña de la red a la que se va a conectar el microcontrolador.

```
# define WIFI SSID  
# define WIFI PASSWORD
```

- 3.- Es importante incluir la dirección electrónica y el código secreto de la base de datos para direccionar al microcontrolador, como se muestra a continuación.

```
# define FIREBASE HOST  
# define FIREBASE AUTH
```

Para obtener el código secreto se debe ingresar a Firebase, clic en configuraciones de proyecto, abrir cuentas y servicios, clic en secretos de la base de datos y copiar el código.

Crea objeto para conexión:

```
FirebaseData firebaseData
```

```
    FirebaseJson json
```

Para realizar acciones de escritura y lectura para diferentes tipos de variables en Firebase se utilizan los siguientes comandos:

1.- Líneas de programación para escritura:

```
    Firebase.setBool();
```

```
    Firebase.setInt();
```

```
    Firebase.setDouble();
```

```
    Firebase.setString();
```

2.- Líneas de programación para lectura:

```
    Firebase.getBool();
```

```
    Firebase.getInt();
```

```
    Firebase.getDouble();
```

```
    Firebase.getString();
```

3.4.2. Sensores

Uno de los requerimientos establecidos en la sección 3.1.1 consiste en medir magnitudes de sensores.

3.4.3. Selección del sensor de humedad

Tabla 3.3: Matriz para selección de sensor de humedad

| Dispositivo | YL-69 | Capacitivo V1.0 |
|--------------------|--------------------|------------------------|
| Alimentación | 3.3 a 6V | 3.3 a 5v |
| Señal de salida | Analógica, digital | Analógica |
| Calibración | no | no |
| Precio | \$ 3 | \$5 |

Tomando en cuenta a dichas características se selecciona el sensor mediante criterios ponderados.

Tabla 3.4: Criterios ponderados para selección de sensor de humedad

| Dispositivo | YL-69 | Capacitivo V1.0 |
|--------------------|--------------|------------------------|
| Tamaño | 10 | 10 |
| Precio | 10 | 5 |
| Disponibilidad | 10 | 5 |
| Total | 30 | 20 |

En base a la tabla de criterios ponderados se usará el sensor yl-69 ya que sus características se ajustan a los requerimientos del proyecto.

3.4.3.1. YL-69

Es una resistencia que permite el paso de la corriente del suelo por lo tanto:

- A mayor humedad - menor resistencia
- A menor humedad - mayor resistencia

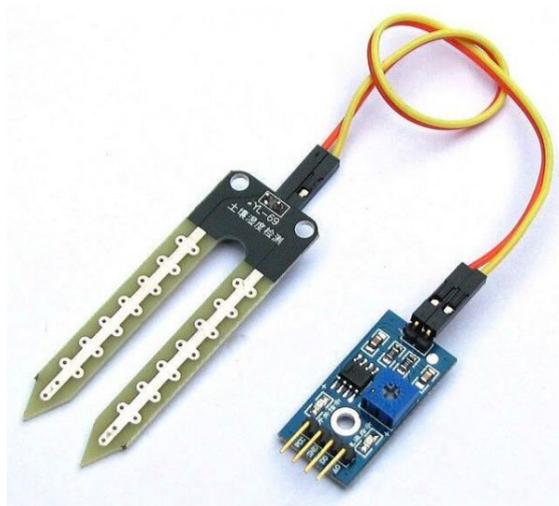


Figura 3.6: Sensor de humedad YL-69 [35].

3.4.4. Selección del sensor de temperatura

Existe una gran variedad de sensores para medir dicha magnitud, sin embargo se tomarán en cuenta aquellos que se encuentren disponibles en el medio local.

Tabla 3.5: Matriz para selección de sensor de temperatura

| Dispositivo | LM35 | DHT32 | PT100 |
|-------------------|--------------|-----------|------------|
| Alimentación | 3.3 a 5V | 3.3 a 5v | 3.3 a 5V |
| Señal de salida | Analógica | Digital | Analógica |
| Rango de medición | 55 hasta 150 | 40 a 80 | 50 a 600 |
| Precisión | ± 0.25 | ± 0.5 | ± 0.15 |
| Precio | 2 | 6 | 5 |

Tomando en cuenta dichas características se selecciona el sensor mediante criterios ponderados.

Tabla 3.6: Criterios ponderados para selección de sensor de temperatura

| Dispositivo | LM35 | DHT22 | PT100 |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|
| Tamaño | 10 | 10 | 10 |
| Precisión | 5 | 10 | 5 |
| Precio | 10 | 10 | 10 |
| Disponibilidad | 10 | 10 | 5 |
| Total | 35 | 40 | 30 |

En base a la tabla 3.6 se eligió el sensor DHT22 como sensor para la medición de temperatura de ambiente, ya que cuenta con las características necesarias para que el proyecto sea viable.

3.4.4.1. DHT22



Figura 3.7: Sensor DHT22 [36].

3.4.5. Selección del sensor de pH

Para la selección de este sensor se consideró únicamente aquellos que pueden ser programados con el IDE de arduino.

Tabla 3.7: Matriz para selección de sensor de ph

| Dispositivo | PH Gravity V2 | PH-4502C |
|-------------------------|----------------------|-----------------|
| Alimentación | 3.3 a 5V | 5v |
| Señal de salida | Analógica | Analógica |
| Rango de medición | 0 a 14 | 0 a 14 |
| Precisión | ± 0.1 | ± 0.1 |
| Tiempo de respuesta | 5 seg | 1 min |
| Medición de temperatura | no | 0 a 80 °C |
| Calibración | Código | Potenciómetro |
| Precio | 120 | 50 |

Tomando en cuenta dichas características se selecciona el sensor mediante criterios ponderados.

Tabla 3.8: Criterios ponderados para selección de sensor de ph

| Dispositivo | PH Gravity V2.0 | PH-4502C |
|--------------------|------------------------|-----------------|
| Tamaño | 10 | 10 |
| Precio | 5 | 10 |
| Disponibilidad | 5 | 10 |
| Precisión | 10 | 5 |
| Total | 30 | 5 |

En base a la tabla 3.8 se eligió el sensor de PH-4502C debido a que se puede conseguir fácilmente en el medio local, además de que cumple con las características necesarias para el funcionamiento del proyecto.

3.4.5.1. PH-4502C



Figura 3.8: Sensor PH-4502C [37].

3.4.6. Selección del sensor de conductividad eléctrica

Para la selección del sensor de conductividad eléctrica se optó por elegir a 2, de los cuales se encuentran en el medio local.

Tabla 3.9: Matriz para selección de sensor de conductividad

| Dispositivo | TDS Meter V1 | CE Gravity V2 |
|-------------------|------------------|----------------|
| Alimentación | 3.3 a 5V | 3.3 a 5v |
| Señal de salida | Analógica | Analógica |
| Rango de medición | hasta 1.56 mS/cm | hasta 15 mS/cm |
| Precisión | ± 10 | ± 5 |
| Longitud de sonda | 80 cm | 100 cm |
| Calibración | Código | Código |
| Precio | \$40 | \$100 |

Tomando en cuenta dichas características se selecciona el sensor mediante criterios ponderados.

Tabla 3.10: Criterios ponderados para selección de sensor de conductividad eléctrica

| Dispositivo | TDS Meter V1 | CE Gravity V2 |
|-------------------|--------------|---------------|
| Tamaño | 10 | 10 |
| Precio | 10 | 5 |
| Disponibilidad | 10 | 10 |
| Rango de medición | 5 | 10 |
| Precisión | 5 | 10 |
| Total | 40 | 45 |

3.4.6.1. CE Gravity V2



Figura 3.9: Sensor Gravity conductivity [38].

3.4.7. Módulos

Un módulo es la integración de varios circuitos para cumplir una función específica, generalmente son diseñados para trabajar en conjunto y facilitar las actividades al microcontrolador [134].

3.4.7.1. ADS1115

Debido a que se seleccionó el sensor de conductividad eléctrica Gravity V2 en la subsección 3.4.6, el fabricante recomienda utilizar el módulo ADS1115 [42], Figura 3.10, para garantizar una mejor precisión al momento de tomar los datos.

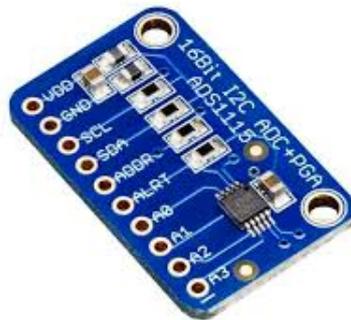


Figura 3.10: Módulo ADS1115 [42]

Este módulo es un convertidor analógico-digital de 16 bits que se comunica mediante el protocolo I²C. Incluye un amplificador de ganancia para leer señales de rango complejo. Posee 4 entradas analógicas que pueden ser usadas de forma independientes o de forma diferencial. [42]

3.4.7.2. DS3231

Es un reloj de tiempo real, posee un oscilador de cristal que asegura la precisión a largo plazo. El módulo es capaz mantener registro de año, mes, día, hora, minutos, segundos, se comunica mediante el protocolo I²C [44].



Figura 3.11: Módulo DS3231 [44].

3.4.7.3. Relevador

Es un dispositivo electromagnético que se acciona por una corriente eléctrica baja para abrir o cerrar un circuito de alta potencia [45]. Existe una gran variedad de módulos aplicados a diferentes objetivos sin embargo en ese caso se utilizará para 5V de alimentación a 110 de activación. Figura 3.12.

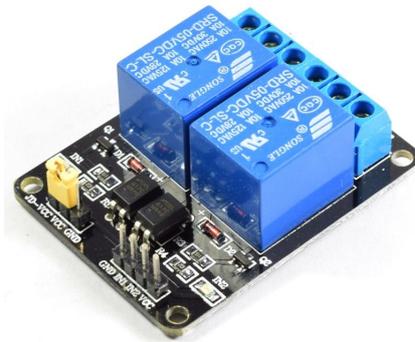


Figura 3.12: Módulo relevador [45]

3.5. Conexiones

3.5.1. Sensor de humedad, ADS1115 y ESP32

El pin de señal analógica del sensor se conecta a la entrada A3 del módulo ADS1115, mientras que el pin positivo y negativo se conectan a la fuente de alimentación de 3.3V y GND respectivamente. Figura 3.13.

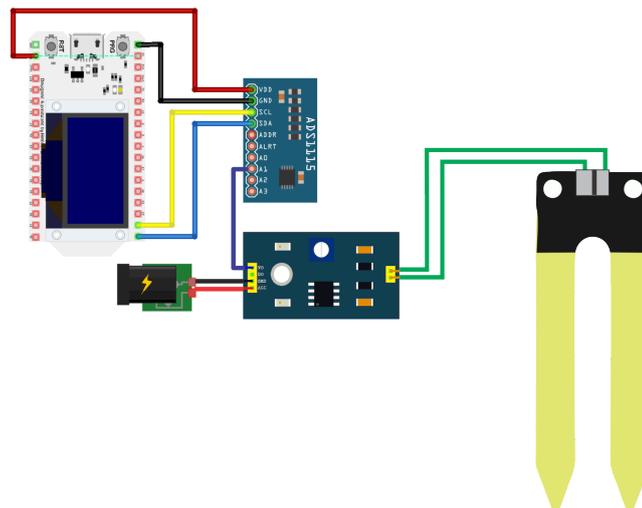


Figura 3.13: Conexiones del sensor de humedad.

