

Sistema de IoT para medición de variables ambientales

Hugo Andrés Pedroza Rodríguez

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Gestión y Consultoría en TIC

Director

Iván Javier Sánchez Galvis

Doctor en Ingeniería

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Gestión y Consultoría en TIC

2025

Dedicatoria

A mi hija Mariángel Pedroza Barrera y mi esposa María José Barrera Díaz

Agradecimientos

Extiendo mi más profundo agradecimiento a todo el equipo de docentes que hicieron parte del programa, al ingeniero Iván Javier Sánchez Galvis como director de este proyecto, a quienes hicieron parte de forma anónima a todos ellos mi más profundo reconocimiento y gratitud, al equipo de docentes por el ejercicio de tan valiosa labor, la enseñanza, a todos aquellos humildes campesinos por sus valiosos aportes, a Copetran, empresa donde actualmente me desempeño profesionalmente en el cargo de Jefe de Sistemas & telecomunicaciones por darme las herramientas, los mecanismos necesarios y la confianza para aplicar los conocimientos adquiridos durante mi etapa de formación, a mi esposa por su apoyo, amor y lealtad, a mi hija y a mis padres Rosendo y Delia Pedroza q.e.p.d.

Contenido

Introducción	14
1. Generalidades	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.1.1. Delimitación del problema	18
1.1.2. Formulación del problema	18
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
2. Marco referencial	21
2.1 Marco teórico	21
2.2 Marco conceptual	23
2.2.1. Sistemas IoT	23
2.2.2. Arquitectura IoT	24
2.2.3. Capa de sensores actuadores	25
2.2.4. Capa de red	26
2.2.5. Capa de procesamiento de datos	26
2.2.6. Capa de aplicación	27
2.2.7. Sensores	27
2.2.8. Actuadores	31
2.2.9. PLC IoT	33
2.2.10 API	35
2.2.11 Firewall	36

2.2.12 Servidores	36
2.2.13 Raspberry PI	40
2.2.14 Cultivo Limón Tahití.....	41
2.3 Marco legal.....	42
3. Método	42
3.1. Tipo de estudio	42
3.2 Fuentes de información	43
3.3. Diseño metodológico.....	43
3.3.1. Análisis e investigación	44
3.3.2 Diseño y estructuración	45
3.3.3 Desarrollo e implementación.....	46
3.3.4. Pruebas y validación.....	47
4. Resultados.....	48
4.1. Análisis e investigación.....	48
4.1.1. Recopilación de información de cultivos de limón Tahití.....	48
4.1.2. Clasificación de variables e investigación de tomas de muestras	51
4.1.3. Definición de requisitos.....	55
4.2. Diseño y estructuración.....	58
4.2.1. Arquitectura de lazos de control.....	58
4.2.2. Diseño de plano instrumental	59
4.2.3. Diseño de flujo del sistema.....	60
4.2.4. Diseño electrónico	62
4.2.5. Diseño estructural	62

4.3. Desarrollo e implementación	63
4.3.1. Construcción estructural	63
4.3.2. Desarrollo programación para carga de datos sistema IoT.....	64
4.3.3. Programación del controlador adecuando las variables al sistema.....	65
4.3.4. Establecimiento de comunicación	67
4.4. Pruebas y validación.....	68
4.4.1. Pruebas del componente del sistema	68
5. Conclusiones.....	70
Referencias.....	72
Apéndices.....	78

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Tipos de sensores</i>	27
Tabla 3. <i>Categoría PLC IoT</i>	34
Tabla 4. <i>Tipos de servidores</i>	37
Tabla 5. <i>Rangos establecidos por variables para el cultivo de limón Tahití</i>	55
Tabla 6. <i>Recopilación de sensores de Humedad Relativa y Temperatura</i>	55
Tabla 7. <i>Selección sensor humedad y temperatura</i>	56
Tabla 8. <i>Recopilación de sensor intensidad lumínica</i>	57
Tabla 9. <i>Característica Raspberry Pi 3</i>	57

Lista de figuras

Figura 2. <i>Sensor de humedad</i>	29
Figura 3. <i>Sensor de temperatura</i>	29
Figura 4. <i>Sensor de proximidad</i>	30
Figura 5. <i>Sensor de intensidad lumínica</i>	30
Figura 6. <i>Actuador hidráulico</i>	32
Figura 7. <i>Actuadores neumáticos</i>	32
Figura 8. <i>Actuador eléctrico</i>	33
Figura 9. <i>Red PLC IoT</i>	35
Figura 10. <i>API REST</i>	35
Figura 11. <i>Firewall</i>	36
Figura 12. <i>Equipo servidor</i>	37
Figura 13. <i>Raspberry Pi</i>	41
Figura 14. <i>Limón Tahití</i>	41
Figura 15. <i>Etapas del proceso metodológico</i>	44
Figura 16. <i>Necesidades nutricionales Limón Tahití #1</i>	51
Figura 17. <i>Necesidades nutricionales Limón Tahití #2</i>	51
Figura 18. <i>Medidas descriptivas de contenido de nutrientes en tejido foliar tomadas del cultivo de lima Tahití en siete municipios</i>	52
Figura 19. <i>Balanceo de la base del suelo para aplica CA, Mg y K</i>	52
Figura 20. <i>Cantidad para fertilizar el suelo</i>	53
Figura 21. <i>Cantidad de nutriente elemental que debe aplicarse</i>	54
Figura 22. <i>Arquitectura de lazos de control y periféricos del sistema</i>	59

Figura 23. <i>Plano instrumental</i>	59
Figura 24. <i>Secuencia proceso del sistema IoT</i>	61
Figura 25. <i>Conexión pines, diagrama electrónico</i>	62
Figura 26. <i>Carcasa protección raspberry pi</i>	63
Figura 27. <i>Construcción caja estructural protección</i>	63
Figura 28. <i>Programación cargo datos al sistema</i>	64
Figura 29. <i>Programación sensor temperatura</i>	65
Figura 30. <i>Programación sensor humedad</i>	66
Figura 31. <i>Tramas sensor humedad</i>	66
Figura 32. <i>Programación sensor intensidad lumínica</i>	67
Figura 33. <i>Establecimiento de comunicación con el controlador</i>	68
Figura 34. <i>Comportamiento ambiental</i>	69
Figura 35. <i>Comportamiento climático en la zona de cultivo</i>	69
Figura 36. <i>Gestión de riegos aplicados al cultivo</i>	70

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Manual de usuario del sistema</i>	78
---	----

Resumen

En la actualidad y a causa del efecto que está dejando el cambio climático el cual afecta el planeta se considera necesario hallar medios mediante la agricultura que nos permita tener precisión que nos garantice una producción sostenible de alimentos que es el recurso de vida más vital del ser humano como lo es el agua. Es por tal razón, que se implementa y desarrolla un sistema IoT para la medición de variables que mediante un sistema y componentes de control enlazados al cultivo de limón Tahití, permite mediante la interfaz desarrollada la visualización de ciertas variables en tiempo real que miden y controlan mediante la automatización el sistema, el cual permite llegar y enlazar todos estos componentes en donde nos da la certeza de aumentar la efectividad por medio de los datos arrojados la producción del cultivo de limón Tahití.

Palabras clave: agricultura, automatización, sistemas de control, IoT

Abstract

Currently, and due to the effect that climate change is having on the planet, it is considered necessary to find means through agriculture that allow us to have precision that guarantees sustainable food production, which is the most vital life resource for human beings. as is water. It is for this reason that an IoT system is implemented and developed for the measurement of variables that, through a system and control components linked to the cultivation of Tahiti lemon, allows, through the developed interface, the visualization of certain variables in real time that measure and They control the system through automation, which allows us to reach and link all these components where it gives us the certainty of increasing the effectiveness through the data provided by the production of the Tahiti lemon crop.

Keywords: agriculture, automation, control systems, IoT

Glosario

Actuador: hace parte de un dispositivo o maquina el cual le ayuda a realizar movimientos físicos convirtiendo energía, neumática o eléctrica en energía mecánica, es decir es el componente que permite darle movimiento a cualquier máquina. (Progressive Automations, 2024)

Automatización: es la aplicación de distintas tecnologías, programas, robóticas o procesos para lograr resultados con una intervención humana mínima. (IBM, 2023)

Firewall: es un sistema de seguridad de red de las computadoras que restringe el tráfico de internet entrante, saliente o dentro de una red privada. (Kaspersky, 2019)

Humedad: es una propiedad que puede describir el contenido de vapor de agua presente en un gas, pudiéndolo expresar en términos de distintas magnitudes, donde algunas pueden medirse directamente y otras se pueden calcular a través de magnitudes (Martinez, 2007)

IoT: interconexión digital de dispositivos y objetos, a través de una red pública o privada (España, 2021)

PLC: es ideal para automatizar procesos en diversas áreas, son capaces de simplificar operaciones complejas, aumentar la eficiencia en los procesos y mejorar la seguridad en lo industrial (Garcia, 2022)

Sensor: dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. (Maloy, 2023).

Introducción

Desde hace mucho tiempo, ha existido la necesidad por parte de los cultivadores de analizar y gestionar la información obtenida en la práctica de los cultivos. Para lograrlo, se inicia una investigación en un sistema de medición de variables con técnicas de IOT, herramienta útil en el análisis de factores ambientales para considerar en la aplicación de procedimientos automatizados, una alternativa importante para los sistemas ligados a circuitos, algoritmos de análisis y aplicaciones de IOT.

Pero para todo esto no hay que dejar de pasar por alto el tipo de cultivo en el cual nos basaremos para la implementación del sistema IoT, los cultivos de limón Tahití hacen parte de un conjunto de técnicas las cuales permiten a las plantas adaptarse a un medio libre del suelo, es decir que permite que en estructuras simples o complejas se puedan manejar este tipo de cultivo: suelos con poca fertilidad, invernaderos climatizados, etc. Pero dado el alto impacto que tienen esta clase de cultivos en las zonas urbanas y rurales, se han familiarizado con el uso de las tecnologías de la automatización y control e incluso de energías renovables las cuales permiten al sujeto que manipula este tipo de cultivos escalar a una relación más eficaz dependiente de los cultivos como lo son, el tratado de la temperatura, riego, nivel pH, oxígeno disuelto y minerales que hacen posible su eficiente productividad. Siendo así, según (Nuevas tendencias de los cultivos, 2000) “que los países como México, Colombia, Perú, Marruecos, China, España entre otros son pioneros, fueron amigables con estos tipos de tecnologías que ha tenido un crecimiento e impacto o anual compuesto por 6.5% entre 2013 y 2018 de alimentos producidos por esta técnica”.

El internet ofrece beneficios significativos en el monitoreo en tiempo real y oportunidad de intercambiar datos útiles para optimizar el uso de recursos, mejorar en calidad del producto, reducir costos y responsabilidad ambiental. Por eso surge esta necesidad de automatizar un sector

a través de un sistema de control de variables con técnicas de IOT en diferentes áreas del sembrío que poseen sensores que interactúan con un microcontrolador para la toma de decisiones en la aplicación si surge la necesidad.

Dentro del documento se podrá visualizar diferentes factores que describen el proceso de desarrollo y la implementación del sistema IoT para el monitoreo y control de variables ambientales para el cultivo de Limón Tahití. Podrá detallar el inicio de una investigación detallada de cada uno de los componentes que hacen parte de las etapas tenidas en cuenta en la metodología para el desarrollo del mismo, posterior a esto se trabajó en el bosquejo de cada estructura que se enlazara con el diseño e implementación de las variables y sistema de control junto con el desarrollo del sistema IoT que es el que nos permitirá visualizar los datos enviados mediante las señales de los sensores seleccionados, en donde al construir todo esto, se realiza las validaciones y pruebas necesarias para culminar con éxito y exactitud lo que se quiere mostrar.

En este proyecto se diseñó e implementó un sistema de medición de variables con técnicas de IoT y análisis de datos para manipular de forma más segura mediante un aplicativo que envía órdenes a un microcontrolador que permite acceder a los movimientos enviados al cultivo y nos arroja datos en tiempo real.

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente muchos cultivos presentan anomalías en el agro y, sobre todo, cuando de alguna forma no existe un buen control en donde áreas de difícil acceso no permitan tener claridad de las variables que puedan arrojar los cultivos. Por esta razón, la falta de mecanismos de ayuda para el análisis de datos, medición de variables, integración con otras fuentes de información y gestión de recursos, hacen que la productividad; al no alertar posibles fallas de los cultivos no se haga una solución de manera rápida y efectiva.

En la actualidad las distintas técnicas utilizadas para el uso de cultivos en tierras que requieren de una alta productividad por parte de agricultores, campesinos, familias que al diario viven y se sustentan de esto, lleva consigo a grandes pérdidas debido a las condiciones climatológicas, las plagas y la poca sanidad en los mismos, hace de estos cultivos los más vulnerables. Por otro parte, la erosión de la tierra por la actividad humana, y la escasez del agua hacen de esto otro factor del cual muchos cultivos tiendan a no ser productivos.

Algunos cultivos del municipio de Aratoca que es donde se realizaran las pruebas del sistema están muy afectados, ya que hay muchos terrenos con malas prácticas en la aplicación del control del monitoreo de las actividades que permiten la productividad del mismo, hallándose en un problema, ya que estas causas pueden traer consecuencias para los cultivos como la escasez del agua y la contaminación, porque debe haber un riego eficiente; y la no alerta de las variables que implican que un cultivo de Limón Tahití sea productivo y eficiente no da el tiempo de concebirlo humanamente para poseer la calidad y protección del mismo.

El municipio de Aratoca limita con corregimientos, veredas, pueblos, municipios y departamentos, que hace parte de esta gran problemática, ya que personas aledañas a estos lugares trabajan con cultivos de diferentes tipos de productos, por lo que muchos de estos trabajadores buscan la forma más sencilla de regar a los cultivos, y de que el ojo humano perciba posibles afectaciones, esto forja todas las causas que se han ido desglosando anteriormente, por lo que estas personas no tienen en cuenta los factores que pueden llegar a presentar si una persona no realiza el debido proceso de forma inmediata. Por eso, estas técnicas se adaptan con exactitud y seguridad a cualquier sistema, ya que los elementos que implican el desarrollo de este proyecto, como los sensores, la aplicación de control y el sistema de IoT, pretenden controlar y mitigar posibles afectaciones. De este modo se reflejan estudios implementados referentes a esta ciencia como lo es la automatización y control, los cuales abarcan infinitas metodologías y procesos al proponer un sistema IoT.

En el estudio de diferentes sistemas basados en estas técnicas, hay varios proyectos implementados capaces de controlar riegos y captación de variables de forma segura mediante programas vinculados con funciones por medios electrónicos y automatizados capaces de autorizar parámetros directamente desde cualquier aplicación “Siendo así que la Universidad de Valladolid implementa un sistema para elaborar un plan de mejora en una explotación agrícola, que se fundamentó en la modernización y mejora de la eficiencia del riego de una finca agrícola”, (2017). De este modo, la automatización y control sujeta a los sistemas de IoT realizando un control para las pruebas de calidad que se realizan al registrar las diferentes necesidades que se puedan presentar, para así tener gran alcance a la manipulación e identificación correcta para la disminución de percances que se puedan generar. De esta manera este proyecto que se desea implementar se esboza con la problemática mencionada anteriormente y que hace parte principal

del uso de las técnicas de automatización y control con sistemas IoT, con el objetivo de implementarlo en un cultivo de limón Tahití en el Municipio de Aratoca vereda San Pedro finca El Taray.

1.1.1. Delimitación del problema

La irrigación de un terreno agrícola de 4 hectáreas (sembrío de limón Tahití) ubicado en el municipio de Aratoca vereda San Pedro llamado “El Taray”, que se hará a partir de la implementación de un sistema de IoT para medición de variables ambientales.

1.1.2. Formulación del problema

Basándonos en lo mencionado anteriormente se encuentra como consecuencia tener pérdidas y una producción poco eficiente, que en definitiva permite plantear la siguiente pregunta problema:

¿Cómo desarrollar un prototipo escalable basado en IoT que permita monitorear y controlar variables para un cultivo de limón Tahití en ausencia de personal del cuidado de estas?

1.2 Justificación

Dentro del mercado se encuentra una infinidad de sistemas que pueden solventar problemas relacionados con cultivos agroindustriales, los cuales ofrecen y aporten en su portafolio una medición de variable su almacenamiento de datos en un aplicativo mediante la nube, permitiendo visualizar que puede llegar hacerse en caso de tomar decisiones ya sean manuales o automáticas.

Debido al alto índice de anomalías que se presentan en el agro y cuando no existe un buen control dentro de un terreno por falta de un buen sistema automatizado que sobre guarde el

sembrío, es razonable exponer el contratiempo que pueden sufrir estos cultivos dentro de cierta zona a la hora de controlar adecuadamente los componentes variables, debido a esto se realiza un diseño e implementación de un sistema IoT con técnica de automatización y control, el cual plantea la inspección y control de verificado de variables ambientales por el usuario que automáticamente sea programado por este, para que nos arroje datos o alertas que deseemos saber, sin necesidad de dirigirse hacia la zona, teniendo como objetivo manipular una aplicación que controle el sistema con los elementos que hagan parte de este, para de esta manera el control que se desea obtener permita vigilar desde cualquier lugar y mandar una señal u orden al sistema implementado.

En la actualidad con la diversidad que nos ofrece las nuevas tecnologías existen distintos tipos de mecanismos que utilizan las empresas para un sistema IoT en cultivos, entre estos modelos se encuentra el sistema por precisión que consiste en distribuir nuevas tecnologías basadas en recopilación y análisis de datos para optimizar la gestión de cultivos, estos datos registrados se utilizan para conocer la situación de los cultivos y mejorar las prácticas agrícolas (Roman, 2022)

Sin embargo, siendo estos sistemas asequibles a cualquier cultivo, es posible que sean efectivos al momento de querer tener un control confiable, ya que han sido implementados en diferentes cultivos al momento de controlar algunas variables ambientales. Si se implementa un control automatizado con sistema IoT se pueden controlar múltiples factores como los mencionados anteriormente ya que, de esta forma, el agricultor o campesino sabe si el cultivo está en alerta de riesgo o tiene una muy buena productividad en cualquier tipo de horario, esto con el fin de obtener eficiencia, lo que posibilita el control correcto en un cultivo como lo es el limón Tahití, en este caso en el municipio de Aratoca vereda San Pedro finca “El Taray”.

Debido de que hay mecanismos que no son efectivos en la actualidad, se desea dar a conocer e implementar los avances que trae la ciencia de la automatización que tiene como gran

técnica controlar esta problemática como lo son los sistemas IoT. De esta forma esta tecnología desea dejar un gran impacto en la sociedad, mostrando a través de este proyecto un avance de las ventajas que puede ofrecer este tipo de mecanismos.

Los resultados serán expuestos y llevados a cabo en el municipio de Aratoca vereda San Pedro finca “El Taray” que desea obtener el control con un sistema IoT para dar solución definitiva al control que se quiere llevar a cabo, en este caso controlar un terreno con sembrío mediante un sistema IoT con técnicas de automatización y control mediante variables ambientales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollo de un sistema de IoT para el monitoreo de variables ambientales en un cultivo de limón Tahití en Aratoca Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un estudio e investigación con cada uno de los componentes que nos permitirá adaptar cada condición y funcionalidad al manejo del sistema IoT.

Implementar los diagramas necesarios para la construcción del sistema de control y el sistema IoT.

Desarrollar una interfaz de usuario intuitiva que permita a los agricultores acceder fácilmente a los datos del monitoreo ambiental, visualizar tendencias y tomar decisiones informadas para el manejo del cultivo.

Validar el sistema IoT mediante pruebas piloto en el cultivo de limón Tahití en Aratoca, Santander, asegurando su efectividad y fiabilidad en el monitoreo ambiental.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

La agricultura de precisión presume una gran ventaja en la producción de cultivos hidrópicos, permitiendo analizar los métodos de producción implementados para evaluar y alertar sobre falencias de métodos que den mejora mediante variables ambientales en diferentes ámbitos de la agricultura, como lo son la cantidad de producción, el tiempo de realización y cantidad de este.

Dentro de la industria existen una gran variedad de sistemas que dan solución a problemas de monitoreos por eso de sistemas de precisión para cultivos, entre los cuales podemos destacar: El artículo internacional titulado “*Agro-sense: Precision Agriculture using sensor-based Wireless mesh networks*”, de la conferencia realizada en Geneva, Switzerland – “*Innovations in NGN: Future Network and Services*”, presentada por: D. Anurag; Siuli Roy; Somprakash Bandyopadhyay (13 Junio 2008), presenta una solución la cual emplea el estándar IEEE 802.15.4 en cual se enlaza con la tecnología LR-WPAN para empalmar una WSN, este prototipo parte del diseño de nodo-sensores que conectan a un sensor analógico a un microcontrolador en una unidad RF, con el fin de emitir la señal para luego enviarla a un repositorio. Los nodos RF se ocupan de cumplir tres roles fundamentales: (Gateway RFID activo, tags RFID con sensores/actuadores, router RFID activo). Las conexiones entre estos nodos efectúan una topología de árbol y plantean un esquema de direccionamiento estático en el que en enrutador se sostiene en su mejor eficiencia. Es decir, el umbral excitado, hace que el sistema genera alertar en la consola que muestra una toma de decisiones, ya que acciona sus actuadores. Este tipo de sistema se adapta fácilmente a aplicaciones de cultivos agroindustriales, pero el acceso es limitante a una estación remota, por lo

que debería incorporarse en la nube. Por lo cual, cada nodo únicamente cuenta con un sensor, lo cual aumenta las dificultades en la red. (Anurag, 2008)

Por otro lado, el artículo nacional titulado “*An IoT-Based Traceability System for Greenhouse Seedling Crops*” de la Universidad del Cauca, Popayán, elaborado por: G. Carlos, C. Juan, M. Miguel, G. Ángela, H. Ahmed, N. Arunkumar y G. Gustavo (2018), este artículo nos describe el sistema conformado por una Raspberry Pi 3, la cual emite una comunicación vía wi-fi con un punto de acceso. Este prototipo realiza el uso de actuadores y sensores bajo el sistema IoT basado en: (ventiladores, paneles de LED y fotoceldas), los cuales son proporcionados en un invernadero para conformar el mismo. Es importante recalcar que los actuadores funcionan de manera automática y que su interfaz de usuario está únicamente para acceder a los datos. Sin embargo, las capacidades que nos ofrece este tipo de solución de sistema se centran únicamente en el cuidado que hay que tener al invernadero, por el programa desarrollado para el manejo y control de variables que son funcionales para casos específicos, lo cual limita la flexibilidad del sistema. (Gonzalez, et ál., 2018)

Por último, la tesis de grado local, titulada “Solución tecnológica basada en tecnologías IoT para el monitoreo del clima en Bucaramanga”, de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, elaborada por: S. Omar, R. Cesar y V. Nodier (2020), nos muestra como a través de un prototipo funcional con sistema IoT se puede realizar el monitoreo del comportamiento del clima teniendo en cuenta sus variables ambientales, en donde su muestreo se basará en diferentes estaciones de servicios en las cuales sus variaciones metodológicas nos pueden arrojar datos distintos dentro de una misma ciudad, teniendo en cuenta que Colombia posee un campo de meteorología e hidrología de alto impacto debido a la riqueza natural que este posee. Este tipo de sistemas IoT se aplican y acomodan para satisfacer las necesidades de los ciudadanos en varios escenarios, ya que la

veracidad de los datos obtenidos en diferentes intervalos de tiempo brindar información accesible y oportuna. (Silva, et ál., 2020)

Para culminar con el análisis del estado del arte, se puede comprobar a través de estas investigaciones que hay soluciones presentes actualmente en el mercado carecen de un bajo costo, y son flexibles, proporcionando por medio del uso de la nube o por medio de una arquitectura que permita el uso de los sistemas en diferentes campos de aplicación IoT en procesos de cultivos agroindustriales.

2.2 Marco conceptual

2.2.1. Sistemas IoT

La Red de las Cosas (IoT) es una red física de objetos conectados que facilita el intercambio de información entre estos. (Espinal, 2015, p. 21)

Respecto a la administración de los dispositivos que conforman la Arquitectura de la Red de las Cosas, surge el desafío de que no todos los dispositivos tienen el mismo protocolo de comunicación ni el mismo sistema operativo. Por lo tanto, se debe llevar a cabo e implementar de forma específica, en función del dispositivo en cuestión y la forma en que se desee recopilar y/o usar la información que se desea obtener de él y/o usar. (Espinal, 2015)

En el contexto tecnológico, se detallará la administración de IoT, los precedentes en la administración de recursos y la descripción de los componentes del sistema de ensamblaje. (Espinal, 2015)

2.2.1.1. Gestión IoT. Las habilidades de administración de IoT pueden dividirse en capacidades generales y capacidades particulares.

Las siguientes son las capacidades de administración genéricas en IoT: (Espinal, 2015)

- Gestión de dispositivos, tales como la activación y desactivación de aparatos remotos, diagnóstico, actualización del firmware y/o del software, y gestión del estado del aparato.
- Gestión de la estructura de red local.
- Gestión del tráfico y la congestión, además de identificar las condiciones de saturación en la red y aplicar las reservas de recursos para los flujos de datos esenciales para el funcionamiento de la red o urgencias.

Las habilidades de administración particulares están vinculadas a los requerimientos particulares de la aplicación, como, por ejemplo, las necesidades de control de la línea de transmisión a través de la red de suministro eléctrico inteligente. (Espinal, 2015).

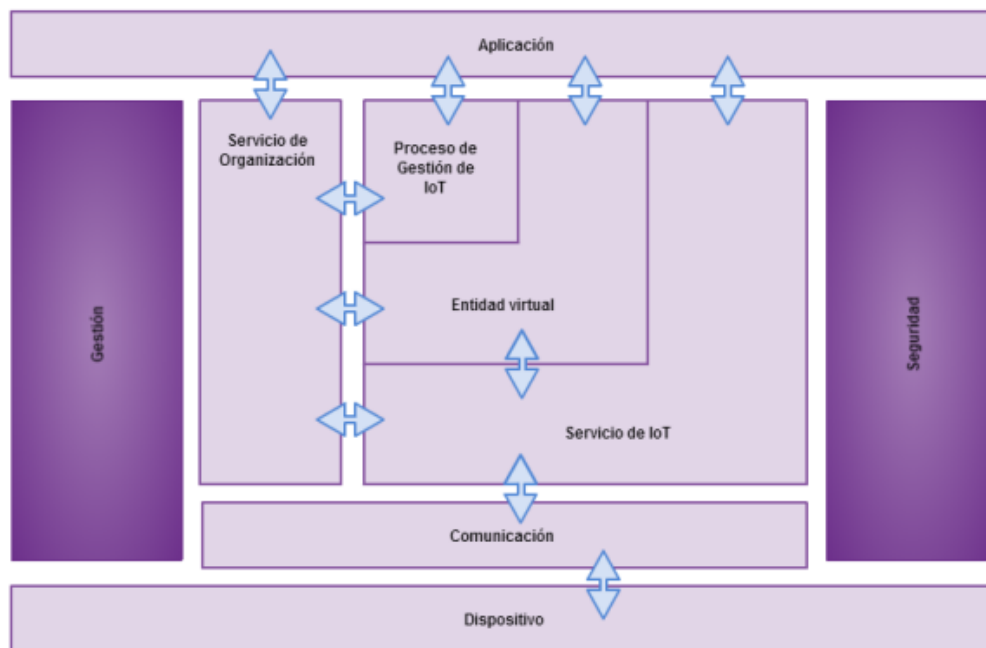
2.2.2. Arquitectura IoT

En IoT, es imprescindible la administración e interacción entre los grupos de funcionalidad que conforman el esquema del modelo funcional de IoT. Los componentes funcionales del modelo de IoT son: (Espinal, 2015)

- Proceso de Gestión de IoT: alude a la conexión conceptual entre los procesos de sistemas de administración y la arquitectura de IOT.
- Servicio de Organización: desempeña el papel de un núcleo de comunicación entre otros equipos de trabajo.
- Entidad Virtual y Servicio de IoT: hacen alusión a las interacciones en estos conglomerados funcionales a un grado de abstracción.
- Comunicación: oculta la diversidad de patrones de interacción que surgen de las numerosas tecnologías de dispositivos que forman parte de los sistemas de IoT y ofrece una interfaz uniforme para el Servicio de IoT.

- Administración: fusiona todas las características requeridas para sincronizar un sistema de IoT.
- Seguridad: tiene la tarea de asegurar la protección y privacidad de los sistemas de IoT.

Figura 1. *Modelo funcional IoT*



Tomado de (Espinal, 2015)

2.2.3. Capa de sensores actuadores

Esta capa de la arquitectura se encarga de la integración con los dispositivos a supervisar o manejar. Estos sistemas pueden ser reconocidos de forma singular, cada objeto posee una identidad digital. Este método se conoce como identificador único universal UUID en inglés, que es un número de 128 bits empleado para identificar de manera única algún objeto o entidad en la red. (Omkar, et ál, 2007)

2.2.4. Capa de red

Esta capa es la infraestructura que facilita la administración de las conexiones inalámbricas o por cable entre dispositivos para compartir información con estos vinculadas, lo que resulta esencial para la administración y el manejo de eventos inteligentes para IoT. (Omkar, et ál, 2007)

El propósito de esta capa es rastrear automáticamente las cosas a través del UUID, y asignar los roles para poner en marcha, gestionar y programar la conducta de las asignarle los roles para regular, gestionar y programar el comportamiento de las asignar los roles para programar el comportamiento de las cosas y deben tener la posibilidad de cambiar a cualquier posición en cualquier instante según se requiera. Esto posibilita que los aparatos ejecuten funciones de manera colaborativa y automática. (Omkar, et ál, 2007)

2.2.5. Capa de procesamiento de datos

Esta capa implica la creación y gestión de los recursos servicios que los usuarios o las aplicaciones necesitan, se compone de un conjunto mínimo de estos servicios de aplicaciones, interfaces de programación para aplicaciones (API) y protocolos que permiten la implementación de aplicaciones aceptan las aplicaciones y servicios necesarios. Todas las acciones dirigidas al objetivo de servicio, tales como el intercambio y almacenaje de datos, la administración de datos, los servicios de almacenamiento de datos. En esta capa se llevan a cabo los procesos de búsqueda y comunicación. (Omkar, et ál, 2007)

2.2.6. Capa de aplicación

Esta capa implica determinar los métodos de interacción con ellos aplicaciones o usuarios, intenta solucionar el problema de compatibilidad entre las cosas para su interacción, esto conlleva la transferencia de datos, la comunicación y el intercambio de información, gestión de sucesos.

Hay una enorme demanda de un sistema de interfaz eficiente para facilitar la administración y la interrelación de las cosas, esta capa proporciona una interfaz de aplicación (API) para que el usuario pueda gestionar el sistema considerando su interconexión. La experiencia con el sistema sea la más satisfactoria. (Omkar, et ál, 2007)

2.2.7. Sensores

Los sensores son transductores (transfiere una clase de energía a otra) que registran ciertos niveles de energía tipo de energía, o en términos sencillos, un detector que detecta la energía transforma en corriente eléctrica que es recogida por las máquinas de control. Esta es la información es empleada por los operadores lógicos o puede ser examinada por un humano.

2.2.7.1 Tipos de sensores. Algunos tipos de sensores que podemos encontrar son los siguientes:

Tabla 1. *Tipos de sensores*

Magnitud	Transductor	Características
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
	Sensor Hall	Digital
Desplazamiento y deformación	Formador diferencial de variación	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magnetostrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
Velocidad angular y lineal	LVDT	Analógica
	Dinamo tacometrica	Analógica
	Enconder	Digital

Magnitud	Transductor	Características
	Detector inductivo	Digital
	Servo inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica
	Giriscopo	
Aceleración	Acelerómetro	Analógica
	Servo acelerómetro	
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógica
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
	Termopar	Analógica
Temperatura	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal Termostato	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O Analógicos
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógicos
Visión artificial	Cámara de video	Procesamiento digital
	Cámara CCD o CMOS	Procesamiento digital
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	Analógica
	Sensor capacitivo	Analógica
	Sensor inductivo	A/D
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
Sensor acústico	Micrófono	
Sensor de acidez	IsFET	
Sensores de luz	Fotodiodo	
	Fotorresistencia	
	Fototransistor	
Sensores captura de movimientos	Célula fotoeléctrica	
	Sensores inerciales	

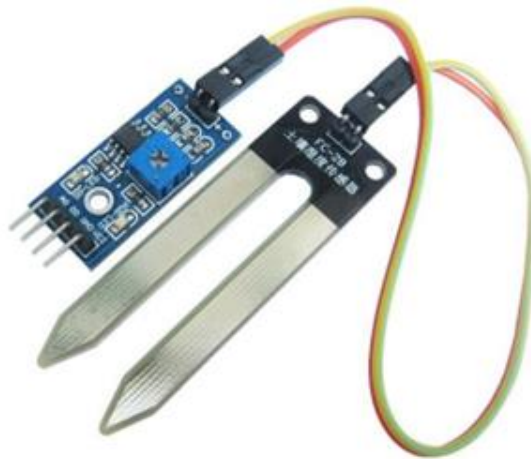
Tomado de (Lopez y Rodriguez, 2012)

A continuación, encontraremos las definiciones de los sensores que se utilizaron dentro del desarrollo del proyecto:

- Sensor de humedad: Un sensor de humedad es un aparato electrónico creado para cuantificar y medir la cantidad de humedad en el ambiente alrededor.

Su tarea principal consiste en identificar la existencia de vapor de agua en el aire o en un material específico, ofreciendo datos útiles acerca de las condiciones del medio ambiente. (SDI, 2023)

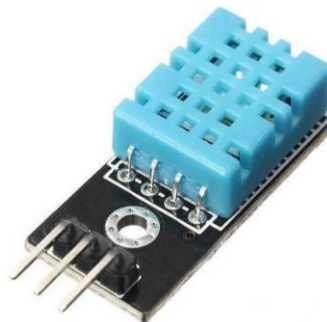
Figura 1. *Sensor de humedad*



Tomado de (SDI, 2023)

- Sensor de temperatura: Los sensores de temperatura son aparatos fundamentales para la climatización de interiores, tanto en hogares, como en oficinas u otros lugares. Su tarea principal consiste en registrar la temperatura del aire o del agua, ofreciendo información exacta para preservar un entorno cómodo y eficaz. Estos aparatos también se denominan sondas térmicas. (Soler, 2024)

Figura 2. *Sensor de temperatura*



Tomado de (Soler, 2024)

- Sensor de proximidad: Las variedades de sensores de proximidad incluyen magnéticos, capacitivos, inductivos y ópticos. Algunos son eficaces para identificar únicamente metales ferrosos, mientras que otros son capaces de identificar cualquier tipo de metal, y otros son capaces de identificar cualquier tipo de objeto e incluso personas. (Adeca, 2023)

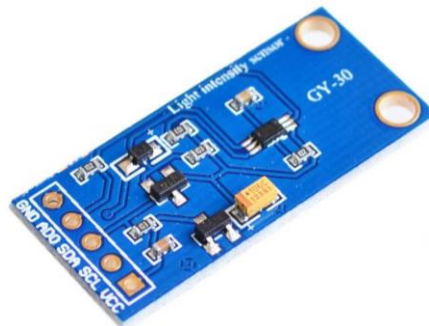
Figura 3. *Sensor de proximidad*



Tomado de (Adeca, 2023)

- Sensor intensidad lumínica solar: Un sensor de luz es un aparato que facilita la determinación del nivel de iluminación de un ambiente específico. Los sensores de luminosidad generalmente están vinculados a otros aparatos, los cuales reciben datos sobre la luminosidad ambiental observada y, basándose en dichos datos, operan de una manera u otra. (Inside, 2021)

Figura 4. *Sensor de intensidad lumínica*



Tomado de (Inside, 2021)

2.2.8. Actuadores

Son aparatos que pueden producir una fuerza mediante el uso de líquidos o energía eléctrica y con gas. La orden de un regulador o controlador es recibida por el actuador y proporciona una salida necesaria para poner en marcha a un elemento de control final, como las válvulas.