3.5.2. Sensor de temperatura y ESP32

En la figura 3.14 se presenta el diagrama de conexiones para el sensor de temperatura. El pin de señal del sensor se conecta con el pin 33 del microcontrolador.

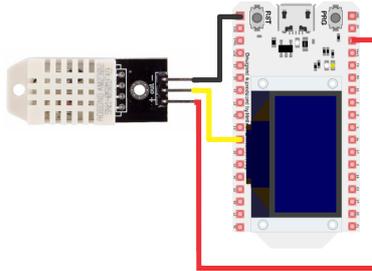


Figura 3.14: Conexiones del sensor DTH22.

3.5.3. Conexiones del sensor DTH22

En la investigación [26], la misma que se analizó en la sección 2.1.3 el autor utiliza una placa de programación ESP8266 y el sensor de ph seleccionado anteriormente, dicha investigación se toma como guía para las conexiones de este proyecto. Figura 3.15.

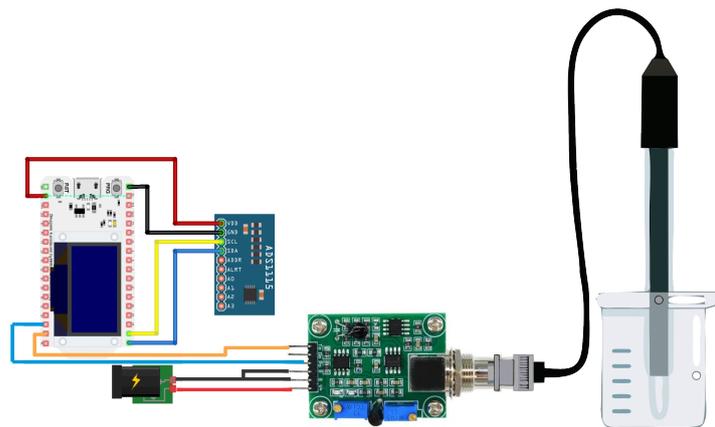


Figura 3.15: Conexiones del sensor de ph.

3.5.3.1. Calibración del sensor de pH

Para tener una medida correcta de las magnitudes de pH es necesario calibrar el sensor previamente a la instalación. Para ello se debe utilizar sustancias calibradas, generalmente se pueden adquirir en tiendas de hidroponía o en algunos casos se incluyen con el sensor. Para este proyecto se utilizaron polvos con calibración de 4.01 ,6.86 y 9.18, tal como se muestra en la Figura 3.16 a,b,c respectivamente.

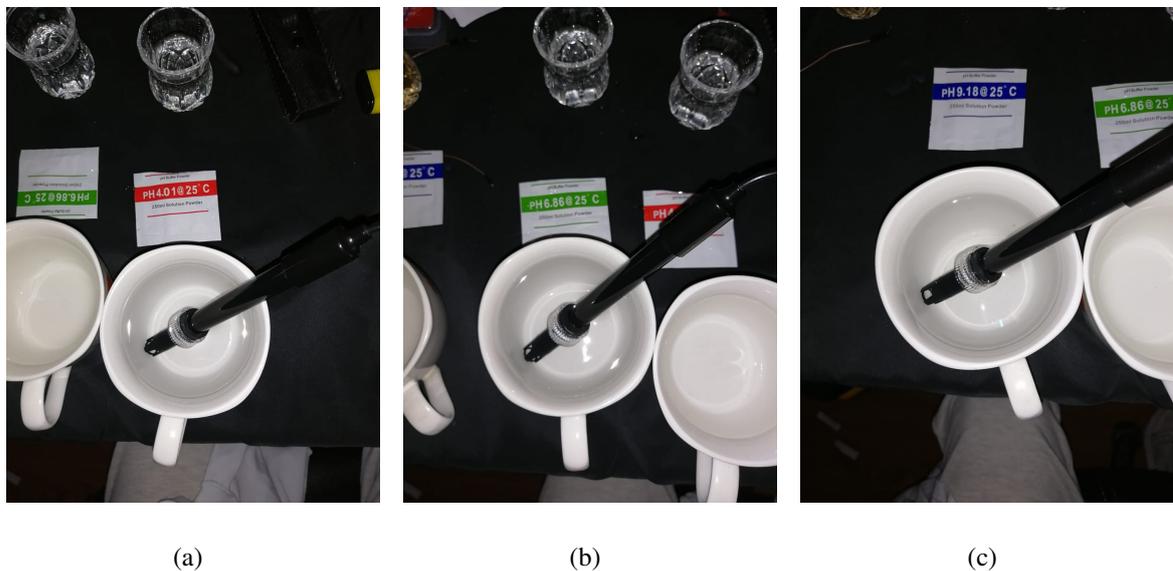


Figura 3.16: Calibración del sensor de pH. a) Ph 4.01, b) Ph 6.86, c) Ph 9.18.

El circuito del sensor de pH posee dos potenciómetros, ver Figura 3.15. El de la derecha regula la compensación y el de la izquierda regula el límite del pH. La referencia para un pH 7 es 0, por lo tanto para conseguir dicha medida será necesario cortocircuitar las 2 partes el conector BNC. La medida en volts debe ser de 2.5V, para un pH 4.01 es de 3.04V y para un pH 6.86 es de 2.54v. [43]

En la tabla 3.11 determina el error relativo para un pH 6.86, haciendo uso de polvos calibrados.

Tabla 3.11: Calculo del porcentaje de error con pH 6.86

| Valor medido | Solución pH 6.86 | Voltaje | Error relativo % |
|--------------|------------------|---------|------------------|
| 6.92 | 6.86 | 2.54 | 1.006 |
| 6.90 | 6.86 | 2.54 | 1.005 |
| 6.82 | 6.86 | 2.54 | 0.99 |
| 6.87 | 6.86 | 2.54 | 1.00 |
| 6.83 | 6.86 | 2.54 | 0.995 |
| 6.88 | 6.86 | 2.54 | 1.00 |
| 6.87 | 6.86 | 2.54 | 1.001 |
| 6.88 | 6.86 | 2.54 | 1.0029 |
| 6.82 | 6.86 | 2.54 | 0.994 |
| 6.81 | 6.86 | 2.54 | 0.992 |
| 6.87 | 6.86 | 2.54 | 1.001 |
| 6.83 | 6.86 | 2.54 | 0.995 |

El promedio del error relativo para el sensor de pH es de 0,998 %.

En la figura 3.17 a,b,c se muestra los datos en el monitor adquiridos mediante la calibración.



Figura 3.17: Muestras datos del sensor. a) Lectura del sensor ph 4.01, b) Lectura del sensor ph 6.86, c) Lectura del sensor ph 9.18.

3.5.4. Sensor de conductividad eléctrica, ADS1115 y ESP32

En la Figura 3.18 se presenta el diagrama de conexiones utilizado para el sensor Gravyti V2.0.

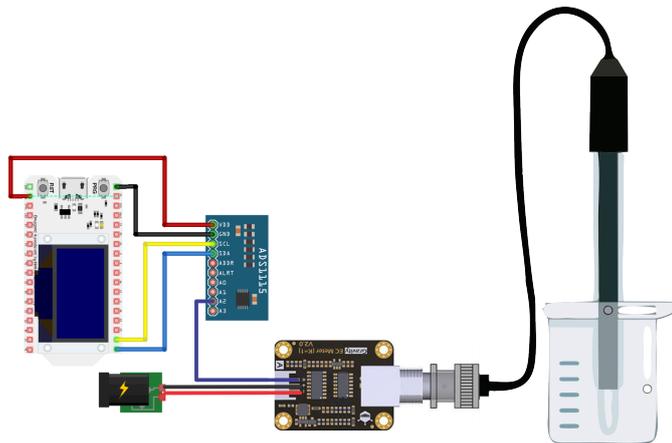


Figura 3.18: Conexiones del sensor de conductividad.

3.5.4.1. Calibración del sensor de conductividad

Uno de los beneficios de este sensor es que el modo de calibración se realiza por medio de código. Para ello es necesario seguir los siguientes pasos.

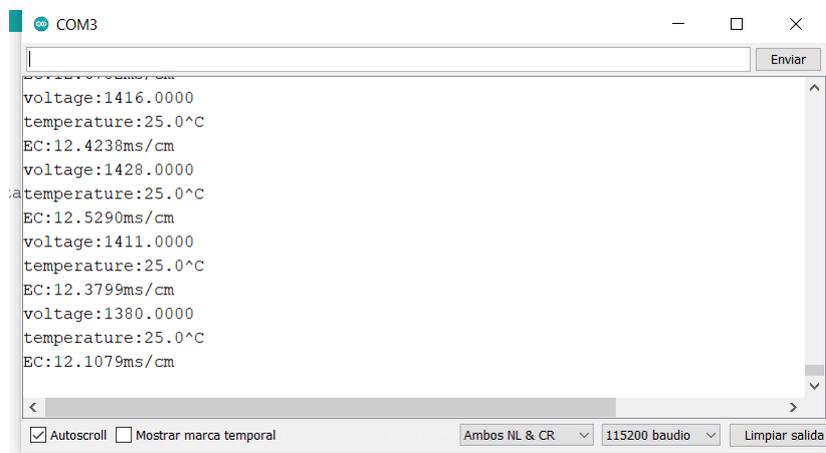
- 1.- Descargar e instalar la librería DFRobot_ESP_EC
- 2.- Cargar el programa en la tarjeta de programación y abrir el monitor serie.
- 3.- Ingresar el comando ENTEREC en el monitor para ingresar en modo de calibración.
- 4.- Ubicar el sensor en la solución con CE calibrada en este caso se utilizó una sustancia propia del fabricante de 12.88mS/cm.
- 5.- Ingresar en el monitor serie de arduino el comando CALEC, para verificar el valor de la sustancia de referencia y guardar el dato en la memoria flash del microcontrolador.

6.- Por último se debe ingresar el comando EXITEC para salir del modo de calibración .

En la figura 3.19, a. se muestra al sensor ubicado en la sustancia calibrada de 12.88mS/cm y en la figura 3.19, b. se muestra el valor medido por el sensor en el monitor serie.



(a)



(b)

Figura 3.19: Calibración del sensor de conductividad. a) Ce 12.88mS cm, b) Monitor serial.

3.5.5. Diagrama de funcionamiento circuito eléctrico

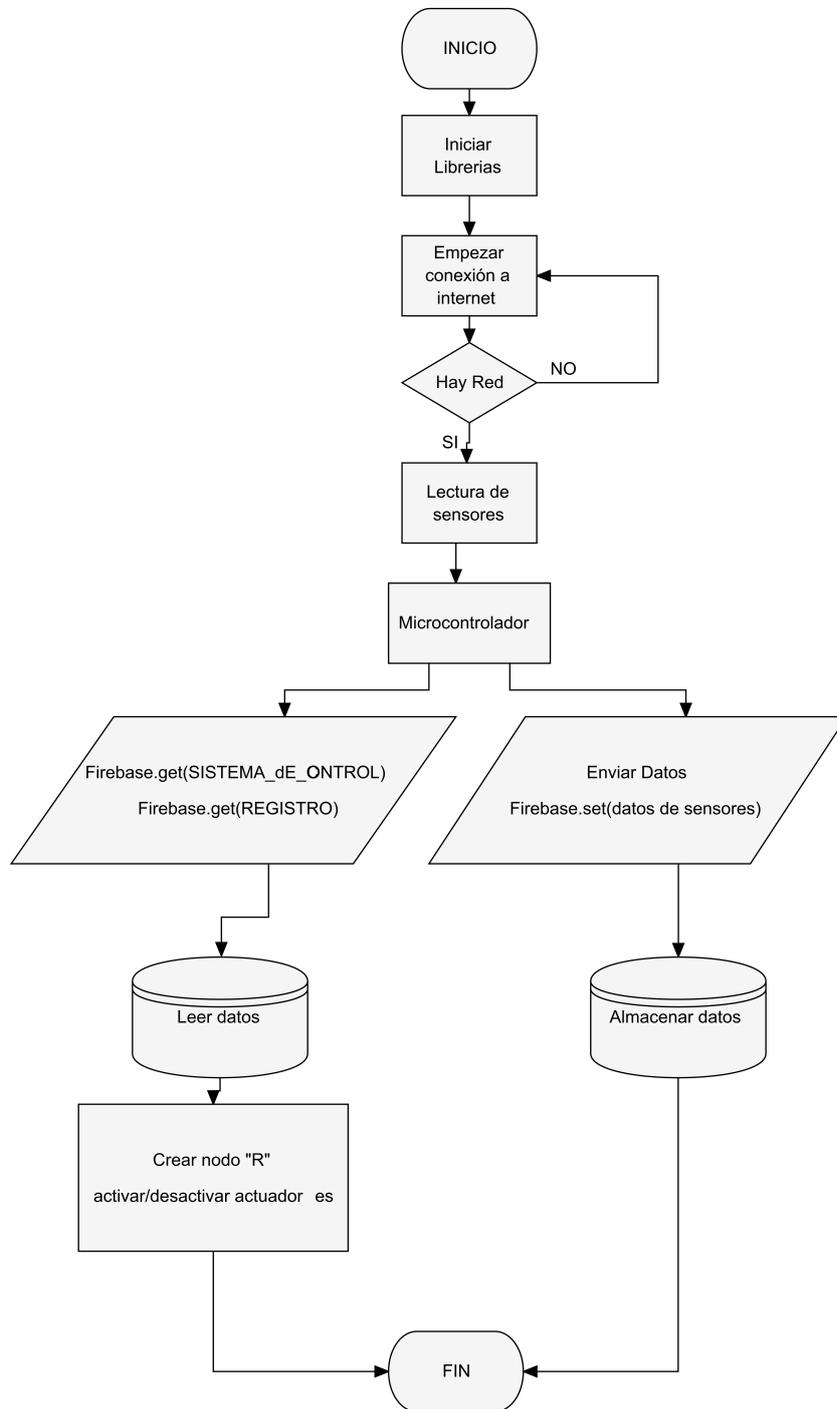


Figura 3.20: Diagrama de funcionamiento del sistema eléctrico

Capítulo 4

Implementación y pruebas

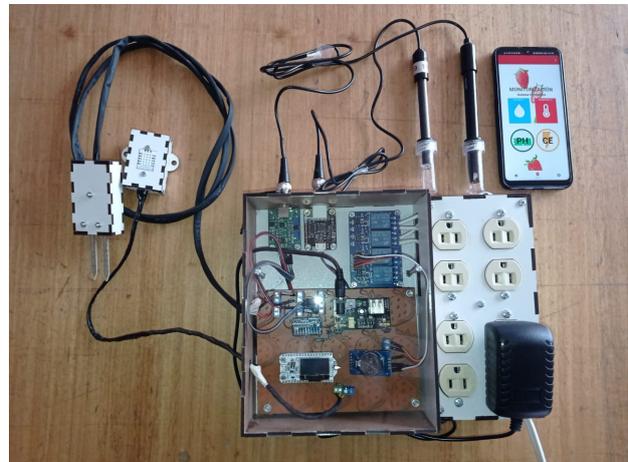
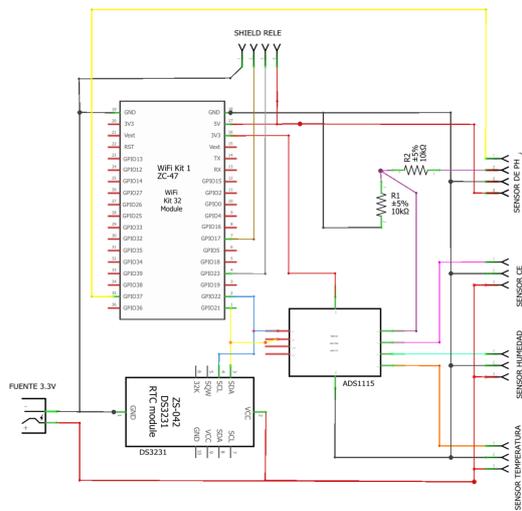
En este capítulo se muestra la implementación del sistemas telemático y posteriormente el funcionamiento de cada una de las partes que lo conforma.

4.1. Sistema telemático

Como se mencionó en la sección 3.1 , el sistema telemático está formado por 3 componentes: Gestor de datos, aplicación móvil y circuito de adquisición de datos; sin embargo para verificar el funcionamiento del sistema se instalará en el siguiente orden: circuito eléctrico, base de datos y funcionamiento de la aplicación móvil.

4.1.1. Instalación del circuito eléctrico

En la Figura 4.1,a, se muestra el diagrama de conexiones del circuito eléctrico que se utilizará para la adquisición de datos del sistema hidropónico mientras que en la Figura 4.1, b, se muestra el dispositivo desarrollado.



(a)

(b)

Figura 4.1: Circuito eléctrico. a) Diagrama general de conexiones, b) Implementación física.

Para la implementación y pruebas del dispositivo se realizó un prototipo de invernadero hidropónico por goteo para cultivo de fresas, Figura 4.2, a, b.



(a)

(b)

Figura 4.2: Sistema hidropónico por goteo. a) Estructura, b) Sustrato.

En la Figura 4.3 se muestra la instalación del sensor de temperatura, mismo que se ubica dentro del invernadero a la altura de las plantas, así obtendrá datos con mejor precisión.

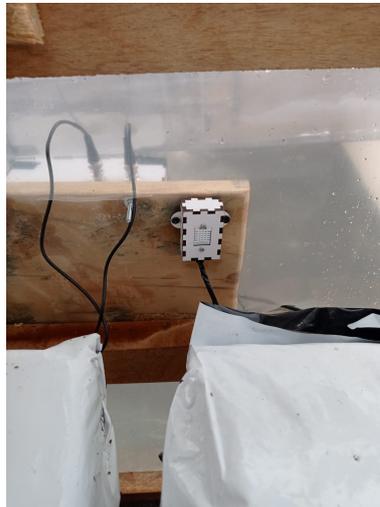


Figura 4.3: Instalación del sensor de temperatura

En la figura 4.4 se muestra la instalación del sensor de pH y Conductividad eléctrica dentro del deposito de nutrientes.



Figura 4.4: Instalación del sensor de pH y Conductividad eléctrica

En la figura 4.5 se muestra la implementación del sensor de humedad del sustrato. Este se ubica en la zona mas cercana a la raíz, para obtener mejores resultados.



Figura 4.5: Instalación del sensor de humedad del sustrato

El sistema debe ser implementado en la parte más cercana al lugar de medición. En la figura 4.6 se muestran 2 perspectivas del circuito eléctrico instalado.



(a)



(b)

Figura 4.6: Implementación de circuito eléctrico en el invernadero. a) Perspectiva 1, b) Perspectiva 2.

4.1.2. Base de datos

Una de las características más importantes que brinda Firebase es la capacidad de ordenar los datos en formato "Json" permitiendo seccionar a modo de árbol de directorio, lo cual es fundamental para el funcionamiento de este proyecto. A continuación se detalla minuciosamente cada una de las partes que conforman la base de datos:

- 1.- Es el nodo general en el que se guardará toda la información del sistema hidropónico.
- 2.- Es un id de usuario que introduce el técnico de instalación del equipo.
- 3.- Es el nodo donde se guarda la información del usuario.
- 4.- Es el número de registros que se realiza desde la aplicación, esto sirve para crear un nuevo registro del sistema.
- 5.- Es el nodo donde se guarda la información referente a sensores y actuadores.

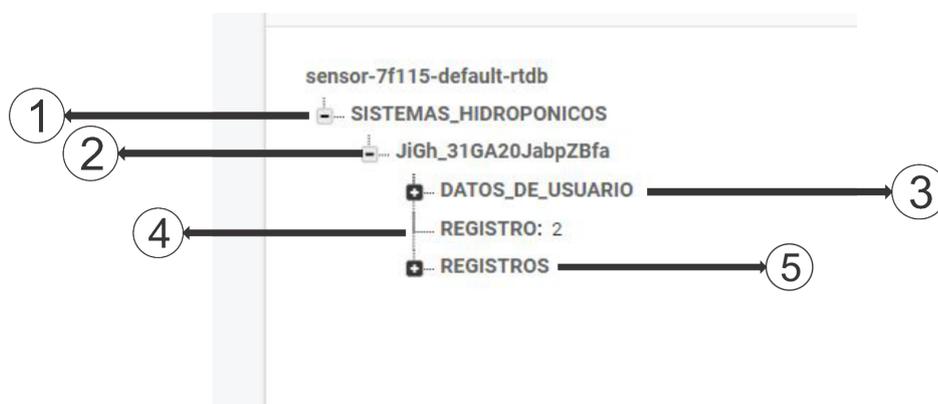


Figura 4.7: Árbol de directorio: estructura global en Firebase

- 6.- Contraseña del usuario.
- 7.- Es el correo electrónico con el que se registro el usuario al crear una cuenta. Solo se puede ingresar con el correo registrado caso contrario se generará un error.

- 8.- Mensajes de alerta, se generan cuando las variables salen de los rangos óptimos de cultivo. La aplicación móvil guarda dicha información en la base de datos.
- 9.- Es el número de registro. Cada vez que el usuario inicie un monitoreo se genera un nodo R ascendente para crear un nuevo historial de cultivo. Los registros anteriores generados permanecen en la base de datos para posteriores revisiones.