Hay tres clases de actuadores:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

2.2.8.1. Tipos de actuadores. Existen los siguientes tipos de actuadores:

Actuadores hidráulicos: en los actuadores hidráulicos, la energía proviene de un fluido, usualmente de alguna clase de mineral. Los cilindros hidráulicos sobresalen entre los actuadores hidráulicos motores hidráulicos de efecto simple o doble, motores hidráulicos con paletas rotatorias o pistones axiales, y las válvulas electrohidráulicas y de flujo continuo. Los actuadores hidráulicos ofrecen las siguientes características: (Lopez & Rodriguez, 2012)

- Características de que son veloces, poseen una relación elevada de potencia/peso, son auto-lubricantes
- Poseen una gran capacidad de carga y muestran estabilidad ante cargas invariables.
- Requieren instalaciones especiales, requieren un mantenimiento complicado y son poco económicos.

Figura 5. *Actuador hidráulico*

Tomado de (Lopez y Rodriguez, 2012)

- *Actuadores neumáticos:* en los actuadores neumáticos, el aire se utiliza como fuente de energía. Dentro de esta clase de los actuadores resaltan los cilindros neumáticos, que pueden ser de efecto simple o doble, los motores neumáticos, compuestos por pistones axiales o paletas rotatorias, y las válvulas y electroneumáticas. Los actuadores neumáticos ofrecen los beneficios de ser económicos, rápidos y muy robustos; sin embargo, necesitan de instalaciones; sin embargo, necesitan de instalaciones especiales, resultan muy ruidosos y complicados de manejar. (Lopez y Rodriguez, 2012).

Figura 6. *Actuadores neumáticos*

Tomado de (Lopez & Rodriguez, 2012)

- *Actuadores eléctricos:* en los dispositivos eléctricos, la energía proviene de la electricidad. Existen tres grandes grupos actuadores eléctricos conjuntos: los motores de corriente continua, gestionados por grupos de control eléctrico inducidos o regulados por excitación, los motores de corriente alternan (síncronos) y los motores de corriente alterna (alternadores) y los motores paso a paso, siendo los motores de imanes los más sobresalientes, permanentes o híbridos de inductancia variable. Los actuadores eléctricos son de gran popularidad son exactos y confiables, son silenciosos, su manejo es sencillo y su instalación es sencilla. (Lopez y Rodriguez, 2012)

Figura 7. *Actuador eléctrico*



Tomado de (Lopez y Rodriguez, 2012)

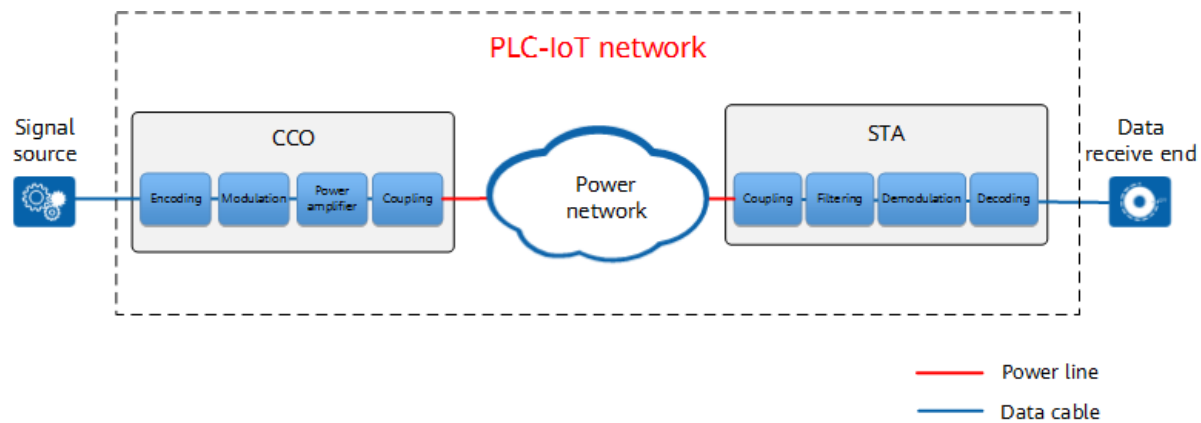
2.2.9. PLC IoT

La tecnología de comunicación por línea eléctrica (PLC-IoT) es una tecnología de PLC de banda media, compatible con HPLC/IEEE 1901.1, desarrollada para contextos industriales de IoT, con el objetivo de enviar datos mediante líneas eléctricas en redes de bajo voltaje. PLC-IoT prescinde de la necesidad de establecer líneas de comunicación extra y proporciona una comunicación segura, fiable y eficaz en la "última etapa" de IoT. (HUAWEI, 2021)

Tabla 2. *Categoría PLC IoT*

Categoría	Frecuencia	Normas internacionales	Aspectos técnicos destacados	Escenario de aplicación
PLC de banda estrecha	< 148,5 kHz (UE) < 4920 kHz (FCC)	Norma IEEE P1901.2	Bajas tarifas y conexiones masivas: Velocidad: < 150 kbit/s Latencia: > 200 ms en la mayoría de los casos Número de conexiones: hasta 1000 Distancia de transmisión: > 1 km	Escenarios de conexión de baja velocidad: automatización de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión, lectura de contadores, etc.
PLC de banda media	0,7 a 12 MHz	IEEE 1901.1	Baja latencia y alta confiabilidad: Velocidad: 150 kbit/s a 10 Mbit/s Latencia: < 50 ms Confiabilidad: 99,999%	Escenarios IoT con alta fiabilidad y control en tiempo real: contadores inteligentes, semáforos inteligentes, control de lámpara única, etc.
PLC de banda ancha	1,8 a 30 MHz 1,8 a 100 MHz	IEEE 1901 UIT-T G.hn	Gran ancho de banda: Velocidad: 200 Mbit/s a 1,5 Gbit/s Latencia: < 50 ms Distancia de transmisión: < 200 m	Acceso e interconexión de banda ancha en el hogar

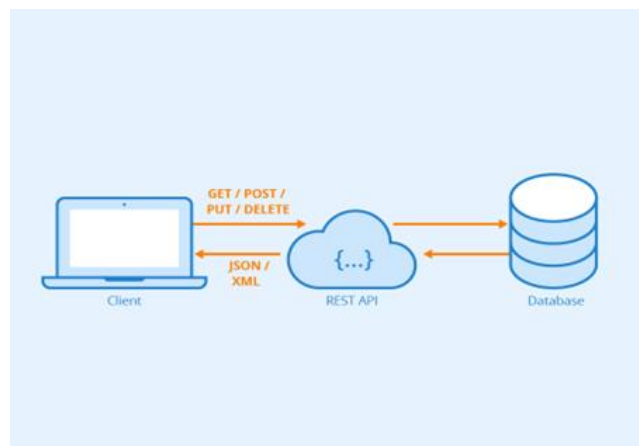
Tomado de (HUAWEI, 2021)

Figura 8. Red PLC IoT

Tomado de (HUAWEI, 2021)

2.2.10 API

PI se refiere a "interfaz de programación de programas". Dentro del marco de las API, el término aplicación hace referencia a cualquier programa con una función diferente. Se puede interpretar la interfaz como un acuerdo de servicio entre dos aplicaciones. Este acuerdo establece la forma en que se comunican entre ellos a través de peticiones y respuestas. La documentación de su API incluye datos acerca de cómo los programadores deben organizar dichas peticiones y respuestas. (AWS, 2023)

Figura 9. API REST

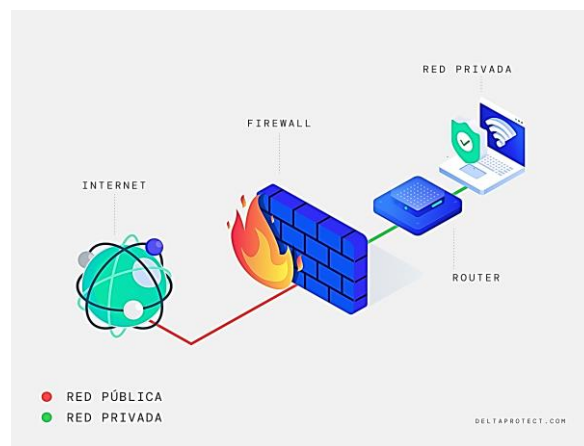
Tomado de (AWS, 2023)

2.2.11 Firewall

Unos cortafuegos es una solución de protección de redes que resguarda su red frente al tráfico indebido. Los cortafuegos o firewalls impiden el ingreso de malware basándose en un conjunto de normas previamente establecidas. Estas normas también pueden obstaculizar que los usuarios en la red ingresen a ciertos sitios y aplicaciones. Existen varios tipos de firewall, los cuales son: (Fortinet, 2022)

- Firewalls de aplicación web (WAF)
- Firewalls de administración unificada de amenazas
- Firewalls de traducción de dirección de red
- Firewall de segmentación interna (ISFW)
- Firewalls de próxima generación (NGFW)

Figura 10. Firewall



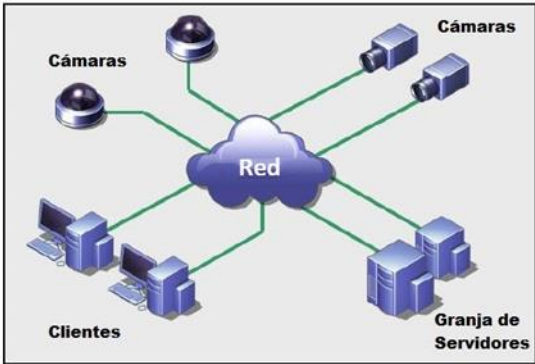
Tomado de (Fortinet, 2022)

2.2.12 Servidores

Un servidor es un sistema que suministra recursos, información, servicios o aplicaciones a otras computadoras, denominadas clientes, mediante una red. En teoría, se denominan servidores

a los equipos que comparten recursos con los equipos cliente. Hay diversas clases de servidores, tales como los servidores web, los servidores de correo electrónico y los servidores virtuales. (PAESSLER, 2021)

Figura 11. Equipo servidor



Tomado de (PAESSLER, 2021)

2.2.12.1. Tipos de servidores. Existen los siguientes tipos de servidores, los cuales se describirán en la siguiente tabla.

Tabla 3. Tipos de servidores

Tipo de servidor	Definición o uso
<i>Servidores de archivos</i>	Los servidores de archivos guardan y reparten archivos que varios usuarios o clientes tienen la posibilidad de compartir. Además, el almacenamiento centralizado de archivos proporciona soluciones de respaldo o tolerancia a fallos de manera más eficiente que esforzarse por brindar seguridad e integridad a los archivos en todos los dispositivos de la organización. Es posible configurar el equipo del servidor de archivos de tal forma que impulse las velocidades de lectura y escritura para optimizar su desempeño.

Tipo de servidor	Definición o uso
<i>Servidores de impresión</i>	Los servidores de impresión facilitan la administración y reparto de la capacidad de impresión de documentos. Para evitar la necesidad de vincular una impresora a cada lugar de trabajo, podemos disponer de un solo servidor de impresión para atender las peticiones de impresión de múltiples clientes. Actualmente, ciertas impresoras de gran tamaño y alta gama cuentan con su propio servidor de impresión integrado, lo que evita la necesidad de instalar uno en un equipo distinto. Este servidor interno de impresión permite que la impresora también atienda las peticiones de impresión de los clientes conectados.
<i>Servidores de aplicaciones</i>	Este tipo de servidores se utilizan para ejecutar aplicaciones a distancia, en vez de que los dispositivos cliente lo realicen a nivel local. Los servidores de aplicaciones suelen operar software que consume grandes cantidades de recursos, y lo distribuyen a un amplio número de usuarios. Por un lado, simplificamos la instalación y mantenimiento del software en una sola máquina, y evitamos la necesidad de que cada cliente cuente con recursos adecuados de manera local.
<i>Servidores DNS</i>	Los servidores del sistema de nombres de dominio (DNS) son servidores de software que ofrecen características de solución de nombres a los dispositivos cliente. La resolución de nombres implica transformar nombres de fácil comprensión para los humanos en direcciones IP que las máquinas puedan leer. El sistema DNS es una ampliamente distribuida base de datos de nombres y otros servidores DNS, a los que se puede acceder para identificar un nombre de equipo desconocido. Cuando un usuario requiere la dirección de un sistema, emite una petición con el nombre del recurso requerido a un servidor DNS, el cual le proporciona la dirección IP correspondiente de su tabla de nombres.
<i>Servidores de correo</i>	Los servidores de correo electrónico son una clase bastante habitual de servidor de aplicaciones. Los servidores de correo electrónico reciben los mensajes de correo electrónico enviados a un usuario y los guardan hasta que un cliente los requiera en representación de dicho usuario. Gracias a un servidor de correo electrónico, tenemos una única máquina configurada y correctamente conectada a la red en todo momento, preparada para enviar y recibir mensajes, en vez de tener que esperar que cada cliente tenga su propio subsistema de correo electrónico funcionando de manera constante.
<i>Servidores web</i>	Los servidores web son una de las categorías de servidores más frecuentes en el mercado contemporáneo. Un servidor web es una clase particular de servidor de aplicaciones que alberga programas y información requerida por los usuarios mediante internet o en una intranet. Los servidores

Tipo de servidor	Definición o uso
	web gestionan las peticiones de sitios web u otros servicios web que provienen de los navegadores que operan en los equipos cliente. Dentro de los servidores web más comunes, se incluyen servidores Apache, Microsoft Internet Information Services (IIS) y Nginx.
<i>Servidor de base de datos</i>	El uso excesivo de datos por parte de empresas, usuarios y otros servicios es alarmante. Gran cantidad de estos están guardados en bases de datos. Estas bases de datos deben estar al alcance de varios clientes en todo momento y, usualmente, requieren de grandes volúmenes de espacio de almacenamiento. Las dos necesidades constituyen el motivo ideal para localizar estas bases de datos en un servidor. Los servidores de bases de datos gestionan programas de bases de datos y resuelven múltiples peticiones de los usuarios. Oracle, Microsoft SQL Server, DB2 e Informix son los servidores de bases de datos más utilizados.
<i>Servidores virtuales</i>	Los servidores virtuales están dando un golpe de efecto en el universo servidor. En contraste con los servidores convencionales, que se instalan como una combinación de sistema operativo y máquina de hardware, los servidores virtuales solo operan de acuerdo a los parámetros definidos en un programa especializado llamado hipervisor. Cada hipervisor tiene la capacidad de operar simultáneamente cientos o incluso miles de servidores virtuales. El hipervisor muestra al servidor el hardware virtual como si fuera una máquina física. El servidor virtual emplea el hardware virtual habitualmente, mientras que el hipervisor traslada las demandas reales de informática y almacenamiento al hardware real existente que se distribuye entre todos los demás servidores virtuales.
<i>Servidores proxy</i>	Un servidor proxy funciona como un enlace entre un cliente y otro servidor. Frecuentemente se utilizan para desconectar a clientes o servidores debido a razones de seguridad. Un servidor proxy recibe la petición del cliente pero, en vez de darle una respuesta directa, la remite a otro servidor o procedimiento. El servidor proxy recibe la respuesta del segundo servidor y, posteriormente, reacciona al cliente inicial como si lo hiciera de manera autónoma. Así, ni el cliente ni el servidor que interactúan realmente se vinculan.

Tipo de servidor	Definición o uso
<i>Servidores de supervisión y administración</i>	Algunos servidores buscan supervisar o administrar otros sistemas y usuarios. Existen diversas clases de servidores de supervisión. Algunos escuchan la red, obteniendo cada petición del cliente y cada respuesta del servidor, mientras que otros ni solicitan ni responden a los datos de manera autónoma. Así, el servidor de supervisión tiene la capacidad de monitorear todo el tráfico en la red, además de las peticiones y respuestas de otros servidores y clientes sin obstaculizar dichas actividades. Un servidor de vigilancia responderá a las peticiones de seguimiento de los clientes, tal como las realizadas por los administradores de red al monitorear la condición de la red.