Figura 4.8: Árbol de directorio: Datos del usuario y registros

- 10.- Identificador único para almacenar las alertas, esto evita que se repitan y consecuentemente se sobrescriban sobre valores ya enviados.
- 11.- Fecha y hora del momento en el que se activa la alarma. Esto sucederá cada vez que los sensores detecten mediciones fuera de los rangos óptimos para el cultivo.
- 12.- Guarda el nombre del sensor en el que se generó la alarma.
- 13.- Registra el valor actual en el que se encuentra la variable tomada por el sensor. Por lo general se escriben los valores fuera de rango.

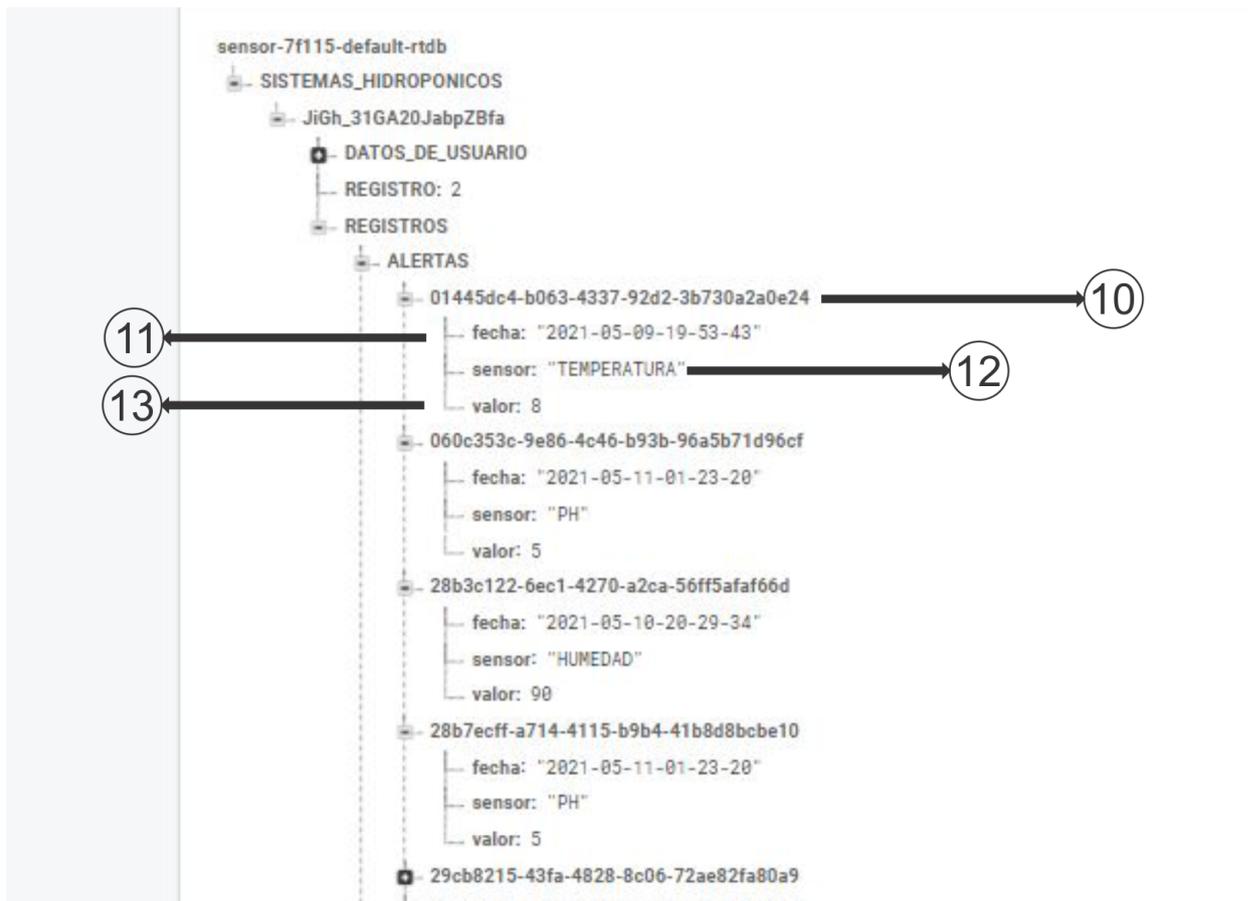


Figura 4.9: Árbol de directorio: alertas del sistema

14.- Es el número de registro actual.

15.- Es la información del número de veces que se activo la bomba o el ventilador durante un registro.

16.- Es la fecha en la que se inició el registro R2.

17.- Magnitudes de sensores.

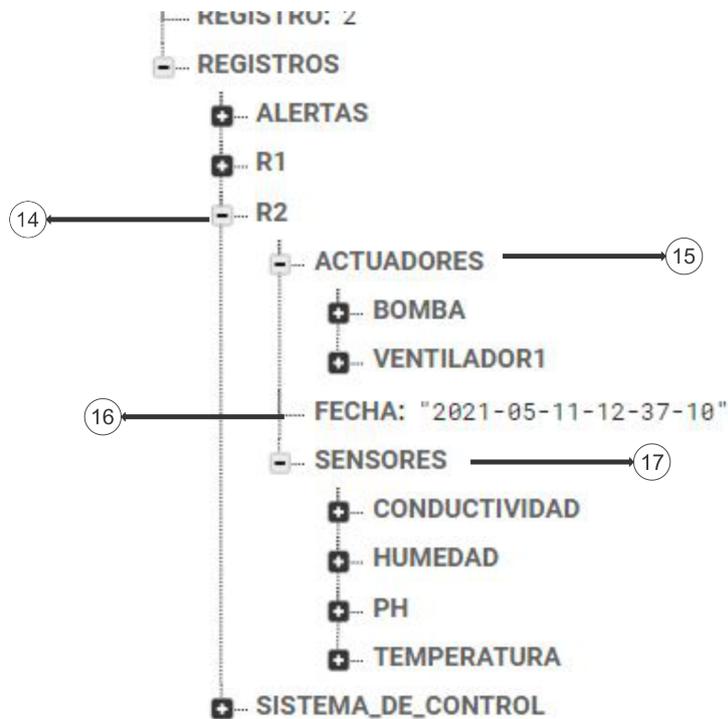


Figura 4.10: Árbol de directorio: Numero de registro, actuadores, fecha y sensores

- 18.- El valory es un contador que servirá para graficar en la aplicación movil. Este dato es enviado por el microcontrolador.
- 19.- El Valorx es la magnitud del sensor. Este dato es enviado por el microcontrolador.
- 20.- Es un id con hora y fecha enviado por el microcontrolador . Dentro del nodo incluye los items 18 y 19.
- 21.- Nodo del sensor de humedad recibiendo datos.

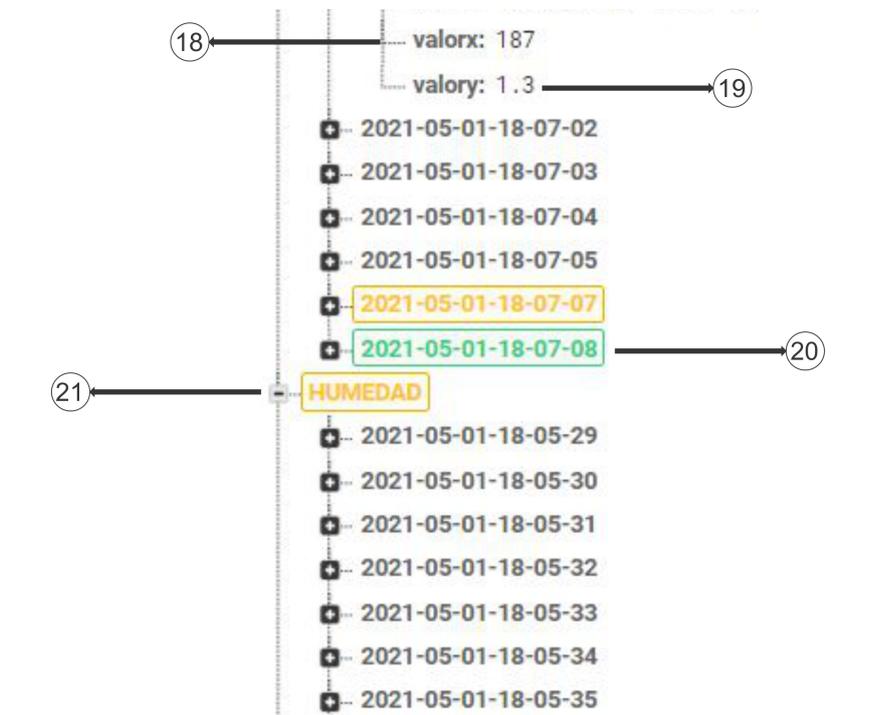


Figura 4.11: Árbol de directorio: Envío de datos y magnitudes.

22.- Información para los actuadores del sistema.

23.- Estado de la bomba, es un dato booleano , cuando la variable bomba es igual a 0 se activa y cuando es igual a 1 se desactiva.

24.- Número de veces que se encendió la bomba, es un contador.



Figura 4.12: Árbol de directorio: Sistema de control.

4.2. +Berry - aplicación móvil para monitoreo

Mediante el generador de archivos apk de Android Studio, se dispone del instalador para el dispositivo móvil.

Una vez iniciado el proceso aparece una pantalla principal con el logotipo de la aplicación ,Figura 4.13,a.

Posteriormente aparece una pantalla de inicio de sesión, Figura 4.13, b, donde se ingresa el correo electrónico y contraseña del usuario. En el caso de no disponer de una cuenta el usuario puede crear una, pulsando en "SIGN", ver Figura 4.13,c, donde se solicita el correo electrónico y contraseña, para la autenticación de datos.

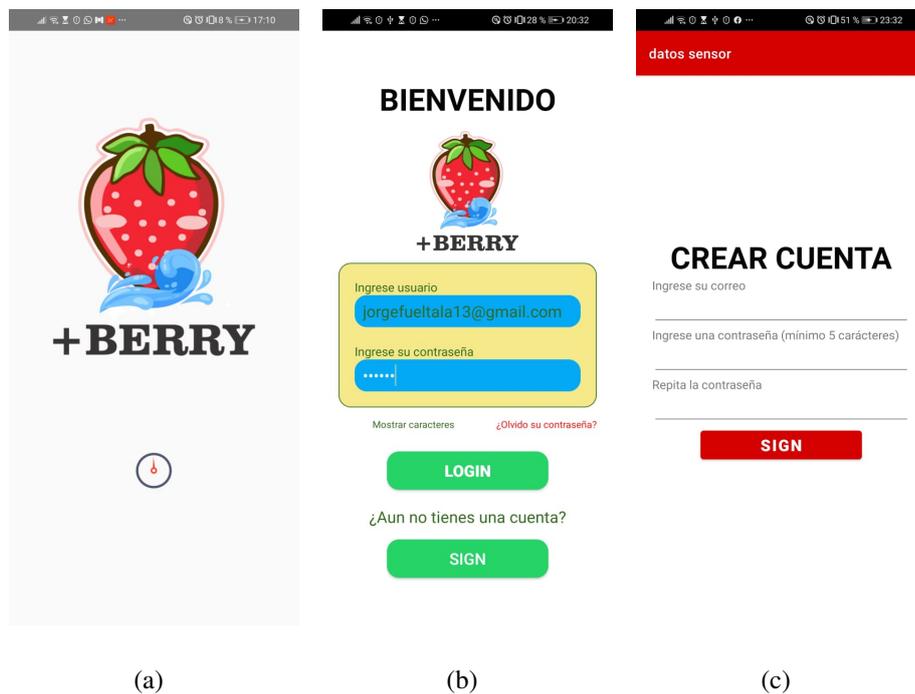
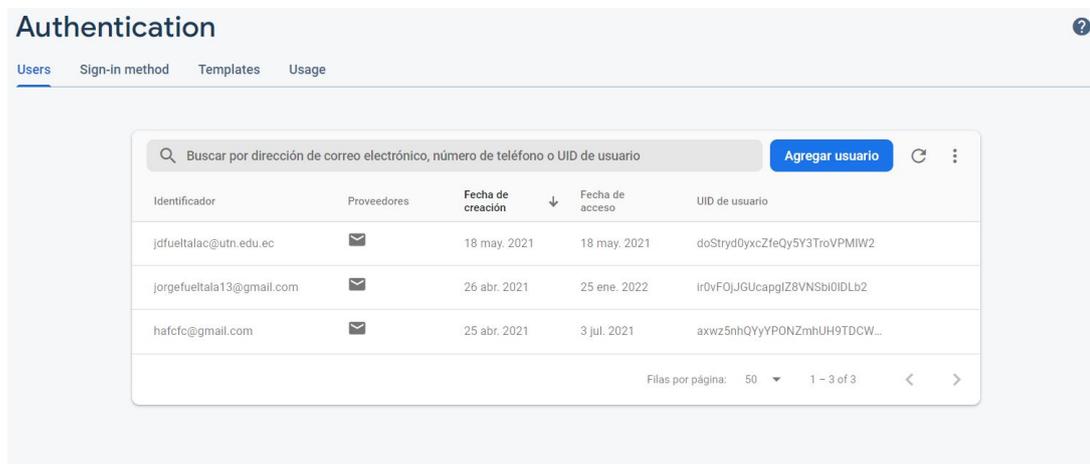


Figura 4.13: Inicio de sesión o crear cuenta. Ejecutando app, b) Log in, c) Sing in.

Como medida de seguridad la autenticación de datos se puede verificar en la plataforma de Firebase. Ver Figura 4.14.



The screenshot shows the 'Authentication' page in the Firebase console, specifically the 'Users' tab. It features a search bar at the top with the text 'Buscar por dirección de correo electrónico, número de teléfono o UID de usuario' and a blue 'Agregar usuario' button. Below the search bar is a table with the following columns: 'Identificador', 'Proveedores', 'Fecha de creación', 'Fecha de acceso', and 'UID de usuario'. The table contains three rows of user data. At the bottom right of the table, there is a pagination control showing 'Filas por página: 50' and '1 - 3 of 3'.

| Identificador | Proveedores | Fecha de creación | Fecha de acceso | UID de usuario |
|--------------------------|-------------|-------------------|-----------------|------------------------------|
| jdfueltalac@utn.edu.ec | ✉ | 18 may. 2021 | 18 may. 2021 | doStryd0yxcZfeQy5Y3TroVPMIW2 |
| jorgefuealta13@gmail.com | ✉ | 26 abr. 2021 | 25 ene. 2022 | ir0vFOjJGUcapglZ8VNSbi0IDLb2 |
| hafcfc@gmail.com | ✉ | 25 abr. 2021 | 3 jul. 2021 | axwz5nhQYyYPONZmhUH9TDCW... |

Figura 4.14: Autenticación de datos en Firebase

Para recuperar la contraseña el usuario debe dar clic en " Olvidó su contraseña ", ver Figura 4.13 , b.

Posteriormente se despliega la pantalla de recuperación, ver figura 4.15, en la que se ingresa el correo electrónico.



Figura 4.15: Ventana de recuperación de contraseña

El usuario debe ingresar al enlace enviado al correo para cambiar su contraseña por una actual. Figura 4.16, a, b.

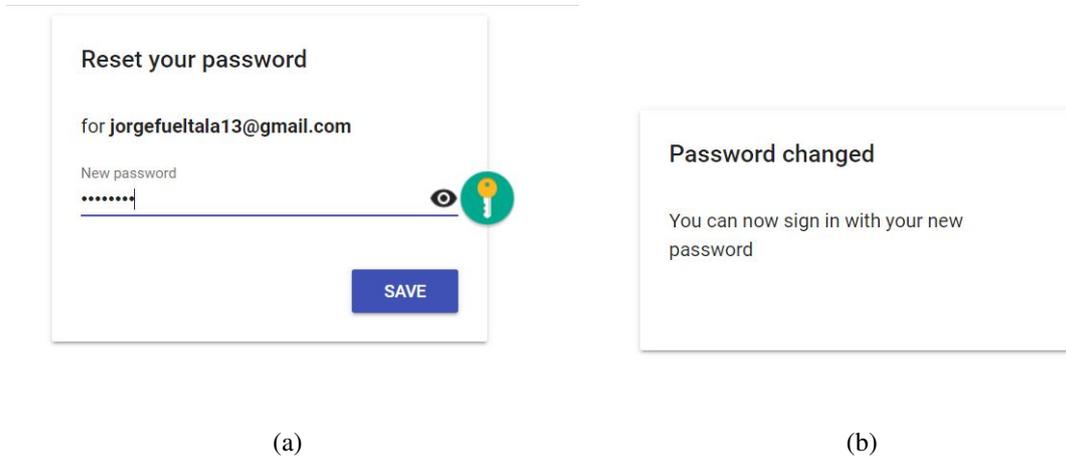


Figura 4.16: Ventana WEB para cambio de contraseña

4.2.0.1. +Berry - pantallas de navegación

Los íconos que aparece en la Figura 4.17, son ventanas de navegación entre pantallas, se encuentran ubicados en la parte inferior del monitor. Las cuales distribuyen las actividades de la aplicación.

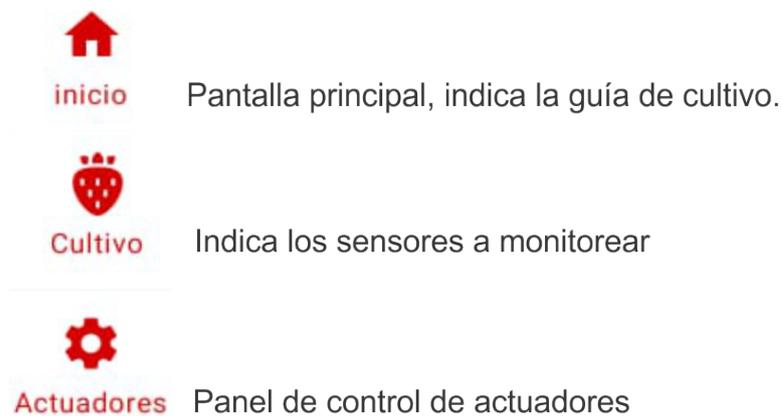


Figura 4.17: Pantalla de monitoreo de variables

Al pulsar el ícono de Inicio se muestra una guía de cultivo al usuario, donde se encuentra la información referente a sistemas hidropónicos para cultivo de fresa, Figura 4.18.



Figura 4.18: Guía de cultivo

Cuando se pulsa el ícono de cultivo, ver Figura 4.17, aparece una pantalla en la que se encuentran ubicados los sensores a monitorear, Figura 4.19.

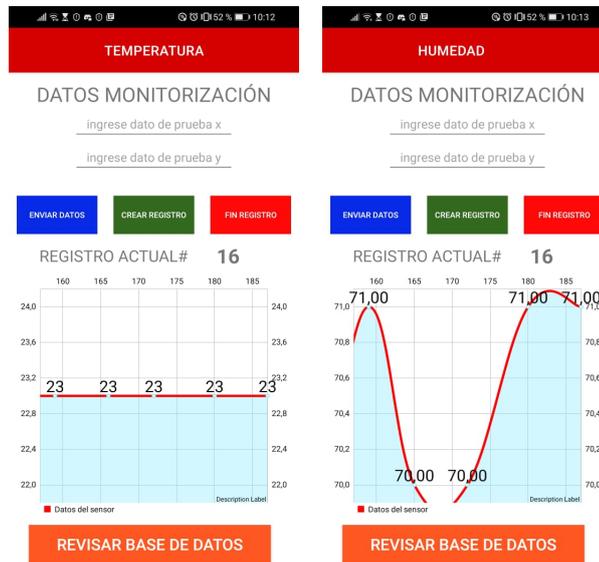


Figura 4.19: Pantalla de monitoreo de variables

Una vez seleccionado el sensor, aparece una gráfica en pantalla indicando el valor escrito en Firebase por el microcontrolador.

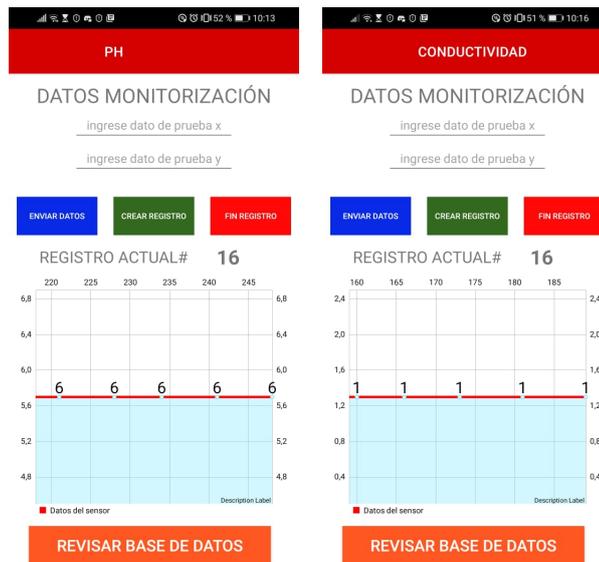
En la Figura 4.20 a, se muestra la pantalla de monitoreo de la temperatura ambiente. En la Figura 4.20 b, se muestra la pantalla de monitoreo de la humedad en el sustrato. En la Figura 4.20 c, se muestra la pantalla de monitoreo del pH. En la Figura 4.20 d, se muestra la pantalla de monitoreo de la conductividad eléctrica.

De esta manera gráficamente la aplicación brinda la información correspondiente al usuario sobre el estado de las variables.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4.20: Pantallas de monitorización de variables. a) Pantalla de Humedad , b) Pantalla de pH, c) Pantalla de CE, d) Pantalla de temperatura.

4.2.0.2. +Berry - Mensajes informativos

Basado en la tabla 2.2 de la sección 2.4.4, se definen los rangos de las variables óptimas para el cultivo de fresas previo al análisis investigativo, los cuales se usan para brindar mensajes informativos al usuario por medio de la aplicación móvil. Cuando la variable se sale del rango aceptable imprime un mensaje en pantalla.