Tomado de (PAESSLER, 2021)

2.2.13 Raspberry PI

La Raspberry Pi es una computadora asequible y de tamaño reducido, apta para una tarjeta de crédito, que puede conectarse a un monitor de ordenador o una televisión, y funcionar con un ratón y teclado estándar. Es un pequeño ordenador que funciona con un sistema operativo Linux, que permite a individuos de cualquier edad explorar la computación y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de desempeñar la mayoría de las funciones habituales de un ordenador de escritorio, desde explorar la web, visualizar vídeos de alta resolución, manejar documentos de oficina, hasta jugar a juegos. (Pi, 2014)

Además, la Raspberry Pi posee la capacidad de comunicarse con el mundo exterior, lo que la permite emplearse en una extensa gama de proyectos. (Pi, 2014)

Figura 12. *Raspberry Pi*

Tomado de (Pi, 2014)

2.2.14 Cultivo Limón Tahití

Los cítricos se cultivan en áreas subtropicales, que son conocidas como zonas subtropicales. Han logrado una adecuada adaptación a las condiciones tropicales mostrando un buen rendimiento productivo; destacan la toronja y la lima ácida Tahití por su excelencia, y constituyen grandes oportunidades para su exportación. Es importante destacar que en Colombia son escasos los cultivos de auténtico limón (Citrus Limón); en su lugar, se cultivan limas ácidas denominadas limones, que incluyen el limón pajarito o de Castilla (*Citrus aurantifolia* L.) y la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), generando entre 15 y 40 toneladas de estos por hectárea de fruta. (DANE, AGROPECUARIA, 2015)

Figura 13. *Limón Tahití*

2.3 Marco legal

El marco legal para un proyecto de cultivo de limón Tahití en el municipio de Aratoca, Santander, Colombia, abarca diversas normativas y regulaciones a nivel nacional, departamental y municipal. A continuación, se presenta una descripción de los principales aspectos legales que se deben considerar.

- Norma agrícola:

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA): este organismo regula aspectos fitosanitarios y de bioseguridad en el cultivo de cítricos. Es esencial registrarse ante el ICA y cumplir con sus directrices para el manejo de plagas y enfermedades.

Resolución 448 de 2016: regula la producción, comercialización y certificación de material vegetal de cítricos en Colombia. (FAO, 2016).

- Regulaciones ambientales:

Ley 99 de 1993: marco general del medio ambiente en Colombia, que establece los principios para la protección del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales. (MinAmbiente, Ley 99 de 1993, 1993)

Gestión de residuos y productos químicos: cumplir con las normativas sobre el uso de agroquímicos y la gestión de residuos agrícolas para evitar la contaminación del suelo y el agua. (Legal, 2005)

3. Método

3.1. Tipo de estudio

Este proyecto se basa en un estudio tipo experimental, ya que con esto se evaluará los efectos de las variables ambientales sobre los cultivos de limón Tahití, haciendo efectivo su

intervención mediante el monitoreo de sistemas de control el cual enlaza el IoT para la medición de variables evaluando los riesgos a los que se someten los cultivos de limón Tahití y mejorar la efectividad y producción.

3.2 Fuentes de información

- *Fuentes primarias:* una parte importante de este proyecto es la investigación de fuentes bibliográficas, artículos científicos, informes técnicos, fichas de datos de componentes electrónicos y publicaciones en revistas que fueron consultadas a través de diferentes bases de datos, que permitieron llegar al fondo de un análisis del tema de estudio, el sistema de control y el monitoreo a través de la red IoT. Estas fuentes fueron necesarias ya que permitieron recopilar información única sobre el proyecto y así estar al tanto, de poder extender y derivar diferentes teorías y juicios sobre la problemática a la cual nos enfrentamos en este proyecto. Todo esto apelando el uso de distintas fuentes de información.

El inicio investigativo se basó sobre los diferentes métodos para desarrollar la arquitectura junto con sus componentes, características, adquisición, extracción, y análisis según lo planteado.

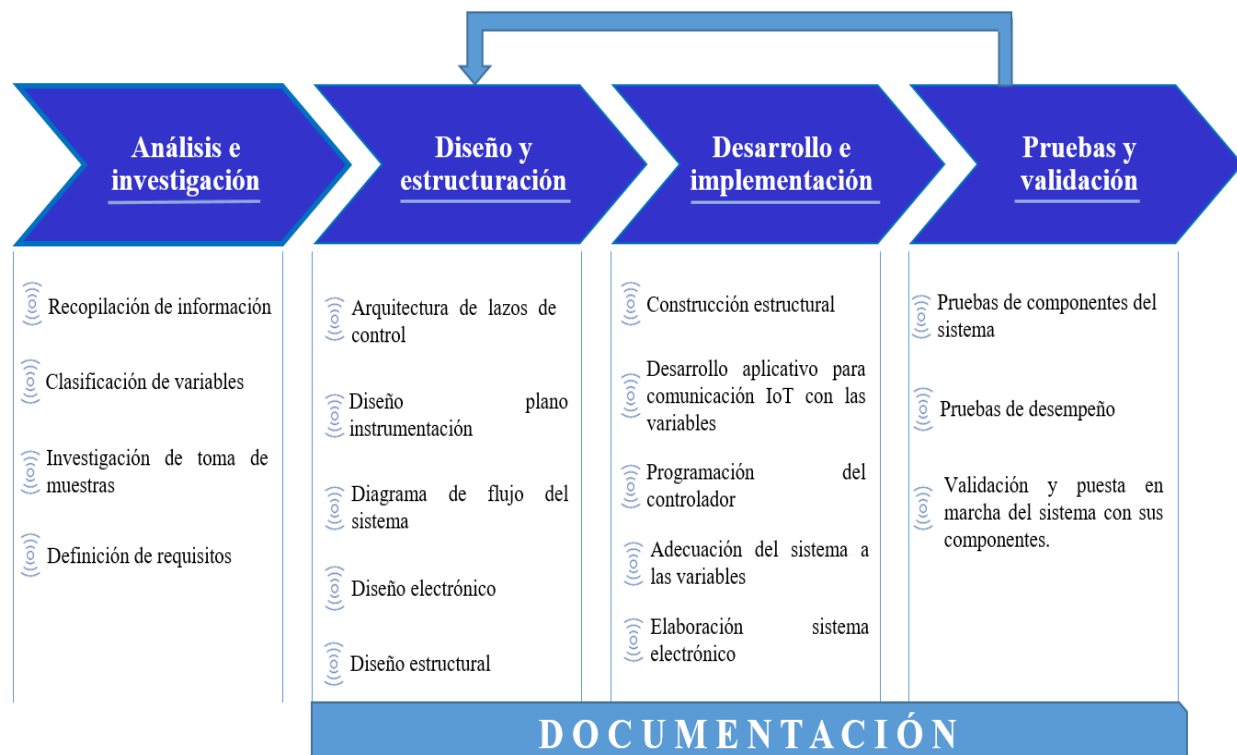
- *Fuentes secundarias:* entre las fuentes secundarias fueron consultados: Trabajos de tesis de investigación, patentes y artículos científicos donde muestran diferentes investigaciones similares a la realizada sobre el prototipo propuesto.

3.3. Diseño metodológico

Basándonos en el problema investigativo se desarrollaron las siguientes fases del proceso metodológico con el fin de lograr y cumplir con los objetivos propuestos como se mostrará en la

figura “x” en donde se visualizan las etapas de la metodología con sus respectivas actividades, se tiene en cuenta una retroalimentación entre cada etapa del proceso metodológico, ya que puede surgir en cualquiera de estas etapas correcciones, en caso tal que el sistema llegue a tener fallas que sean detectadas en la etapa de pruebas y validación, por ende se tiene en cuenta la documentación que surtirá de cada etapa del proceso, siempre y cuando sea necesario según sus ítems mencionados.

Figura 14. *Etapas del proceso metodológico*



3.3.1. Análisis e investigación

Dentro de esta etapa se recopiló toda la información que fuera útil de todas las etapas del sistema. Por tal razón se llevó a cabo la búsqueda de la siguiente forma:

- *Recopilación de información:* dentro de este ítem se determina mediante información recopilada el comportamiento de los distintos cultivos de limón Tahití y en como sus factores varían en cuanto a su temperatura, humedad, intensidad solar y cambios a los cuales se someten estos tipos de cultivos.
- *Clasificación de las variables:* aquí se determina la información necesaria que servirá de apoyo para definir y trabajar las variables físicas que será enlazada con el sistema.
- *Investigación de toma de muestras:* en esta sección se profundiza en la investigación ya que con lo suministrado se determina de qué manera se mide cada variable, que sensores son aptos para cada tipo de variable física escogida, y que actuadores de ser necesario podrían contribuir a la productividad y solución del cultivo.
- *Definición de requisitos:* ya culminando cada uno de los ítems anteriores que hacen parte de la etapa de “análisis e investigación” se procede a realizar una serie de lista de requisitos que fueran esenciales y eficaces para el desarrollo y funcionamiento del sistema.

3.3.2 Diseño y estructuración

Dentro de esta etapa se realizan, diseños, arquitectura y diagramas según correspondan para el bosquejo físico y lógico del sistema. Por tal razón, se llevó a cabo las siguientes actividades dentro de esta etapa:

- *Arquitectura de lazos de control:* dentro de este ítem se realiza un bosquejo lógico que nos permite identificar y definir los sensores a utilizar y que sean compatibles con sus respectivos actuadores para realizar una comunicación segura, que nos arroje medidas con un porcentaje alto de exactitud.

- *Diseño plano de instrumentación:* en este ítem se realiza el boceto de un plano el cual nos muestra el tipo de instrumentación que va enlazada al sistema, como los son sus periféricos de interconexión al módulo IoT.
- *Diagrama de flujo del sistema:* en esta actividad construimos la secuencia que se tiene en cuenta para la rutina de trabajo del sistema que nos servirá como algoritmo para estudiar, planificar, mejorar y comunicar el desarrollo del programa para su respectiva interpretación.
- *Diseño electrónico:* dentro de este ítem se realiza un bosquejo electrónico en el cual se tiene en cuenta los diferentes componentes de entradas y salidas del PLC IoT junto con el sistema. De igual forma se tuvo en cuenta los componentes pasivos para el acondicionamiento de señales.
- *Diseño estructural:* en este ítem se trabajó la ubicación de cada uno de los sensores, en la cual se realizan las medidas y/o separaciones respectivas con el fin de permitir tener una buena lectura de medidas de las variables físicas a través de los sensores elegidos.

3.3.3 Desarrollo e implementación

Dentro de esta etapa se realiza el montaje y desarrollo físico del sistema de control de acuerdo con lo establecido en la etapa anterior. Por tal razón, se llevó a cabo las siguientes actividades dentro de esta etapa:

- *Construcción estructural:* en esta actividad se realiza la adecuación respectiva del soporte que nos brindara la adecuación de los sensores y actuadores del sistema, que nos permite la recepción de señales brindadas por el cultivo, así como el módulo de control.

- *Desarrollo de programación para carga de datos al sistema:* en este ítem se realiza el desarrollo de la programación para visualizar la carga de los datos brindados por las señales que arrojaran las variables de los sensores, el cual mantendrá al tanto al agricultor de fallas o riesgos dentro del cultivo.
- *Programación del controlador adecuado las variables al sistema:* en esta actividad se realiza la implementación del lenguaje de programación utilizado para el controlador IoT definido. Aquí se establece una comunicación con la plataforma IoT, con el fin que el dispositivo de control nos realice el envío y visualización de datos de las variables en el sistema.
- *Establecimiento de comunicación:* después de tener desarrollado toda la programación necesaria para las medidas de las variables, se establece la comunicación para adaptar las respuestas de la conexión de red de cada rato que va hacer arrojado.

3.3.4. Pruebas y validación

Culminando las etapas anteriores se procede a iniciar la etapa final en donde se realizan las debidas pruebas que me permiten ver la efectividad y rendimiento del sistema. Las pruebas y validaciones realizadas para finiquitar esta etapa fueron:

- *Pruebas de desempeño:* dentro de este ítem se pudo caracterizar los distintos sensores y actuadores utilizados para corregir errores y así garantizar el óptimo desempeño de este.

De acuerdo a esta actividad se evidencia el fin para determinar el desempeño del sistema que se ha implementado, para el desarrollo, crecimiento y producción del cultivo de limón Tahití, en donde se verifica el monitoreo remoto de las diferentes variables.

Finalmente se culmina y se da por validado el correcto funcionamiento del sistema con sus componentes.

4. Resultados

4.1. Análisis e investigación

4.1.1. Recopilación de información de cultivos de limón Tahití

La lima ácida, también conocida como limón Tahití, forma parte de la familia botánica Rutaceae y del género citrus. Fue introducida en Colombia en 1941 y se distingue por generar frutos sin semilla, ya que posee un triploide¹ y carece de polen viable. Su fruto es de tonalidad verde, de forma semicircular a ovalada y con un peso entre 50 y 100 gramos (Aguilar, y otros, 2015, pág. 10)

Es importante señalar que, para el mercado interno, el atributo más destacado es el más alto. El contenido de jugo es relevante, siendo el departamento de Tolima el que produce la calidad más alta en este aspecto. Para el mercado de exportación, los aspectos más destacados del fruto son su intenso verde, la falta de zonas con "efecto de sombra" y las características de la corteza; considerando que el uso más frecuente de la fruta es en la repostería, en particular en la coctelería, dentro de los mercados de Europa. La región líder en exportaciones es Lebrija (Santander), debido a la alta calidad de la fruta conseguida gracias a las condiciones climáticas de la zona y a las técnicas de gestión como el raleo de frutos y podas, que optimizan la exposición de los frutos a la luz solar, logrando de esta manera el color verde intenso que se espera. (Hernández, et ál, 2014, p. 8(2), pp. 217-229)

Además, se considera un cultivo temprano con una alta productividad producción, pese a haber sido impactada por problemas fitosanitarios provocados por el virus tristeza de los seres humanos y por factores ambientales como las condiciones climáticas cítricas (CTV) congeladas. De acuerdo con Quiroga, citado por (Aguilar, y otros, 2015),

Se encuentra el piedemonte del departamento del Meta, del sexto al onceavo año de cultivo, el objetivo es que la incidencia del CTV se incrementó del 16,5% al 100% y la gravedad del 29,4 % al 100%. 84 %, disminuyendo la duración de la cosecha de 20 a 8 años. Por lo tanto, se ha puesto en marcha el método de micro injertación de ápices de calabaza, yemas libres de virus de la tristeza (CTV), que han sido distribuidas a viveristas registrados de diversas zonas del país

- *Condiciones agroecológicas*

Clima: en circunstancias tropicales, el elemento climático de mayor relevancia en el crecimiento y conducta. La productividad de los cultivos de cítricos se asemeja a la precipitación en términos de frecuencia y distribución de las precipitaciones, luego la radiación del sol, la temperatura, la humedad relativa del entorno y la rapidez del movimiento del agua aire. En suma, estos elementos influyen en la fenología de los árboles y en las técnicas de gestión del cultivo como el riego, la fertilización, las podas y el control fitosanitario. (Hernández, et ál, 2014).

En Colombia, el cultivo de cítricos comienza desde el nivel del mar hasta los 2.100 metros; sin embargo, el máximo rendimiento en la producción para la venta se alcanza a altitudes que oscilan entre los 1.500 y los 1.600 metros. Las temperaturas ideales para la siembra de cítricos suelen oscilar entre los 18 y 30 °C. Por lo tanto, las variaciones tempranas se originan en las regiones. Las variedades subtropicales se ajustan a los climas moderados, mientras que las variedades tardías a los climas calurosos. Esto señala que se debe realizar la elección de variedades

(copas) y patrones, basado en sus necesidades climáticas y ecológicas, sería preferible realizar evaluaciones en condiciones ambientales próximas a los lugares de cultivo. (Hernández, et ál, 2014)

Selección de la variedad y patrón a utilizar: una de las consideraciones a considerar para la selección en un cultivo de lima ácida Tahití, se observan los siguientes patrones: rasgos de los mercados, calidad de la cosecha en la zona, necesidades para la cosecha y la pos cosecha, periodos de recolección, necesidades climáticas y ecológicas, y anticipación, entre otros factores.

El patrón en el que se injerta la yema de la variedad correspondiente a establecer, que da lugar a la copa o componente productivo del árbol, incide en rasgos frutícolas que sobresalen: altura, vigor y enraizamiento de la planta; resistencia a elementos abióticos como los factores abióticos, falta de agua, temperaturas bajas, salinidad, acidez de la tierra los terrenos o sobreabundancia de agua; resistencia o tolerancia; a patologías como las sistémicas (CTV, ECV, psoriasis y caquexia) o Phytophthora; capacidad para producir fruta, tamaño, textura, nivel interno y periodo de madurez.

De acuerdo con Wutscher y Bistline (1988), referenciados por (Aguilar, y otros, 2015), la elección de los patrones ha aportado, posiblemente más que cualquier otro elemento, al triunfo o al fracaso, al éxito o al fracaso del sector cítrico en cualquier zona del planeta. En consecuencia, la elección del patrón a emplear es crucial en la implementación del cultivo, ya que es el responsable de establecer el proceso de cultivo modelo que contribuye al sistema de raíces de la planta y este es el encargado de la captación y traslado de estos nutritivos. Los patrones son aquellos que soportan las condiciones específicas del terreno, aportando o no a la calidad de la tierra adaptabilidad de las variedades y pueden

proporcionar resistencia o tolerancia a hongos y a enfermedades sistémicas resultantes de virus o viroides

Figura 15. *Necesidades nutricionales Limón Tahití #1*

Guía para la aplicación de N, P2O5, K2O al cultivo del cítrico por edad o cosecha			
Edad o Cosecha por árbol	Gramos	Arbol	Año
	N	P2O5	K2O
1-3	75	75	75
5 años	150	150	150
40 kg	500	250	375
60 kg	600	300	450
90kg	800	400	600
120 kg	1000	500	750
150 kg	1200	600	900

Tomada de (SisdeAgroSAS, 2021)

Figura 16. *Necesidades nutricionales Limón Tahití #2*

Guía de la distribución de N, P2O5, K2O para las épocas de desarrollo del cítrico			
Nutrientes	Etapas de Desarrollo		
	Pos-cosecha a Retoño (inicio)	Inicio del fruto	Terminación del fruto/producción de yemas
	%	%	%
Nitrógeno	40	40	20
P2O5	40-100	0-40	0-20
K2O	30	30	40

Tomada de (SisdeAgroSAS, 2021)

4.1.2. Clasificación de variables e investigación de tomas de muestras

El cultivo del limón Tahití necesita una fertilización elevada en Calcio, que puede ser un obstáculo considerable para la producción del mismo volumen o más que el Nitrógeno.