En la Figura 4.21 a,b, se imprime los mensajes informativos para la temperatura en su rango máximo de 25°C y mínimo de 8°C respectivamente. En la Figura 4.21 c,d, se imprime mensajes informativos para el porcentaje de humedad en el sustrato en su rango máximo de 65% y mínimo de 85%.

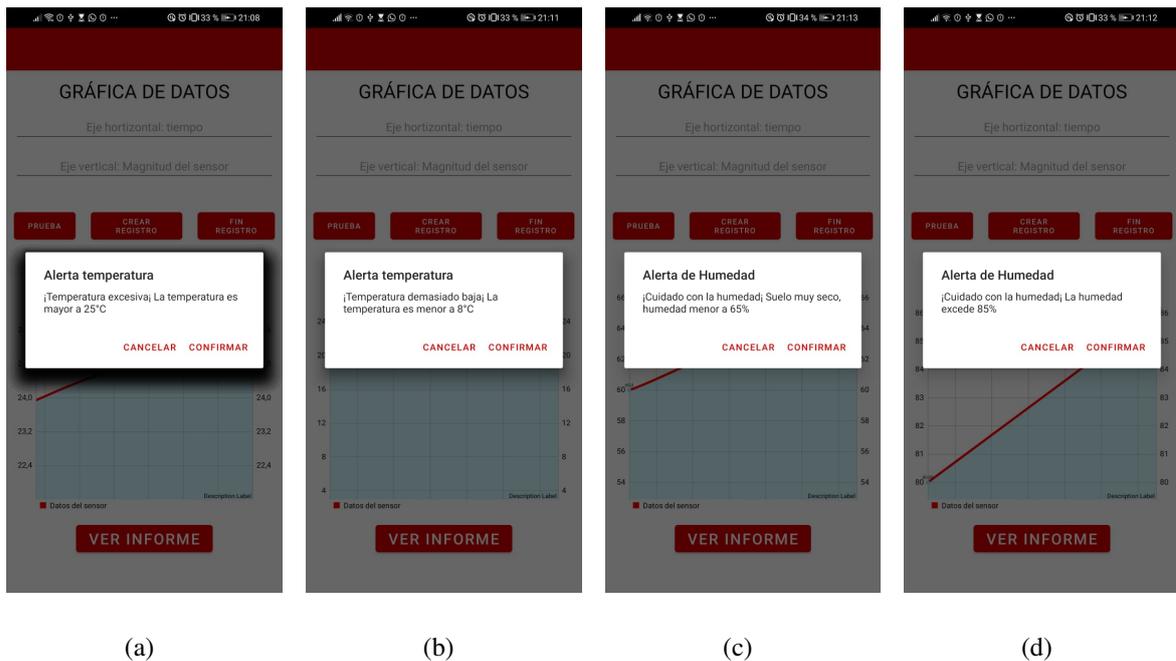
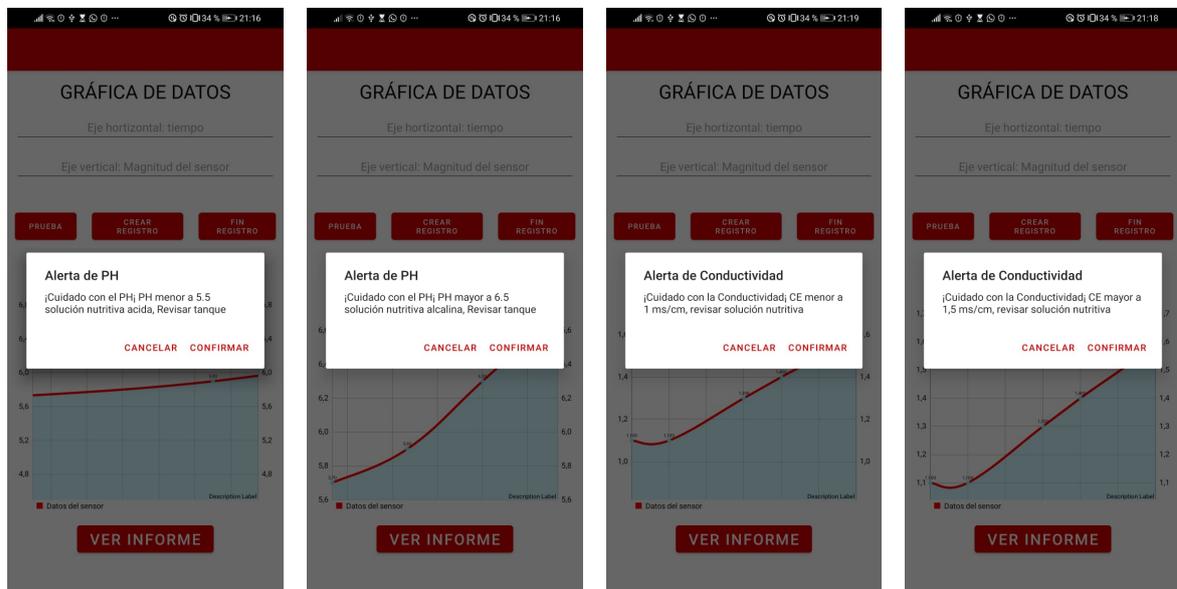


Figura 4.21: Mensajes informativos para temperatura y humedad en el sustrato. a) Alerta temperatura max, b) Alerta temperatura min, c) Alerta humedad min, d) Alerta de humedad max.

En la Figura 4.22 a,b se imprime mensajes informativos para el pH en su rango mínimo de

5.5 y máximo de 6.5. En la Figura 4.22 c,d imprime mensajes informativos para la conductividad eléctrica en su rango mínimo de 1 y máximo de 1.5 mS/cm.



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4.22: Mensajes informativos para pH y conductividad eléctrica. a) pH min, b) pH max, c) CE min, d) CE max.

4.2.0.3. +Berry - Registro de actividad

Cuando se pulsa el botón "REVISAR BASE DE DATOS", ver Figura 4.20, aparece la pantalla, "INFORME DE REGISTROS", ver Figura 4.23. Esta función lee las variables de Firebase y los representa modo de gráficos lineales. Para visualizar dicha información el usuario debe ingresar el nombre del sensor y el número de registro. Además en la pantalla se indica la fecha de inicio y fin del registro.

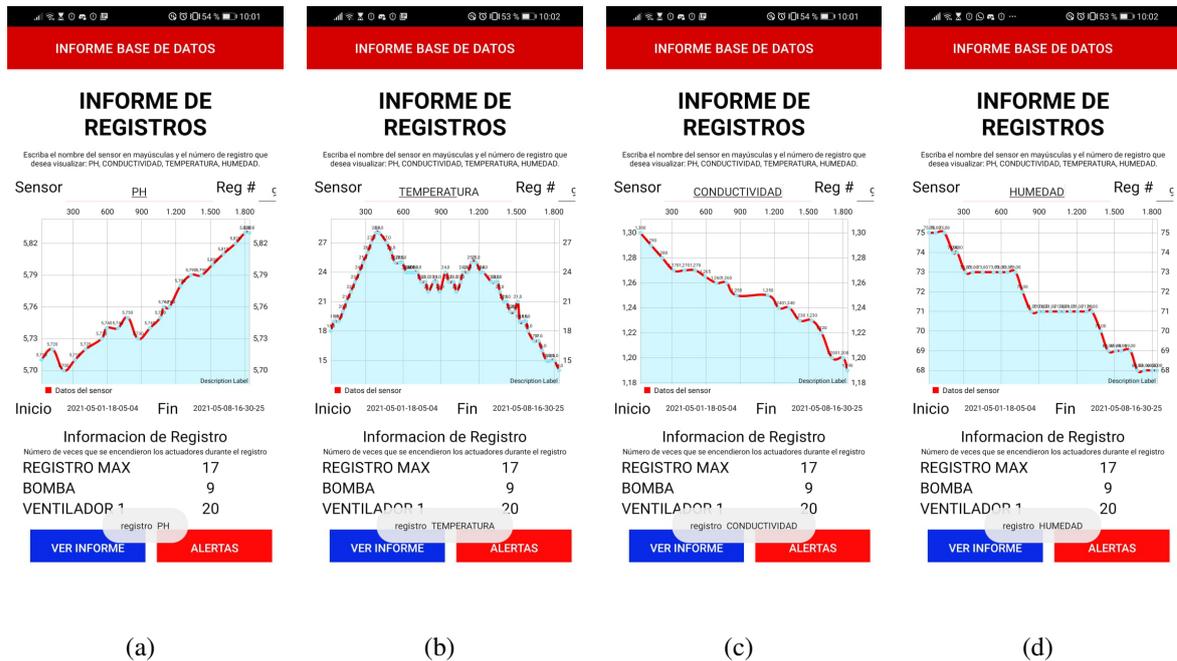


Figura 4.23: Registro de actividad del cultivo implementado. a) Registro pH, b) Registro Temperatura, c) Registro Conductividad eléctrica, d) Registro Humedad.

4.2.0.4. +Berry - Alertas y actuadores

Cuando se presiona en el botón ALERTAS, ver Figura 4.23 a, aparece una pantalla con las alertas que se generaron en el cultivo, ver Figura 4.24 a. Al presionar el icono de actuadores, ver Figura 4.17, se abrirá el panel de control. Dicha pantalla permite encender o apagar los actuadores cada vez que el usuario lo requiera.

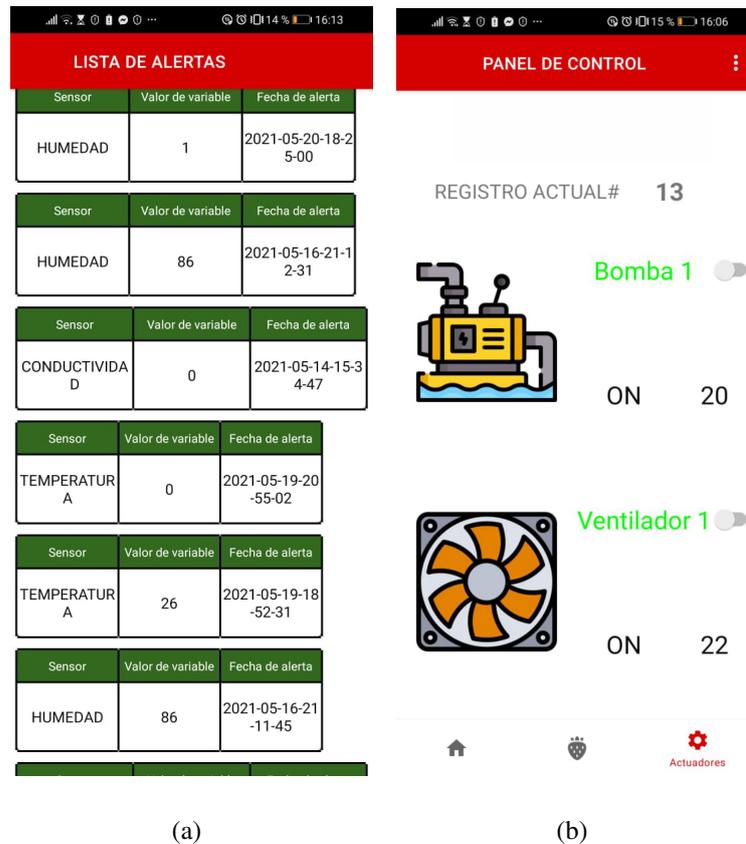


Figura 4.24: Pantalla de alertas y actuadores. a) Pantalla de alertas, b) Pantalla de actuadores.

4.3. Pruebas de funcionamiento

Una vez desarrollado e instalado el sistema de monitoreo se realizan las pruebas correspondientes para el análisis de datos. Para realizar la toma de datos de pH y Conductividad eléctrica se calibraron los sensores respectivamente con las soluciones correspondientes detallado en el capítulo 3 sección 3.4.3.1 y 3.5.4.1.

4.3.1. Etapa de floración

En la investigación [47] mediante análisis se determina que existen 3 etapas que influyen en el desarrollo de la fresa como son: germinación, maduración y floración. El proceso de toma de datos se realiza en plantas en estado de floración debido al tiempo correspondiente designado para la realización de este proyecto y basado en el cronograma de actividades propuesto.



Figura 4.25: Plantas de fresa en estado de floración

4.3.1.1. Monitoreo de la variable Humedad

En la Tabla 4.1 se muestran los datos adquiridos por el sensor de de humedad, mismas que se tomaron 4 veces por día.

Tabla 4.1: Mediciones del sensor de humedad del sustrato en %

| N° de muestra | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestra 1 | 75 | 70 | 68 | 74 | 69 | 63 | 76 |
| Muestra 2 | 74 | 69 | 62 | 72 | 65 | 60 | 72 |
| Muestra 3 | 70 | 67 | 60 | 70 | 64 | 58 | 70 |
| Muestra 4 | 69 | 65 | 59 | 70 | 60 | 80 | 67 |

En la Figura 4.26 se observa la gráfica de humedad, donde se muestran los valores de porcentaje presente en cada medición. Se tuvo mediciones iniciales del 75 % y reducciones hasta

el 59 % esto debido a que cada inicio de día se humedece el sustrato con solución nutritiva. El promedio de porcentaje de agua en el sustrato es de 70.88 % .

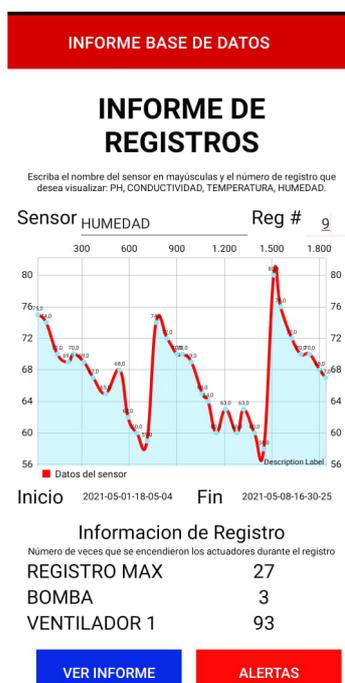


Figura 4.26: Gráfica de mediciones de humedad en la aplicación móvil

4.3.1.2. Monitoreo de la variable pH

En la Tabla 4.2 se muestran los datos adquiridos por el sensor de pH, mismos que se tomaron 3 veces por día.

Tabla 4.2: Mediciones del sensor de pH

| N° de muestra | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Muestra 1 | 5.71 | 5.78 | 5.79 | 5.81 | 5.87 | 5.9 | 5.93 |
| Muestra 2 | 5.72 | 5.80 | 5.80 | 5.80 | 5.83 | 5.91 | 5.98 |
| Muestra 3 | 5.75 | 5.75 | 5.82 | 5.83 | 5.86 | 5.92 | 6.13 |

En la Figura 4.27 se muestran los valores adquiridos por el sensor de Ph, en la cual se puede observar variaciones que van desde 5.71 hasta 6.13. El promedio de pH en base a los valores medidos es de 5.84. Cabe recalcar que al ser un sistema de recirculación de solución nutritiva las variaciones de Ph serán agresivas.

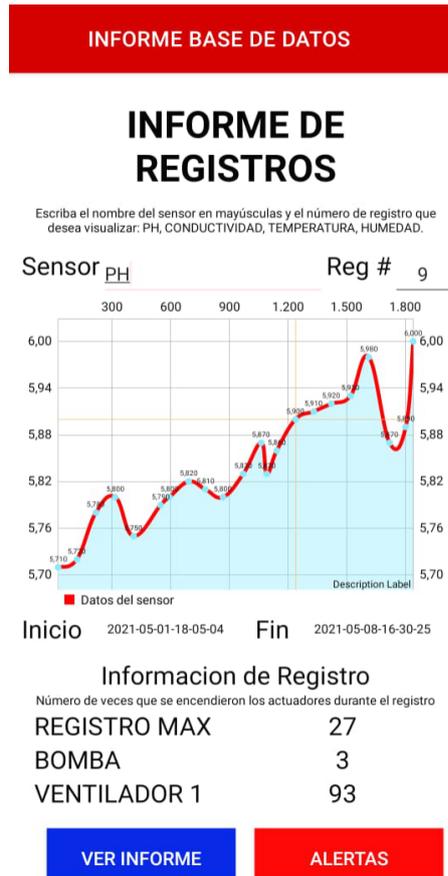


Figura 4.27: Gráfica de mediciones de Ph en la aplicación móvil

4.3.1.3. Monitoreo de la variable Temperatura

En la Tabla 4.3 se muestran los valores tomados por el sensor de temperatura, los cuales se realizaron en un lapso de 4 horas por día. Se muestra el promedio de temperatura para cada muestra.

Tabla 4.3: Mediciones del sensor de Temperatura en °C

| N° de muestra | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Promedio |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| Muestra 1 | 18 | 23 | 18 | 15 | 18 | 14 | 16 | 17 |
| Muestra 2 | 19 | 25 | 21 | 18 | 20 | 17 | 18 | 19 |
| Muestra 3 | 20 | 28 | 20 | 20 | 25 | 22 | 20 | 22 |
| Muestra 4 | 23 | 25 | 23 | 25 | 27 | 20 | 26 | 24 |
| Muestra 5 | 20 | 26 | 25 | 28 | 29 | 25 | 25 | 25 |
| Muestra 6 | 24 | 23 | 20 | 23 | 26 | 21 | 21 | 23 |
| Muestra 7 | 19 | 18 | 18 | 20 | 22 | 18 | 19 | 19 |
| Muestra 8 | 14 | 15 | 15 | 17 | 16 | 15 | 16 | 18 |

En la Figura 4.28 se puede observar la gráfica de toma de datos del sensor de temperatura.

Se muestra que las variaciones de temperatura en cada muestras son poco agresivas, esto debido a que el sistema esta protegido por un invernadero y además las pruebas se realizaron en días lluviosos.

a la presencia de partículas de sustrato en la solución salina la conductividad eléctrica disminuye agresivamente, tal como se ve en la figura Figura 4.29.

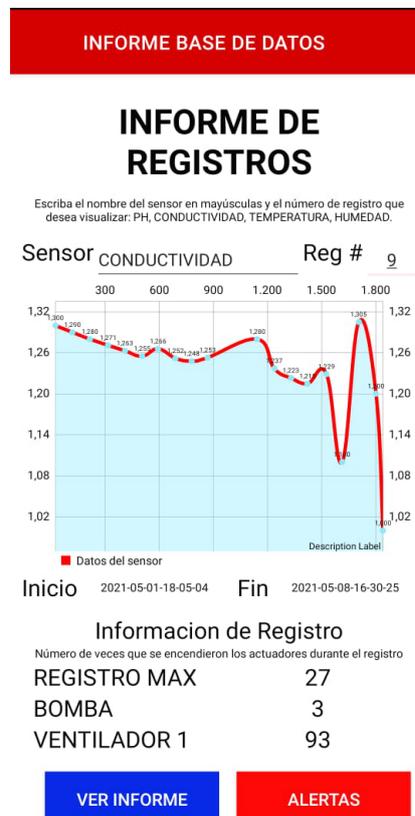


Figura 4.29: Gráfica de mediciones de Conductividad eléctrica en la aplicación móvil

4.4. Resultados del cultivo de fresa hidropónica

En la Figura 4.30 y 4.31 se muestra el resultado del monitoreo de fresas en la etapa de floración, dando como resultado frutos en desarrollo con propiedades organolépticas y saludables.



Figura 4.30: Fresa en desarrollo



Figura 4.31: Plantas de fresa con achenios y fruto

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo Futuro

En este capítulo se describen las conclusiones del proyecto y se proponen posibles líneas para trabajo futuro.

5.1. Conclusiones

- Se desarrollo la aplicación móvil +Berry la cual permite monitorear las variables del sistema hidropónico: Temperatua de ambiente, humedad del sustrato, pH y conductividad eléctrica. Se utilizó la base de datos en tiempo real Firebase para sincronizar y guardar la información.
- Con base a investigaciones realizadas en documentos paper, tesis y experiencias se delimitan los rangos de las variables de tal manera que se pueda obtener un cultivo exitoso.
- La aplicación se desarrollo en la plataforma Android Studio la cual es de código libre, ya que es compatible con un gran numero de plataformas y permiten que el código sea extensible a futuro. Además posee un gran numero de herramientas y librerías que facilitan el desarrollo de la estructura visual al usuario.

- Se concluye que la comunicación remota se desarrolló de manera efectiva. El sistema eléctrico-electrónico se seleccionó en base a criterios ponderados, se utilizó el microcontrolador ESP32, el cual posee entradas y salidas analógicas y digitales para la conexión de sensores. Es necesario señalar que existen sensores que utilizan módulos externos recomendados de fábrica para una mayor precisión en la toma de datos, es por ello que en este proyecto se usó el ADS1115. Así también se basó en la interfaz de programación API REST haciendo uso del protocolo HTTP tanto para el microcontrolador como para la aplicación móvil, de esta manera el SCADA realizado facilitó el proceso de monitoreo.
- Para el proceso de comunicación remoto se utilizó la plataforma Firebase como base de datos en tiempo real, la cual brinda funcionalidades como almacenamiento y lectura de datos. Para que la aplicación muestre los datos en pantalla fue necesario realizar el proceso de autenticación, de esta manera el usuario tiene permiso para monitorear invernadero. Por otra parte el uso de librerías facilitó el proceso de programación tanto para la aplicación como para el circuito eléctrico.
- Para someter al sistema telemático a pruebas reales se implementó un prototipo de invernadero hidropónico para cultivo de fresas, en el que se tomó datos en intervalos de tiempo prolongados para evitar que la base de datos almacene información repetitiva.
- Debido a la situación social y económica generada actualmente por la pandemia se seleccionaron materiales y componentes electrónicos económicos de fácil acceso, sin embargo a futuro puede ser mejorado para aumentar su rendimiento y funcionalidades.