No obstante, no solo es crucial realizar las aplicaciones necesarias y habituales de algún fertilizante o suplemento con algún contenido de Calcio, sino que también es imprescindible equilibrar la utilización de las bases ya que estos nutrientes compiten por cargas en la solución del terreno. (SAS, 2021)

Figura 17. Medidas descriptivas de contenido de nutrientes en tejido foliar tomadas del cultivo de lima Tahití en siete municipios

Elemento	Máximo	Mínimo	Media	Mediana	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de variación de la media
N (%)	2,79	1,92	2,46	2,52	10,07	10,07	10,37
P (%)	0,30	0,16	0,26	0,21	0,001	0,001	16,20
K (%)	2,11	0,73	1,36	1,42	0,149	0,149	28,32
Ca (%)	5,38	2,63	3,78	3,52	0,613	0,613	20,70
Mg (%)	0,53	0,15	0,29	0,26	0,007	0,007	30,38
S (%)	0,36	0,19	0,23	0,22	0,001	0,001	16,32
Fe (mg kg ⁻¹)	890,00	196,00	340,86	331,50	19039,94	19039,94	40,48
Cu (mg kg ⁻¹)	255,00	3	58,75	21,50	6366,02	6366,02	135,81
Mn (mg kg ⁻¹)	93,00	8	48,36	43,50	604,16	604,16	50,81
Zn (mg kg ⁻¹)	137,00	5	37,33	24,00	1462,58	1462,58	102,44
B (mg kg ⁻¹)	808,99	108,42	243,88	166,31	37597,14	37597,14	79,1

Tomada de. (SAS, 2021)

Las bases del suelo son los componentes que, en conjunto, exhiben una conducta diferente al resto de los nutrientes que las plantas asimilan.

Incluso en la evaluación fisicoquímica de terrenos, se cuantifica la concentración de bases en meq/100 grs (mili equivalente por 100 gramos) o cmol+/kg (centimol cargado por kilogramo), mientras que el resto de elementos se cuantifica en ppm (partes por millón). (SAS, 2021)

Figura 18. Balanceo de la base del suelo para aplica CA, Mg y K

20 40,08 2 1440 0,30 1,25 Ca (Ar)4s ² Calcio	12 24,305 2 1187 6,50 1,74 Mg (Ne)3s ² Magnesio	19 39,098 1 760 63,7 0,06 K (Ar)4s ¹ Potasio
--	---	--

Pesos	Ca	40.080	g/mol
moleculares	Mg	24.305	g/mol
	K	39.098	g/mol

1 mol es equivalente a 6.02×10^{23} átomos del elemento (Número de Avogadro)

Tomada de (SAS, 2021)

La relación recomendada de bases para el cultivo general de las especies pertenecientes a la familia Rutaceae es de 4:1:0.5 para Ca:Mg:K.

Esto implica que es crucial mantener esta relación de nutrientes en el suelo en las plantas cítricas. Sin embargo, en este escenario específico, las plantas cítricas carecen del calcio necesario en la solución del suelo, dado que estos elementos compiten por cargas eléctricas dado que se absorben en formas iónicas como Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} . (SAS, 2021)

Figura 19. Cantidad para fertilizar el suelo



Volumen: $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 0.05 \text{ metros cúbicos}$

Peso del suelo: (tomando una densidad de 1.2 kg/dm^3 o $1.2 \text{ ton/metro cubico}$)

Peso $0.05 \text{ metros cubicos} \times 1.2 \text{ ton/metro cubico} = 0.06 \text{ ton} = 60 \text{ kgs}$

Es decir que para cada árbol recién sembrado se debe calcular aplicación para 60 kgs de suelo

Tomada de (SAS, 2021)

Lo más conveniente es que, basándose en una valoración del agrónomo, se identifique el área donde el árbol posee la mayor cantidad de raíces.

Para un árbol recién plantado en etapa de crecimiento, usualmente la distancia (a) es de 0.5 metros y el valor (p) suele ser de 0.2 metros. (SAS, 2021)

Entonces, vamos a determinar el volumen del terreno donde se encuentran la mayoría de las raíces, basándonos en una apreciación agronómica que nos proporcione el tamaño del árbol. En este caso, consideramos como ejemplo árboles en proceso de crecimiento que tienen menos de 12 meses de vida. (SAS, 2021)

Figura 20. Cantidad de nutriente elemental que debe aplicarse

Base	Diferencia
Ca	15.32
Mg	-00
K	0.84

Esta concentración está expresada en **cmol+** por cada kilogramos de suelo, lo vamos a convertir en gramos de cada elemento.

a. Conversion de cmol+ de Calcio

El Calcio elemental tiene un peso molar de 40.08 gr/mol

Por lo que procedemos a calcular a partir de esto cuantos gramos de calcio es igual a un cmol+ de Ca

$$\frac{1 \text{ mol Ca}}{40 \text{ gr Ca}} \times \frac{100 \text{ cmol Ca}}{1 \text{ mol Ca}} \times \frac{2 \text{ mol+Ca}}{1 \text{ cmol Ca}} = 5 \text{ cmol+ Ca}$$

$$5 \text{ cmol+ Ca} = 1 \text{ gr de Ca}$$

$$1 \text{ cmol+ Ca} = 0.2 \text{ gr de Ca}$$

b. Conversion de cmol+ de Potasio

El Potasio elemental tiene un peso molar de 39.09 gr/mol

Por lo que procedemos a calcular a partir de esto cuantos gramos de K es igual a un cmol+ de K

$$\frac{1 \text{ mol K}}{39 \text{ gr Ca}} \times \frac{100 \text{ cmol Ca}}{1 \text{ mol Ca}} \times \frac{1 \text{ mol+Ca}}{1 \text{ cmol Ca}} = 2.56 \text{ cmol+ Ca}$$

$$2.56 \text{ cmol+ K} = 1 \text{ gr de K}$$

$$1 \text{ cmol+ K} = 0.39 \text{ gr de K}$$

Tomada de (SAS, 2021)

El valor adicional de concentración que el suelo necesita para satisfacer la relación de bases, y lo transformaremos en la cantidad de cada nutriente elemental. (SAS, 2021)

Una explicación relevante es que no existe una diferencia entre 1 cmol (un centimol) y 1 cmol+ (un centimol cargado), ya que un cmol es un mol del elemento partido en 100 y luego partido entre las cargas del ion. Dado que el calcio se encuentra en el suelo como el ion Ca^{+2} , el cmol de Ca debe ser dividido entre dos para obtener un cmol+ de Ca. (SAS, 2021).

Pero también se debe tener en cuenta junto con los anteriores factores, el rango de variables promedios establecidos, para un cultivo de limón Tahití.

Tabla 4. Rangos establecidos por variables para el cultivo de limón Tahití

Variable	Rango
Temperatura del ambiente	7°C min (15°C a 18°C ideal) 24°C Max
Humedad del ambiente	70 a 80 %
Potencial de hidrogeno (PH)	5.5 a 7.0
Conductividad eléctrica	1,3 ms/cm o 750 a 1500 ppm
Oxígeno disuelto	> 5 mg/L
Temperatura de solución nutritiva	18°C a 25°C
Foto periodo	Día largo (horas de luz de +12h)
Volumen o nivel del agua	Depende del diámetro s del montaje y del tanque de almacenamiento de agua nutritiva.

Tomada de (Yate y Zambrano, 2021)

4.1.3. Definición de requisitos

Según la información obtenida en la etapa anterior, se definieron los siguientes requisitos:

- Se implementó en la Finca El “Taray” Municipio de Aratoca Santander, el desarrollo del prototipo para que el sistema IoT mantenga un intervalo de flujo de toma de muestras según las variables seleccionadas.
- Se tomaron como variables relevantes en el sistema: (Humedad, temperatura, proximidad, intensidad lumínica solar).

De acuerdo con los criterios utilizados, se recolectó información relevante de los sensores y actuadores, los cuales se categorizaron por consumo energético, exactitud y costo, entre otros aspectos. La recolección y evaluación de los sensores se realizó de la siguiente manera:

- *Sensor de humedad y temperatura:* en esta ocasión se destacó el siguiente sensor el cual fue utilizado en la implementación:

Tabla 5. Recopilación de sensores de Humedad Relativa y Temperatura

Sensor	Descripción	Características
DHT 11	Se caracteriza por tener una señal calibrada por lo que asegura una alta calidad y confiabilidad ya que posee un conversor de 16 bits integrado y está constituido	- Humedad relativa
		- Resolución: 16 bit
		- Repetitividad: $\pm 1\%$ HR
		- Precisión: En 25 °C $\pm 5\%$ de humedad relativa

Sensor	Descripción	Características
	por dos sensores (NTC y humedad relativa).	- Intercambiabilidad: totalmente intercambiables - Tiempo de respuesta: 1 / e (63%) de 25 °C 6s - 1m / s 6s aire - Histéresis: $\pm 0,3\%$ HR - Resolución: 16 bit - Repetitividad: $\pm 0,2$ °C - Rango: A los 25 °C ± 2 °C - Tiempo de respuesta: 1 / e (63%) 10S - Características eléctricas - Fuente de alimentación: CC 3.5 ~ 5.5V - Corriente de alimentación: medida 0.3mA espera 60μA - Periodo de muestreo: más de 2 segundos

Tomado de (Yate y Zambrano, 2021)

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, frecuentemente los sensores de humedad relativa del entorno se combinan con el sensor de temperatura del entorno, lo que nos facilita la supervisión de dos variables con un único sensor. La muestra del sensor de temperatura y humedad relativa, este tiene una precisión de temperatura de ± 2 °C, una humedad del 4% RH, un consumo energético de 300 μ A y un costo razonable. Además, proporciona una señal calibrada dado que opera como un sensor de humedad relativa tanto analógico como digital

Tabla 6. Selección sensor humedad y temperatura

Sensor	Alimentación	Precisión	Temperatura	Velocidad de muestreo	Total	Promedio
DHT 11	5	4	4	3	21	4,2

Tomado de (Yate y Zambrano, 2021)

- *Sensor de intensidad lumínica:* En esta ocasión se destacó el siguiente sensor el cual fue utilizado en la implementación:

Tabla 7. *Recopilación de sensor intensidad lumínica*

Sensor	Descripción	Características
TSL 2591	El sensor de luminosidad TSL2591 es un sensor de luz digital avanzado, ideal para su uso en una amplia gama de situaciones de iluminación. Este sensor es muy preciso, lo que permite cálculos exactos en lux y se puede configurar para diferentes ganancias para detectar rangos de luz de 188 μ Lux hasta 88.000 Lux sobre la marcha.	- TSL2591 Hoja de datos - Aproxima respuesta del ojo humano - Rango dinámico extremadamente amplio del 1 al 600.000.000 Counts - Lux Rango: 188 μLux hasta 88.000 Lux. - Rango de temperatura: -30 a 80 °C - Rango de tensión: 3.3-5V (Regulador integrado) - Interfaz: I2C - Este módulo utiliza una dirección fija I2C 7 bits 0x29 - Dimensiones: 19mm x 16mm x 1mm / .75" x .63" x .04" - Peso: 1,1 g

Tomado de (Yate y Zambrano, 2021)

- *Raspberry PI 3*: Las características de la raspberry pi utilizado fueron:

Tabla 8. *Característica Raspberry Pi 3*

Herramienta	Descripción	Características
Raspberry Pi 3	En esta nueva versión incorpora una CPU Cortex-A53 de cuatro núcleos, 64bit y 1.2Ghz, el cual mejora su velocidad de respuesta en un 50% en comparación a su versión anterior (RPi v2 modelo B) y diez veces más rápida que la primera Raspberry Pi.	- Chipset Broadcom BCM2837 a 1,2 GHz - ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos - LAN inalámbrica 802.11 b/g/n - Bluetooth 4.1 (posee modo bajo consumo) - Coprocesador multimedia de doble núcleo Videocore IV® - Memoria LPDDR2 de 1 GB - Compatible con todas las últimas distribuciones de ARM GNU/Linux y Windows 10 IoT - 1x Puerto Ethernet 10/100

Herramienta	Descripción	Características
		- 1x Conector de vídeo/audio HDMI
		- 1x Conector 3.5mm audio/video compuesto.
		- 4x Puertos USB 2.0
		- 40x Pines GPIO
		- Antena de chip (WiFi y Bluetooth integrados)
		- Conector de pantalla DSI
		- Ranura de tarjeta microSD
		- Dimensiones: 85 x 56 x 17 mm

Tomado de (Pi, 2014)

4.2. Diseño y estructuración

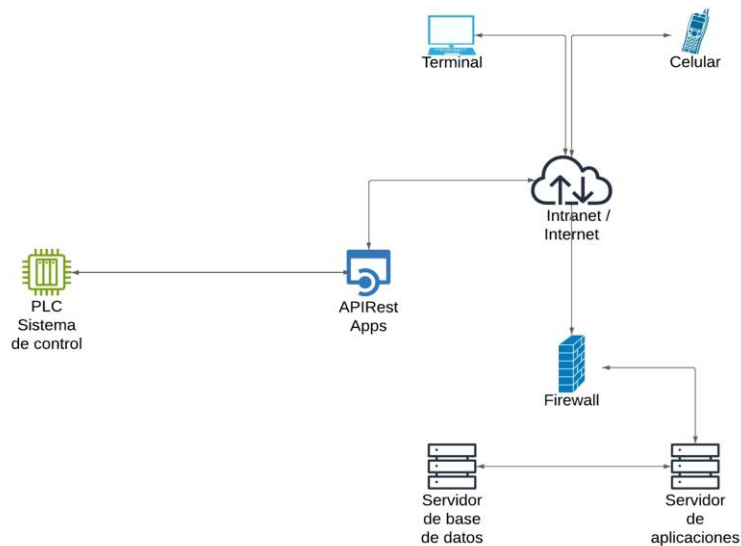
Para el diseño y estructuración de la implementación del proyecto, se tuvo en cuenta dentro de esta fase el desarrollo de los siguientes ítems para el avance del mismo:

4.2.1. Arquitectura de lazos de control

En la siguiente imagen se visualizará el diagrama de la arquitectura de los lazos de control y los periféricos y/o componentes que se encargarán de proporcionar la información a la unidad de control que se realizara en el proceso de control automática de las variables seleccionadas dentro del cultivo que serán evidenciados en la plataforma IoT según el respectivo monitoreo.

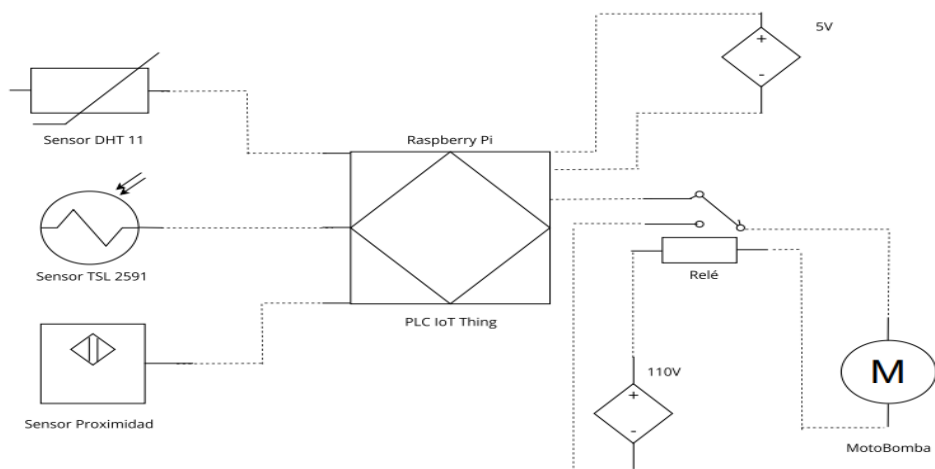
Figura 21. *Arquitectura de lazos de control y periféricos del sistema*

Arquitectura sistema de IoT para medición de variables



4.2.2. Diseño de plano instrumental

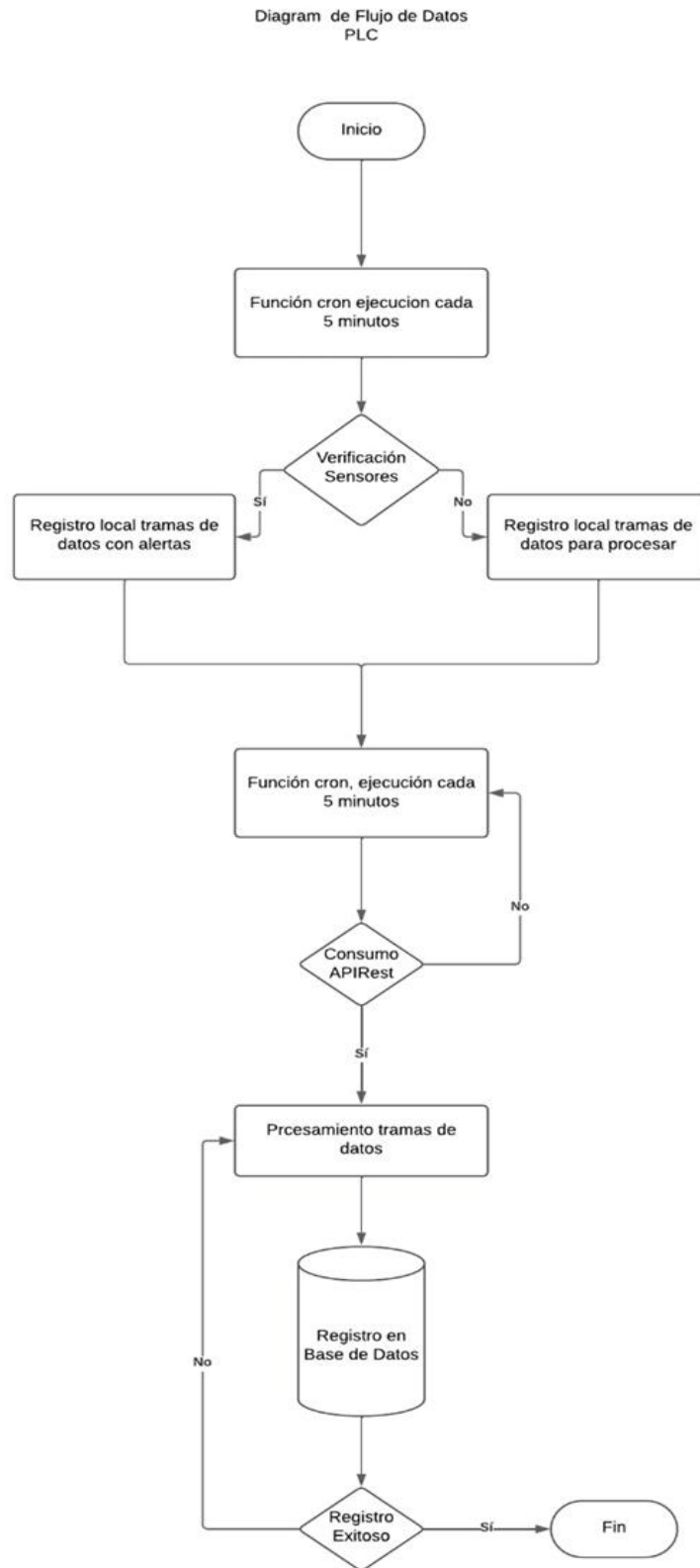
Por otro lado, se realizó el diseño instrumental de la estructura y conexión general del sistema y sus componentes:

Figura 22. *Plano instrumental*

En la figura 23, se observa el diagrama correspondiente a los periféricos que hacen parte del sistema. En este caso la unidad de control la cual es la raspberry pi (PLC IoT) se encarga de proporcionar la señal e información a los sensores para realizar el proceso de las mediciones físicas, en donde estos valores se evidenciarán en el aplicativo IoT.

4.2.3. Diseño de flujo del sistema

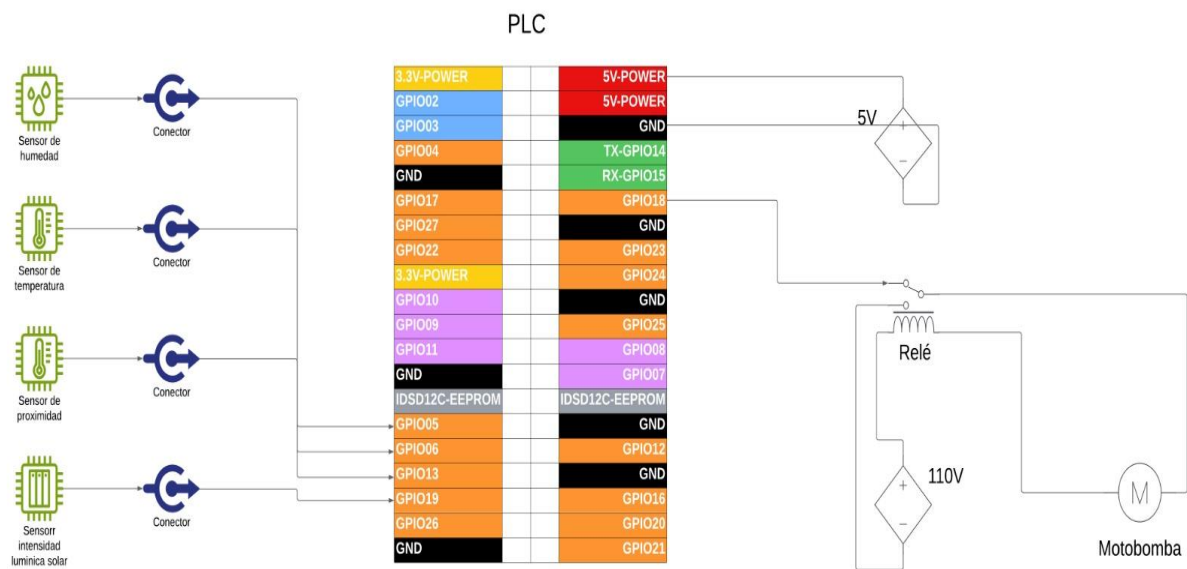
En la figura 24, se muestra la secuencia que se tuvo en cuenta para el sistema IoT y el proceso que este realiza desde el momento en que se ejecuta la verificación de sensores y como este se desplaza a las funciones según la decisión para así llegar al API REST donde consume la orden y es llevada a procesar la trama de datos que serán visualizados por el usuario y por ende estas mismas reposaran en la base de datos del sistema para tener un registro exitoso.

Figura 23. *Secuencia proceso del sistema IoT*

4.2.4. Diseño electrónico

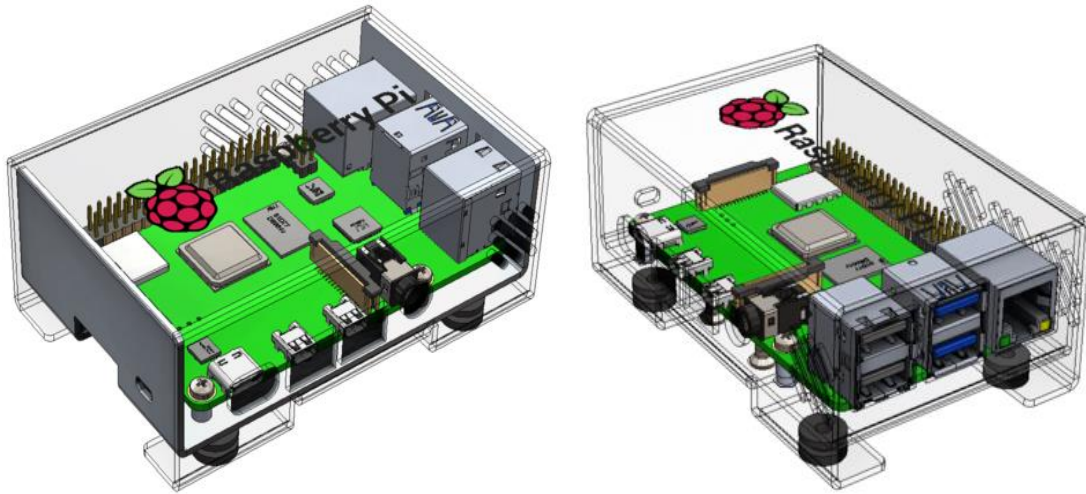
Tal como se aprecia en la figura 25, se encuentra cada una de los pines que componen la raspberry pi y como estos van distribuidos y conectados con cada componente que completa la arquitectura del sistema de control junto con el sistema IoT.

Figura 24. Conexión pines, diagrama electrónico



4.2.5. Diseño estructural

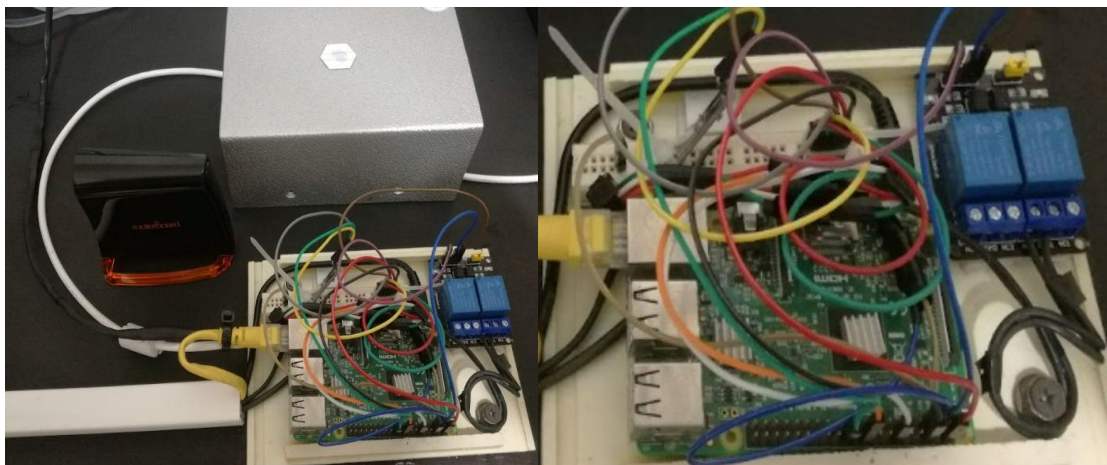
Para la implementación y la funcionalidad del sistema en general, se desarrolló una caja de protección en la cual se observa todo el sistema de control (raspberry pi) que es el pilar fundamental para establecer la conexión y comunicación con los sensores (humedad, temperatura, proximidad e intensidad lumínica solar) y nuestro actuador (motobomba).

Figura 25. *Carcasa protección raspberry pi*

4.3. Desarrollo e implementación

4.3.1. Construcción estructural

Según lo planteado en la Figura 26, se realizó una caja de soporte y protección hecha en lamina de metal cuyas medidas son: , esto permite la protección del sistema de control el cual es la raspberry pi, que es la que nos permite la comunicación entre el sistema de control y el sistema IoT.

Figura 26. *Construcción caja estructural protección*

4.3.2. Desarrollo programación para carga de datos sistema IoT

En este punto se realiza la programación, la cual nos permitirá la carga de datos dentro del sistema IoT, donde esta función general nos permite correr cada uno de los campos necesarios para guardar la información inicial de carga de datos dentro del sistema.

Figura 27. Programación carga datos al sistema

```

11 //Funcion general que permite cargar datos de sesion
12 require_once 'conexiondb.php';
13
14 date_default_timezone_set('America/Bogota');
15 $SysFechaReg = date('Y-m-d');
16 $SysHoraReg = date('H:i:s');
17
18 $db = new MySQLi();
19 $Campos = "SELECT R.RingId,
20             R.SistemaCultivoId,
21             R.FechaInicia,
22             R.FechaFin,
23             R.HoraInicio,
24             R.HoraFin,
25             R.RingEstado,
26             SC.IdSistemaCultivo,
27             SC.SistemaControlId,
28             S.IdSistemaControl,
29             S.SisConIP,
30             S.SisConPuerto,
31             S.SistemaControlEstado
32             FROM ringes as R
33             INNER JOIN sistemas_cultivos SC on R.SistemaCultivoId=SC.IdSistemaCultivo
34             INNER JOIN sistemas_control on S on S.IdSistemaControl=SC.SistemaControlId
35             WHERE R.RingEstado='ACTIVO'";
36
37 $QueryCampos = $db->consulto($Campos);
38 $ContadQuery = $db->num_rows($QueryCampos);
39
40 while ($RowCampos = $db->fetch_array($QueryCampos)) {
41     return;
42 }
43
44 try {
45     if ($RowCampos == true) {
46         $Stramas = "SELECT T.IdTrama,
47                     T.RingId,
48                     T.RingEstado
49                     FROM tramas_aviladas as T WHERE T.RingId=$RowCampos[0] and T.RingEstado='ACTIVO'";
50
51         $QueryTramas = $db->consulto($Stramas);
52         $ContadTramas = $db->num_rows($QueryTramas);
53         $RowTramas = $db->fetch_array($QueryTramas);
54
55         if ($ContadTramas > 0 and $RowTramas[1] == $RowCampos[0]) {
56             echo "Ya esta en ringe el $RowCampos[0]";
57         } else {
58             $Campos = "INSERT INTO 'tramas_aviladas' ( RingId ,
59                                                         SistemaControlId ,
60                                                         IP ,
61                                                         Puerto ,
62                                                         RingEstado ,
63                                                         TramaIdReg ,
64                                                         TramaIdReg )
65                                                         VALUES ($RowCampos[0] ,
66                                                         $RowCampos[9] ,
67                                                         $RowCampos[10] ,
68                                                         $RowCampos[11] ,
69                                                         $RowCampos[0] ,
70                                                         $SysFechaReg ,
71                                                         $SysHoraReg )";
72
73             $QueryCampos = $db->consulto($Campos);
74
75         }
76     } else {
77         echo "No hay ringes";
78     }
79 } catch (Exception $e) {
80     echo $e->getMessage();
81     die();
82     echo "Campos";
83 }
84
85 //
86
87
88
89
90 <script language="javascript">
91     setTimeout('document.location.reload()',3000*1000);
92 </script>

```

4.3.3. Programación del controlador adecuando las variables al sistema

En este espacio se realiza la programación de cada una de las variables, las cuales son los sensores que se encargaran de arrojar los datos y cargarlos en el sistema IoT para así ser visualizados por el usuario.

Los Sensores de temperatura se conectaron a los pines 18, 19 y 20.

Figura 28. Programación sensor temperatura

```
1 import Adafruit_DHT
2 import time
3 import requests
4 import urllib3
5
6 # Deshabilitar advertencias de SSL
7 urllib3.disable_warnings(urllib3.exceptions.InsecureRequestWarning)
8
9 # Sensor DHT11
10 sensor = Adafruit_DHT.DHT11
11
12 # Lista de pines donde están conectados los sensores DHT11
13 pines = [18, 19, 20]
14
15 # URL API REST
16 api_url = "https://192.168.0.11:3000/riego/api/sensor_temperatura_tramas"
17
18 try:
19     while True:
20         for pin in pines:
21             # Leer la temperatura desde el pin actual
22             temperatura = Adafruit_DHT.read(sensor, pin)
23
24             if temperatura is not None:
25                 print(f"Pin {pin} - Temperatura: {temperatura:.1f}°C")
26
27                 # Crear un diccionario con los datos a enviar
28                 data = {
29                     "pin": pin,
30                     "temperature": temperatura
31                 }
32
33                 # Enviar los datos al API usando POST (con verificación de SSL deshabilitada)
34                 try:
35                     response = requests.post(api_url, json=data, verify=False, timeout=10)
36
37                     # Comprobar si la solicitud fue exitosa
38                     if response.status_code == 200:
39                         print(f"Datos del pin {pin} enviados exitosamente")
40                     else:
41                         print(f"Error al enviar datos desde el pin {pin}: {response.status_code}, {response.text}")
42
43                     except requests.exceptions.RequestException as e:
44                         print(f"Error en la solicitud desde el pin {pin}: {e}")
45
46                 else:
47                     print(f"Error al leer el sensor en el pin {pin}")
48
49             # Esperar 3 horas antes de la siguiente lectura (18000 segundos)
50             time.sleep(18000)
51 except KeyboardInterrupt:
52     print("\nPrograma terminado")
53
```

Sensores de humedad, se conectaron a los pines 12, 13 y 16:

Figura 29. Programación sensor humedad

```

1  import Adafruit_DHT
2  import time
3  import requests
4  import urllib3
5
6  # Deshabilitar advertencias de SSL
7  urllib3.disable_warnings(urllib3.exceptions.InsecureRequestWarning)
8
9  # Sensor DHT11
10 sensor = Adafruit_DHT.DHT11
11
12 # Lista de pines donde están conectados los sensores DHT11
13 pines = [12, 13, 16]
14
15 # URL API REST
16 api_url = "https://192.168.0.11:3000/riego/api/sensor_humedad_tramas"
17
18 try:
19     while True:
20         for pin in pines:
21             # Leer la humedad desde el pin actual
22             humedad = Adafruit_DHT.read(sensor, pin)
23
24             if humedad is not None:
25                 print(f"Pin {pin} - Humedad: {humedad:.1f}%")
26
27                 # Crear un diccionario con los datos a enviar
28                 data = {
29                     "pin": pin,
30                     "humidity": humedad
31                 }
32
33                 # Enviar los datos al API usando POST (con verificación de SSL deshabilitada)
34                 try:
35                     response = requests.post(api_url, json=data, verify=False, timeout=10)
36
37                     # Comprobar si la solicitud fue exitosa
38                     if response.status_code == 200:
39                         print(f"Datos del pin {pin} enviados exitosamente")
40                     else:
41                         print(f"Error al enviar datos desde el pin {pin}: {response.status_code}, {response.text}")
42
43                     except requests.exceptions.RequestException as e:
44                         print(f"Error en la solicitud desde el pin {pin}: {e}")
45
46             else:
47                 print(f"Error al leer el sensor en el pin {pin}")
48
49         # Esperar 3 horas antes de la siguiente lectura (10800 segundos)
50         time.sleep(10800)
51
52 except KeyboardInterrupt:
53     print("\nPrograma terminado")

```

Figura 30. Tramas sensor humedad

```

11 require_once("../clases/Notificaciones.php");
12 require_once("../Motordb/conexiondb.php");
13 #Verificar que el método de solicitud sea POST
14 if ($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == 'POST') {
15     // Obtener los datos de la solicitud JSON
16     $input = json_decode(file_get_contents('php://input'), true);
17
18     // Verificar que los datos necesarios estén presentes
19     if (isset($input['cultivoId'], $input['HumRelSue'], $input['HumFecReg'], $input['HumHorReg'])) {
20         $cultivoId = $input['cultivoId'];
21         $humRelSue = $input['HumRelSue'];
22         $humFecReg = $input['HumFecReg'];
23         $humHorReg = $input['HumHorReg'];
24
25         // Preparar la consulta para insertar los datos en la base de datos
26         $query = "INSERT INTO reportes_humedad (CultivoId, HumRelSue, HumFecReg, HumHorReg)
27             VALUES (:CultivoId, :HumRelSue, :HumFecReg, :HumHorReg)";
28         $stmt = $conn->prepare($query);
29
30         // Ejecutar la consulta con los datos
31         $stmt->bindParam(':CultivoId', $cultivoId);
32         $stmt->bindParam(':HumRelSue', $humRelSue);
33         $stmt->bindParam(':HumFecReg', $humFecReg);
34         $stmt->bindParam(':HumHorReg', $humHorReg);
35
36         if ($stmt->execute()) {
37             // Responder con éxito
38             echo json_encode(['message' => 'Datos almacenados exitosamente']);
39         } else {
40             // Responder con error
41             echo json_encode(['message' => 'Error al almacenar los datos']);
42         }
43     } else {
44         // Responder si faltan parámetros
45         echo json_encode(['message' => 'Faltan datos requeridos']);
46     }
47 } else {
48     // Responder si no es un POST
49     echo json_encode(['message' => 'Método no permitido']);
50 }
51
52 >>

```

Finalmente se programa el sensor de intensidad lumínica.