5.2. Trabajo futuro

La aplicación móvil se diseñó con la finalidad de obtener los datos enviados por los sensores. A pesar de que se instaló un módulo relé para controlar actuadores, no existe métodos

de control automático para ninguna de las variables. Por lo que una de las mejoras importantes sería desarrollar un sistema de control automático para la regulación del ph, conductividad eléctrica, temperatura de ambiente y humedad en el sustrato haciendo uso de un microcomputador de tal manera que se mejore el rendimiento del sistema.

Además el sistema solo es funcional cuando este se encuentra conectado a internet, por lo que en caso de desconectarse la información generada en ese lapso se perderá, para ello se puede instalar una memoria local que permita guardar los datos mientras la conexión se restablece.

Bibliografía

- [1] J. Cruz, & H. Ortiz, "EVALUACIÓN DE CEBADA HIDROPÓNICA (*Hordeum Vulgare*), MAÍZ HIDROPÓNICO (*Zea Mays*), ALFALFA (*Medicago Sativa*) Y MEZCLA FORRAJERA EN LA ALIMENTACIÓN DE CUYES (*Cavia Porcellus*)". (2010). <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/180/3/03%20AGP%20102%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- [2] S. Ipiates, & Y. Pineda, "Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa dedicada a la producción y comercialización de tres variedades de lechuga hidropónica, en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura". 2016. Obtenido de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6440/1/02%20ICO%20586%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- [3] Melissa B. Riley, Margaret R. Williamson, & Otis Maloy, "Plant Disease Diagnosis". 2002. Obtenido de: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/casestudies/Pages/DiagnosticoEnfermedadesPlantas.aspx#:~:text=Dentro%20de%20los%20ejemplos%20podemos,desarrollo%20de%20frutos%20y%20flores.>
- [4] InfoAgro, "Problemas Fitosanitarios Más Comunes En Cultivos Hidropónicos", 2017. Obtenido de: <https://mexico.infoagro.com/>

problemas-fitosanitarios-mas-comunes-en-cultivos-hidroponicos/

- [5] El Comercio, "La frutilla es un cultivo rentable ". 2011. Obtenido de: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/frutilla-cultivo-rentable.html#:~:text=%E2%80%9CEs%20un%20cultivo%20rentable%E2%80%9D%2C,la%20venta%20de%20la%20cosecha.>
- [6] CORPEI, "Frutas Exóticas Ecuatorianas En Mercados Internacionales". 2019. Obtenido de: <https://corpei.org/2019/01/02/frutas-exoticas-ecuatorianas-en-mercados-internacionales/#:~:text=Adem%C3%A1s%20del%20banano%2C%20Ecuador%20registra,%20tomate%20de%20%C3%A1rbol%20guan%C3%Albana.>
- [7] SNP. Cotopaxi, "Tungurahua, Chimborazo y Pastaza ", 2015. Obtenido de: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-3.pdf>
- [8] FAO. La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. 2009. Obtenido de: https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- [9] APTA. Agricultura inteligente y sustentable. 2020. Obtenido de: https://hubapta.com/wp-content/uploads/2020/12/Informe-vigilancia-tecnol%C3%B3gica-APTA_Agricultura-inteligente-2016-a-2020.pdf
- [10] J. Pérez, L. López, & R. Romero, "AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADERO PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN EL SALVADOR". 2016. Obtenido de: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2843/1/>

Automatizaci%C3%B3n%20de%20Invernadero%20para%20Cultivos%
20Hidrop%C3%B3nicos%20en%20El%20Salvador.pdf

- [11] Agricultorers."Los smartphones son base en la agricultura del futuro ", 2019. Obtenido de: <https://agriculturerers.com/los-smartphones-son-base-en-la-agricultura-del-futuro/>
- [12] F. Ibadango," Eficiencia y rentabilidad del sistema hidropónico vertical frente al convencional en la producción de tres variedades de fresa (fragaria vesca l.), en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura ". 2017. Obtenido de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6405/1/03%20AGP%20211%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- [13] M. Lenscak and N. Iglesias," Invernaderos Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino ", 2019. Obtenido de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_invernaderos.pdf
- [14] J. Baquero, R. Meneses, L. Barrantes, P. Uglde, N. Villalobos, & D.Serrano, " Agrocadena de Fresa ", 2007. Obtenido de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9555.pdf>
- [15] K. Bedon, and A. Tovar, " IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO CON MONITOREO A TRAVÉS DE LA WEB PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE RIÑÓN VARIEDAD DANIELA BASADO EN LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA Y CONTROL DE RIEGO DE AGUA POR GOTEO EN EL INVERNADERO LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN GERARDO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA ", 2016. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12404/T-ESPEL-ENI-0373.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [16] R. Zaragoza, “ Evaluación de Técnicas Hidropónicas de Producción en el Cultivo de Fresa (Fragaria x ananassa) Bajo Invernadero ”, 2013. Obtenido de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis%20MAP%20Ramon%20Donovan%20Zaragoza%20Nieto%20Dic%2018%202013.pdf>
- [17] NOVAGRIC, “ Invernaderos para Cultivo de Fresas ”, 2016. Obtenido de: <https://www.novagric.com/es/invernaderos-fresas>
- [18] J. Beltrano, D. Gimenez, M. Ruscitti, A. Carbone, R. Andreau, A. Vasicek , B. Ronco, S. Martínez, & .M. Garbi, “ Cultivo en hidroponía ”, 2015. Obtenido de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [19] J. Salas, “ Sistema automático de dosificación de nutrientes para un cultivo hidrópónico de fresas”, 2021. Obtenido de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11455/2/04%20MEC%20373%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [20] INTAGRI, “ Sistemas Hidropónicos y Soluciones Nutritivas para Fresas ”, 2018. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/sistema-hidroponicos-soluciones-nutritivas-fresa>
- [21] INTAGRI, “ Solución Nutritiva y su Monitoreo Mediante Análisis Químico ”, 2017.
- [22] L. Barbaro, M. Karlanian, and D. Mata. “ Importancia del ph y conductividad eléctrica en sustrato para plantas ”, 2018. Obtenido de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_electrica_ce_en_los_sutratos_para_plantas.pdf

- [23] L. Pérez, R. Navarro, O. Castro, & Linarez, “ SELECCIÓN DE UN SUSTRATO PARA EL CRECIMIENTO DE FRESA EN HIDROPONÍA ”, 2005. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61028211.pdf>
- [24] A. Gordo, “ Desarrollo e implementación de un Invernadero automatizado con cultivo hidropónico y aplicación móvil para el seguimiento de datos ”, 2017. Obtenido de: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/68443/TFG%20Alvaro%20Domingo%20Gordo%20Ru%c3%adz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [25] D. Correa. “ IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO CON MICROCONTROLADOR ”, 2019. Obtenido de: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15144/1/CorreaDaniel_2019_ImplementacionAplicacionWeb.pdf
- [26] U. Trujillo, “ Tekax - Aplicación móvil para el control de cultivos hidropónicos utilizando IoT ”, 2020. Obtenido de: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/1466/1/Tesis-UzielTrujillo-tesis-v1.4.pdf>
- [27] L. Omar, J. Eizmendi, & J. Nieva, “ aHydro: Hidroponía automatizada ”, 2016. Obtenido de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/71678/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [28] P. Jahoda, “ PhilJay/MPAndroidChart ”, 2021. Obtenido de: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>
- [29] L. Vélez, “ Gestión de Bases de Datos - Versión 1.0 ”, 2021. Obtenido de: <https://readthedocs.org/projects/gestionbasesdatos/downloads/pdf/latest/>

- [30] UNADE, “ Qué es la gestión de base de datos”, 2019. Obtenido de: <https://unade.edu.mx/que-es-la-gestion-de-base-de-datos/#:~:text=Ahora%20bien%2C%20un%20gestor%20de,%2C%20an%C3%Allisis%2C%20almacenamiento%20y%20modificaci%C3%B3n>.
- [31] R. Ramírez, “ Métodos para el desarrollo de aplicaciones móviles”. Obtenido de: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Modulo_4\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_4).pdf)
- [32] Google, “ Firebase Authentication. Firebase ”, 2021. Obtenido de: <https://firebase.google.com/docs/auth?hl=es-419>
- [33] Academia Android, “ Android Studio v1.0: características y comparativa con Eclipse ”, 2014. Obtenido de: <https://academiaandroid.com/android-studio-v1-caracteristicas-comparativa-eclipse/>
- [34] A. Kagkini, “ Development of an Android Fitness App ”, 2017. Obtenido de: https://repository.ihu.edu.gr/xmlui/bitstream/handle/11544/29049/Kagkini_Thesis.pdf?sequence=1
- [35] ElectrónicosCALDAS, “ YL-69 ”, 2021. Obtenido de: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/OBSoil-01_ElecFreaks.pdf
- [36] Aosong Electronics, “ Digital-output relative humidity & temperature sensor/module AM2303 ”, 2021. Obtenido de: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf>

- [37] Unit Electronics, “ PH-4502C Sensor de PH Liquido con electrodo E201-BNC ”, 2021. Obtenido de: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-ph-liquido/>
- [38] DFROBOT, “ SKU:DFR0300 ”, 2021. Obtenido de: https://wiki.dfrobot.com/Analog_EC_Meter_SKU_DFR0300
- [39] tikurahul, “ airbnb/lottie-android ”, 2005. Obtenido de: <https://github.com/airbnb/lottie-android>
- [40] Espressif Systems, “ ESP32 datasheets ”, 2019. Obtenido de: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>
- [41] J. Rengifo, & C. and Betancourt, “ FRAMEWORKS Y HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES ORIENTADAS A DISPOSITIVOS MÓVILES ”, 2011. Obtenido de: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/7976b75a-0aee-4063-88bd-5605983302c2/content>
- [42] Texas Instrument, “ ADS1115 datasheets ”, 2009. Obtenido de: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/541218/TI1/ADS1115.html>
- [43] Raspberry Pi, ” PH-4502C pH Sensor Calibration and ADC using MCP3008, PCF8591, and ADS1115”, 2019. Obtenido de: <https://tlfong01.blog/2019/04/26/ph-4502c-ph-meter-calibration-notes/>
- [44] MAXIM, “ DS3231 datasheets ”, 2021. Obtenido de: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/112132/DALLAS/DS3231.html>

- [45] SONGLE RELAY, “ Módulos de relés ”, 2019. Obtenido de: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/moduloRele.pdf>
- [46] ca technologies, “ Una guía para el diseño de API y REST ”, 2015. Obtenido de: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-santa/inteligencia-de-negocio/ca-a-guide-to-rest-and-api-design/11918144>
- [47] S. Campoverde, “ Sistema Hidropónico Vertical de Flujo Laminar de Nutrientes Automatizado ”, 2021. Obtenido de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11476/2/04%20MEC%20375%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>