Figura 31. Programación sensor intensidad lumínica

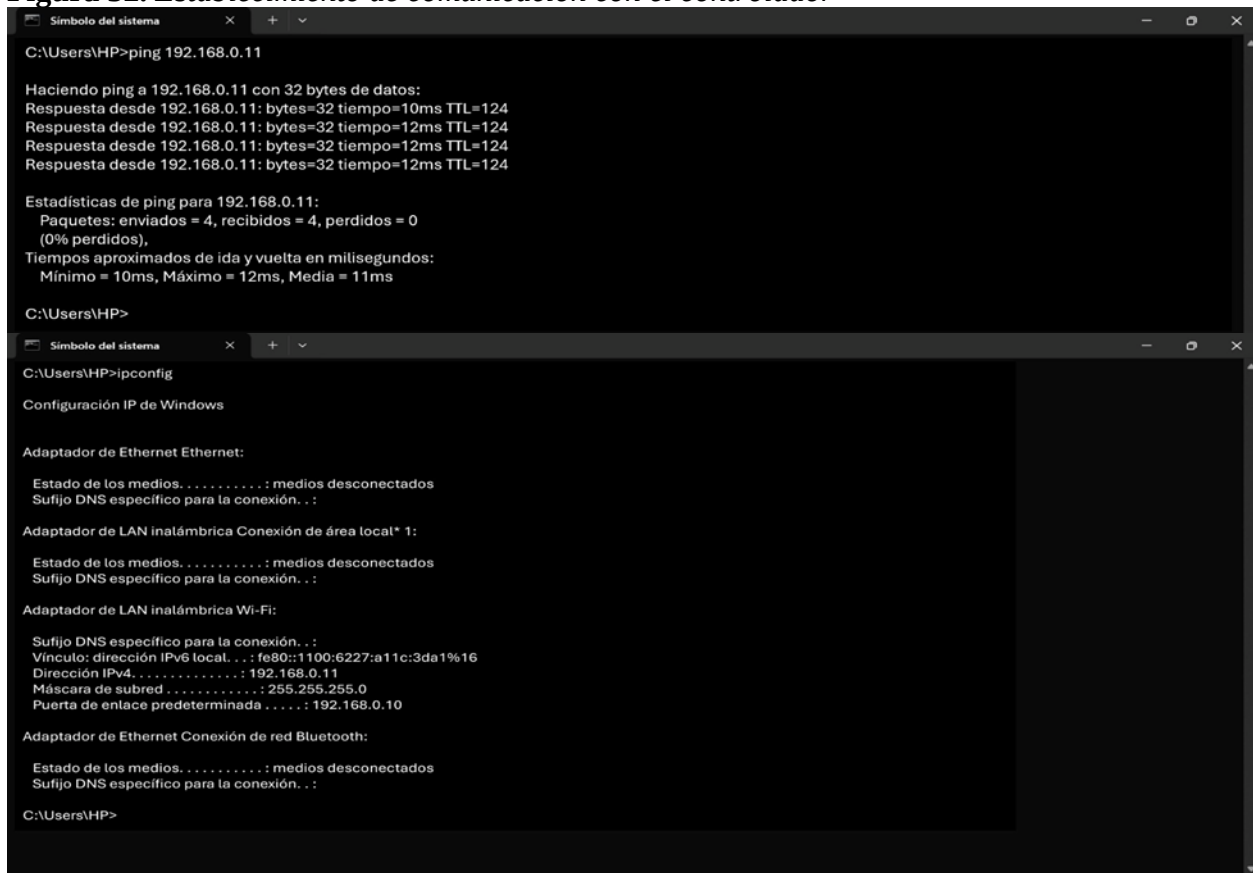
```

1  import time
2  import requests
3  import urllib3
4  import board
5  import busio
6  import adafruit_tsl2591
7
8  # Deshabilitar advertencias de SSL
9  urllib3.disable_warnings(urllib3.exceptions.InsecureRequestWarning)
10
11 # Configurar el sensor TSL2591 en el bus I2C
12 i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
13 sensor = adafruit_tsl2591.TSL2591(i2c)
14
15 # URL del API REST
16 api_url = "https://192.168.0.11:3000/riego/api/sensor_luz_tramas"
17
18 def leer_sensor_tsl2591():
19     """Lee la intensidad de luz en lux del sensor TSL2591"""
20     try:
21         # Leer la intensidad de luz
22         lux = sensor.lux
23         if lux is not None:
24             print(f"Intensidad de luz: {lux:.2f} lux")
25             return lux
26         else:
27             print("Error al leer el sensor TSL2591")
28             return None
29     except Exception as e:
30         print(f"Error al leer el sensor: {e}")
31         return None
32
33 def enviar_datos_api(lux):
34     """Envía los datos del sensor al API REST"""
35     data = {
36         "sensor": "TSL2591",
37         "lux": lux
38     }
39     try:
40         response = requests.post(api_url, json=data, verify=False, timeout=10)
41         if response.status_code == 200:
42             print("Datos enviados exitosamente")
43         else:
44             print(f"Error al enviar datos: {response.status_code}, {response.text}")
45     except requests.exceptions.RequestException as e:
46         print(f"Error en la solicitud: {e}")
47
48 try:
49     while True:
50         # Leer los datos del sensor
51         lux = leer_sensor_tsl2591()
52         if lux is not None:
53             # Enviar los datos al API REST
54             enviar_datos_api(lux)
55
56         # Esperar 1 hora (3600 segundos) antes de la siguiente lectura
57         time.sleep(3600)
58 except KeyboardInterrupt:
59     print("\nPrograma terminado por el usuario")
60

```

4.3.4. Establecimiento de comunicación

En esta parte se realiza la comunicación serial de la red, para que se puedan visualizar los datos arrojados en el sistema IoT.

Figura 32. *Establecimiento de comunicación con el controlador*

The figure consists of two screenshots of a Windows command prompt window. The top screenshot shows the execution of the command 'ping 192.168.0.11'. The output displays four successful ping responses with 32 bytes of data, response times of 10ms to 12ms, and a TTL of 124. It also includes statistics: 4 packets sent, 4 received, 0 lost (0% loss), and round-trip times of 10ms (min), 12ms (max), and 11ms (avg). The bottom screenshot shows the execution of the command 'ipconfig'. The output displays the IP configuration for the Windows system, including the Ethernet adapter, LAN wireless adapter (Wi-Fi), and Bluetooth adapter. The Wi-Fi adapter is configured with a static IP address of 192.168.0.11, a subnet mask of 255.255.255.0, and a default gateway of 192.168.0.10.

```
C:\Users\HP>ping 192.168.0.11

Haciendo ping a 192.168.0.11 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.11: bytes=32 tiempo=10ms TTL=124
Respuesta desde 192.168.0.11: bytes=32 tiempo=12ms TTL=124
Respuesta desde 192.168.0.11: bytes=32 tiempo=12ms TTL=124
Respuesta desde 192.168.0.11: bytes=32 tiempo=12ms TTL=124

Estadísticas de ping para 192.168.0.11:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
            (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 10ms, Máximo = 12ms, Media = 11ms

C:\Users\HP>

C:\Users\HP>ipconfig

Configuración IP de Windows

Adaptador de Ethernet Ethernet:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de área local* 1:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . :

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . :
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::1100:6227:a11c:3da1%16
    Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.11
    Máscara de subred. . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada . . . : 192.168.0.10

Adaptador de Ethernet Conexión de red Bluetooth:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . :

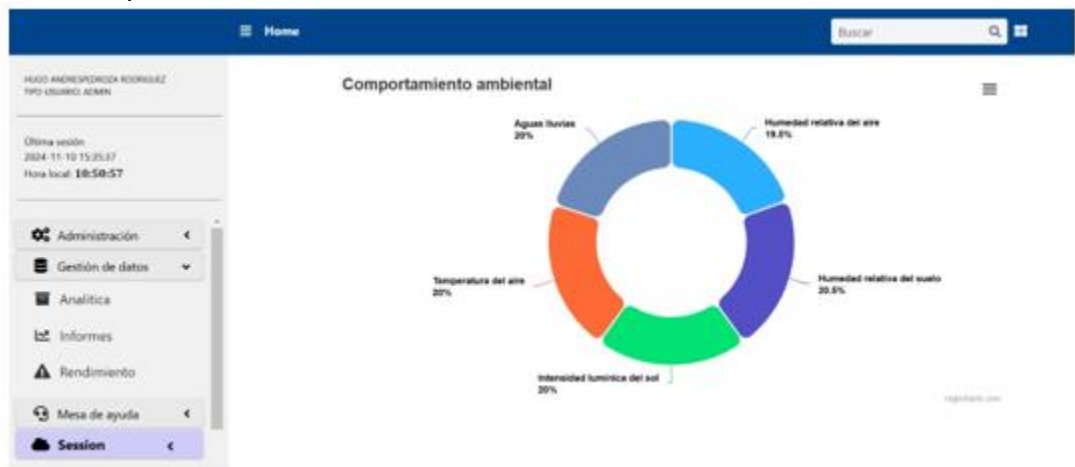
C:\Users\HP>
```

4.4. Pruebas y validación

4.4.1. Pruebas del componente del sistema

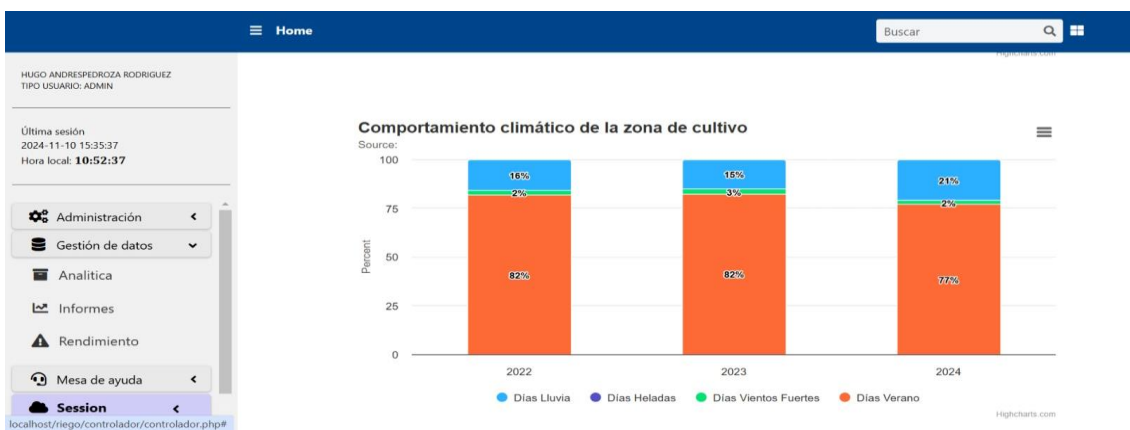
En la figura 34, se puede observar las pruebas de como es el comportamiento ambiente dentro del sistema, donde se puede visualizar un gráfico que nos muestra de los valores de las variables de: Aguas lluvias, humedad relativa del aire, humedad relativa del suelo, intensidad lumínica del sol, temperatura del aire. Estos gráficos se van actualizando según el cambio que se da en el cultivo según la variable afectada.

Figura 33. Comportamiento ambiental



Luego dentro del sistema podemos visualizar figura 35 el comportamiento climático de la zona del cultiva, el cual nos arroja ciertos gráficos que nos detallas, el cambio del cultivo según el clima que se pronostique, ya sea: días de lluvia, días helados, días de vientos fuertes, días de verano.

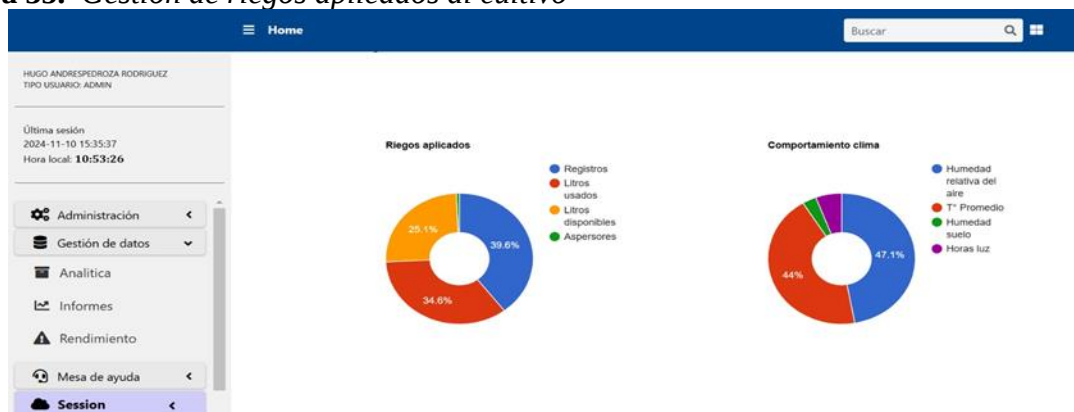
Figura 34. Comportamiento climático en la zona de cultivo



Finalmente, dentro del sistema se podrá visualizar el comportamiento de la gestión de riegos que se han aplicado al cultivo, esto lo podemos diferencias en las estadísticas con los

siguientes datos: registros, litros usados, litros disponibles, aspersores, vs humedad relativa, temperatura promedio, humedad del suelo, horas de luz.

Figura 35. *Gestión de riegos aplicados al cultivo*



Con todas estas pruebas realizadas, se puede evidenciar que los datos arrojados se validan con éxito y sin fallas ni errores al visualizarse el comportamiento de las variables dentro del sistema IoT.

5. Conclusiones

Luego de implementar el desarrollo del sistema de IoT para la medición de variables del cultivo de limón Tahití, en el Municipio de Aratoca Santander, finca el Taray, se determina que el aporte que estas tecnologías dan a las tareas que no están al alcance visible constante del ser humano, son de ayuda vital y necesaria para que estas clases de cultivos tenga una eficiente y productiva cosecha, en la cual puedan determinar en tiempo real y en cualquier parte mediante la comunicación que nos ofrece el sistema IoT, riesgos o afectaciones que puedan dar solución inmediata a lo que arroje el mismo, ya que se tiene una constante actualización del comportamiento de cada una de las variables que se puedan agregar para generar una fiabilidad en el crecimiento de los cultivos y así ser amigable e inclusivo con este tipo de tecnologías.

Se logra evidenciar que los sistemas como lo son los aplicativos, pueden enlazarse con sistemas electrónicos y automatizados que sacan una gran ventaja de ayuda para que los agricultores o campesinos puedan dedicar otras ocupaciones de la tierra.

Finalmente, podemos concluir que, mediante este prototipo desarrollado, evidenciar que hay muchas maneras, que con bajo costos se pueden adaptar a cualquier tipo de aplicación de la cotidianidad del ser humano, con el fin de avanzar y conocer las herramientas y la inteligencia de la ciencia artificial unida con otras ramas, que pueden ser provechosas de utilizarlas de una manera que nos de efectividad que contribuye a la productividad y soluciones para el ser humano. Estos procesos abren la mente para partir de ideas y re inventarse con recursos de los procesos de la ciencia, para mejorar cada implementación que se quiere llevar a cabo innovando o creando idóneamente a través de problemáticas presentadas en el diario vivir potenciando para quienes quieran reducir intervención humana en los procesos industriales.

Referencias

- Anurag, D., Siuli, R., & Somprakash, B. (13 Junio 2008). Agro-sense: agricultura de precisión mediante redes de malla inalámbricas basadas en sensores. *2008 First ITU-T Kaleidoscope Academic Conference - Innovations in NGN: Future Network and Services* (págs. 383-388). Geneva, Switzerland: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4542291>.
- A. Rezi and M. Allam,. (1995). Techniques in array processing by means of transformations . En *Control and Dynamic Systems Vol. 69* (págs. 133-180). San Diego: Academic Press.
- Adeca. (31 de Julio de 2023). *Tipos y usos de sensores de proximidad en la automatización industrial*. Obtenido de <https://aadeca.org/2023/07/31/tipos-y-usos-de-sensores-de-proximidad-en-la-automatizacion-industrial/>
- Aguilar, P. F., Escobar, M. J., Pássaro, C. P., Orduz, J. O., Mateus, D. M., Rebolledo, A., . . . Sier. (18 de Noviembre de 2015). *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización*. Corporación Universitaria Lasallista. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_nov_2015.pdf
- American Psychological Association. (s.f.). *Style and Grammar Guidelines*. Recuperado el 17 de enero de 2020, de Apastyle: <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>
- Automations, P. (09 de Noviembre de 2024). Obtenido de https://www.progressiveautomations.com/es/pages/actuadores?srsltid=AfmBOopCSu85ieVPgWqh1Qow9IcX13w91PYQIefP48OYcD-Nb4_fQQEj
- AWS. (2023). *¿Qué es una interfaz de programación de aplicaciones (API)?* Obtenido de <https://aws.amazon.com/es/what->

is/api/#:~:text=API%20significa%20%E2%80%9Cinterfaz%20de%20programaci%C3%B3n,de%20servicio%20entre%20dos%20aplicaciones.

CRAI USTA Bucaramanga. (2020). *Informe de recursos y servicios bibliográficos*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.

DANE. (Noviembre de 2015). *AGROPECUARIA*. Obtenido de Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_nov_2015.pdf

DANE. (2024). *Exportación e importación*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>

España, D. (2021 de Octubre de 2021). “¿Qué Es IoT (Internet Of Things)? Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoTinternet-of-things.html>.

Espinal, L. (Julio de 2015). *Gestion de dispositivos integrados en un arquitectura a la red de las cosas*. Obtenido de https://oa.upm.es/38797/1/TFG_LIDIA_ANDRES_ESPINAL.pdf

FAO. (21 de Enero de 2016). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC157658/>

Fortinet. (2022). *¿Qué es un cortafuegos o firewall de red?* Obtenido de <https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/firewall>

Garcia, I. (31 de Diciembre de 2022). *Elecproy*. Obtenido de <https://elecproy.com/es/plcs-definicion-partes-ventajas/>

- Gonzalez-Amarillo, C., Corrales-Munoz, J., Mendoza-Moreno, M., Gonzalez Amarillo, A., Hussein, A., Arunkumar, N., & Ramirez Gonzalez, G. (2018). An IoT-based traceability system for greenhouse seedling crops. *IEEE access: practical innovations, open solutions* (págs. 67528-67535). Cauca: Volumen 6
[https://ieeexplore.ieee.org/document/8502066?denied=.](https://ieeexplore.ieee.org/document/8502066?denied=)
- Hernández, et ál. (2014). *Revista Colombiana de Ciencias*. Obtenido de Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia:
http://www.google.com.co/url?url=http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ciencias_horticolas/article/download/3464/pdf_
- HUAWEI. (07 de Junio de 2021). *¿Qué es PLC-IoT?* Obtenido de info-Finder:
<https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/PLC-IoT.html>
- IBM. (03 de Julio de 2023). Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/automation#:~:text=IBM-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20automatizaci%C3%B3n%3F,con%20una%20intervenci%C3%B3n%20humana%20m%C3%ADnima>.
- Inside, S. (14 de Octubre de 2021). *¿Qué es un sensor de luminosidad y para qué se utiliza?* Obtenido de <https://www.simonelectric.com/blog/que-es-un-sensor-de-luminosidad-y-para-que-se-utiliza>
- Kaspersky. (13 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/firewall>

- Legal, R. (30 de Diciembre de 2005). *DECRETO 4741 DE 2005*. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/decretos/decreto-4741-de-2005.aspx>
- Lopez, H., & Rodriguez, T. (2012). *ANALISIS Y ESTUDIO DE LOS SENSORES APLICADOS A LA MECATRONICA PARA PRACTICAS EN EL LABORATORIO DE ELECTRONICA CONTROL Y AUTOMATISMO UTILIZANDO EL MODULO DE ENTRENAMIENTO NI-QNET-015* . Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/240/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-2.pdf>
- Maloy, S. (14 de Marzo de 2023). *DEWESoft*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- Martinez, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. Obtenido de <https://www.cenam.mx/dme/pdf/tm02.pdf>
- Miao, L. L. (November 8-12). A specification based approach to testing polymorphic attributes. *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*. Seattle, WA, USA,.
- Miguel, U. (2000). Nuevas tendendias de los cultivos. *Escuela superior de ingenieria*.
- MinAmbiente. (1993). *Ley 99 de 1993*. Obtenido de FUNDAMENTOS DE LA POLITICA AMBIENTAL COLOMBIANA: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- MinAmbiente. (2023). *Licenciamiento ambiental*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/licenciamiento-ambiental/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20licenciamiento%20ambiental,ambiental%20solicitada%20por%20el%20proponente>.

- MinTrabajo. (2023). *Leyes*. Obtenido de <https://www.mintrabajo.gov.co/normatividad/leyes-y-decretos-ley/leyes>
- MinVivienda. (2023). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/viceministerio-de-vivienda-espacio-urbano-y-territorial-plan-ordenamiento-territorial-pot>
- Omkar, et ál. (2007). *Introduction to IOT,* " *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. Obtenido de ISO 3297, no. 1: <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517>
- PAESSLER. (2021). *¿Qué es un servidor?* Obtenido de <https://www.paessler.com/es/it-explained/server>
- Pi, R. (2014). *¿Que es Raspberry Pi?* Obtenido de <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- Progressive Automations*. (09 de Noviembre de 2024). Obtenido de https://www.progressiveautomations.com/es/pages/actuadores?srsId=AfmBOopCSu85ieVPgWqh1Qow9IcX13w91PYQIefP48OYcD-Nb4_fQQEj
- Roman, A. (20 de Octubre de 2022). *Gestion Agroambiental*. Obtenido de <https://gestionagroambiental.com/tipos-de-sistemas-de-riego-2/>
- SAS, S. (18 de Febrero de 2021). *sistencia Técnica e Implementación de Proyectos de Inversión en agricultura, hidroponía y manejo de residuos sólidos en Colombia*. Obtenido de [Cómo calcular la relación de bases \(Ca, Mg y K\) adecuada para fertilización de Limón Tahití: https://sisdeagro.com/limon-tahiti/como-calculer-la-relacion-de-bases-ca-mg-y-k-adecuada-para-fertilizacion-de-limon-tahiti/](https://sisdeagro.com/limon-tahiti/como-calculer-la-relacion-de-bases-ca-mg-y-k-adecuada-para-fertilizacion-de-limon-tahiti/)
- SDI. (29 de Noviembre de 2023). *Qué es un sensor de humedad y cómo fu*. Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/sensor-de-humedad/>

- Serna Vian, A. (Julio de 2017). *Proyecto de diseño e instalación de un sistema de riego de 32 ha de tubería total enterrada en fromista Palencia*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/24988/1/TFG-L1605.pdf>
- Silva , O., Rincon, C., & Vasquez, N. (2020). *SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL MONITOREO DEL CLIMA EN BUCARAMANGA*. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14036/2021_Tesis_Omar_Felipe_Silva_Pinzon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SisdeAgroSAS. (23 de Junio de 2021). *Que información entrega un análisis tejido foliar de Limón Tahití*. Obtenido de <https://sisdeagro.com/nutricion-vegetal/que-informacion-entrega-un-analisis-tejido-foliar-de-limon-tahiti/>
- Sole, A. C. (2006). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega.
- Soler, P. (21 de Junio de 2024). *S&P*. Obtenido de Sensor de temperatura: tipos y normativa: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/>
- Wigner, E. P. (2005). Theory of traveling wave optical laser . *Phys. Rev.*, 134, A635-A646.
- Yate, M., & Zambrano, M. (2021). *PROTOTIPO IOT DE MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE HORTALIZAS*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d6558c5e-7e04-44e7-a93a-a0ba398eaca0/content>

Apéndices

Apéndice A. *Manual de usuario del sistema*

Manual de usuario

Sistema de IoT para medición de variables ambientales

▪ **Objetivo**

El objetivo de este manual es proporcionar una guía detallada para la gestión de cultivos y el análisis de variables ambientales a través del sistema SMV, asegurando que los usuarios puedan realizar el proceso de manera correcta y eficaz.

▪ **Alcance**

Este instructivo está dirigido a todos los usuarios del sistema que tienen la responsabilidad de administrar, gestionar y supervisar las condiciones de los cultivos, el cual cubre todos los procesos desde la creación de usuarios hasta la gestión de datos y análisis de información.

▪ **Normativa**

- ✓ Ley 1581 de 2012 - Protección de Datos Personales: Esta ley regula el manejo de datos personales en Colombia. Es importante garantizar que las contraseñas utilizadas para acceder a sistemas que manejan datos personales cumplan con los estándares de seguridad establecidos en esta ley.
- ✓ Ley 1273 de 2009 - Delitos Informáticos: Esta ley establece sanciones para los delitos informáticos, lo que incluye el acceso no autorizado a sistemas informáticos. Implementar una política de contraseñas sólida puede ayudar a prevenir el acceso no autorizado y cumplir con los requisitos de esta ley.
- ✓ Resolución 2654 de 2019 - Requisitos Mínimos de Seguridad de la Información para Entidades Obligadas: Esta resolución establece requisitos mínimos de seguridad de la información para entidades obligadas. Puede proporcionar directrices específicas sobre la gestión de contraseñas y otros aspectos de la seguridad de la información.
- ✓ Decreto 620 de 2005 - Política Nacional de Seguridad de la Información: Este decreto establece principios generales para garantizar la seguridad de la información en entidades públicas y privadas. Puede contener pautas y estándares aplicables a la gestión de contraseñas.

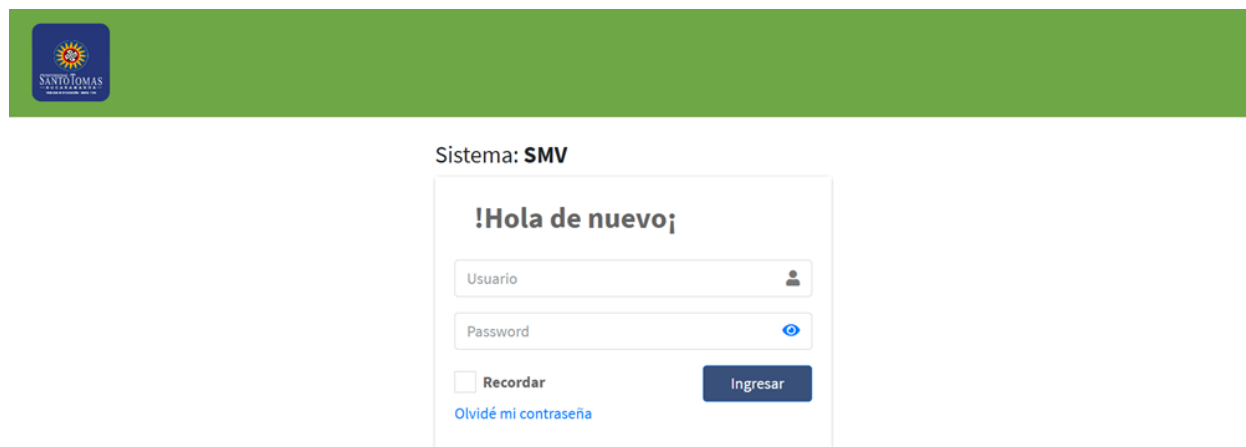
DEFINICIONES

- **Análoga:** característica de los aparatos o instrumentos electrónicos que miden variables continuas.
- **Gestión de datos:** es la práctica de recopilar, organizar, proteger, almacenar y utilizar datos de manera eficiente, segura y rentable.
- **Híbrido:** en agricultura este término define en una planta o animal que se produce al cruzar dos variedades o especies genéticamente diferentes.
- **Puerto:** es una interfaz que permite enviar y recibir datos entre un sistema o subsistema y otros.
- **Sensor:** dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etcétera, y la transmite adecuadamente.
- **Sistema de control:** un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado.
- **Variable:** es una característica, cantidad o número que se puede medir o contar. En estadística, una variable es una característica de los objetos o elementos que se estudian, y los datos son los valores que se obtienen para cada variable.

DESARROLLO

▪ Acceso al sistema

Ingresa al sistema de SMV y luego diligencie el formulario de Ingreso, número de identificación que fue proporcionado como usuarios y la clave de ingreso, para finalmente hacer clic en iniciar sesión.



Sistema: **SMV**

!Hola de nuevo!

Usuario 

Password 

☐ Recordar 

[Olvidé mi contraseña](#)

▪ Recuperación de contraseña

Si ha olvidado la contraseña, haga clic en la opción “olvide mi contraseña” que está disponible en el formulario de inicio de sesión, ingrese el usuario y haga clic en aceptar, le será enviado un correo electrónico a cuenta que ha registro en el momento de la creación del usuario, ingrese con la nueva contraseña, una vez acceda podrá crear una nueva de su preferencia.



Sistema: **SMV**

¿Olvidaste tu contraseña?

Aquí puede obtener fácilmente una nueva, sera enviada al correo electronico

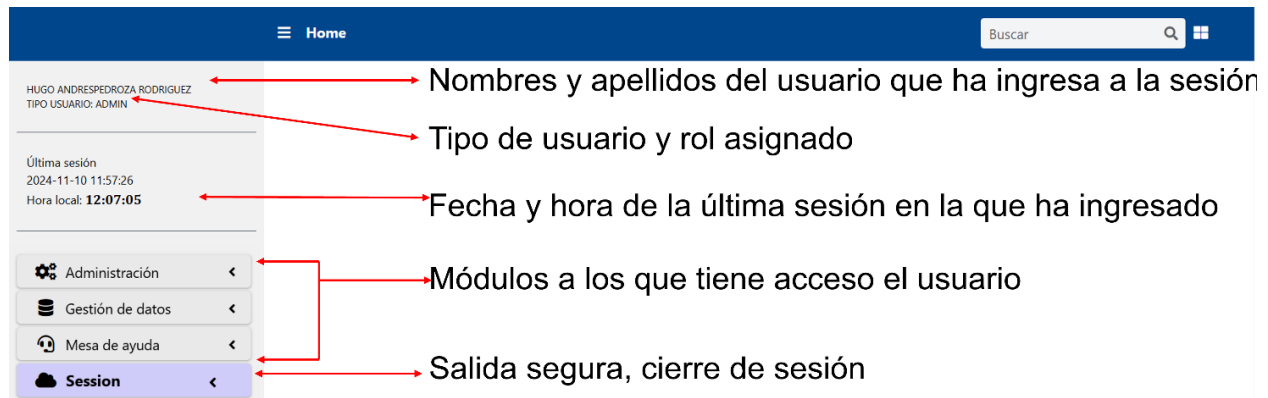
Usuario 



[Regresar al Login](#)

▪ Menú y navegación

Al ingresar al sistema encontrara todas las opciones en las cuales usted tendrá permisos y privilegios según el rol que le haya sido asignado, en este manual se describen todas las funcionalidades disponibles en a la aplicación.



▪ Administración

Despliegue esta opción y encontrará los controles para la gestión de usuarios, empresas, cultivos, tanques y sistemas de control, en cada uno de estos sub módulos usted podrá realizar las acciones de crear, buscar, editar e inactivar.



▪ Usuarios

Aquí podrá buscar, registrar, editar, eliminar e inactivar registros del sub módulo usuarios.

Home

HUGO ANDRESPEDROZA RODRIGUEZ
TIPO USUARIO: ADMIN

Última sesión
2024-11-10 11:57:26
Hora local: 14:19:24

Administración

Usuarios

Empresas

Cultivos

Tanques

Sistemas de control

Gestión de datos

Usuarios registrados

Regresar

Registrar usuarios

Mostrar 10 registros

Buscar:

Empresa	Nombre	Documento	Correo	Contacto	Rol	Usuario	Estado
Finca el Taray Aratoca-Santander	HUGO ANDRES PEDROZA RODRIGUEZ	91078541	andres.pedrozar@gmail.com	6204630 - 3155456016	ADMIN	91078541	ACTIVO

Opciones

Mostrando registros del 1 al 1 de un total de 1

Anterior 1 Siguiente

Para registrar nuevos usuarios haga clic en el botón **Registrar usuarios**, diligencia los datos del formulario, tenga en cuenta que el número de identificación será asignado como usuario, la dirección de correo electrónico proporcionada será utilizada para el envío de notificaciones, así como para recuperar la contraseña, los iconos en la cinta de opciones editar y eliminar le permitirán realizar estaciones con previa validación, si el usuario ha realizado algún tipo de actividad en el sistemas este no podrá ser eliminado, la actualización de datos le permite hacer la actualización de los datos básicos.

■ Empresas

Aquí podrá buscar, registrar, editar, eliminar e inactivar registros del su módulo empresas.

Home

HUGO ANDRESPEDROZA RODRIGUEZ
TIPO USUARIO: ADMIN

Última sesión
2024-11-10 11:57:26
Hora local:

Administración

Gestión de datos

Mesa de ayuda

Session

Empresas Registradas

Regresar

Registrar Empresa

Mostrar 10 registros

Buscar:

Razón social	NIT	Contacto	Correo	Dirección	Estado
Finca el Taray Aratoca-Santander	900533312-2	6520000 3144282054	andres.pedrozar@gmail.com	Cll 100 N 36-42 Santa Monica del Tejar Bucaramanga- Santander	ACTIVO

Opciones

Mostrando registros del 1 al 1 de un total de 1

Anterior 1 Siguiente

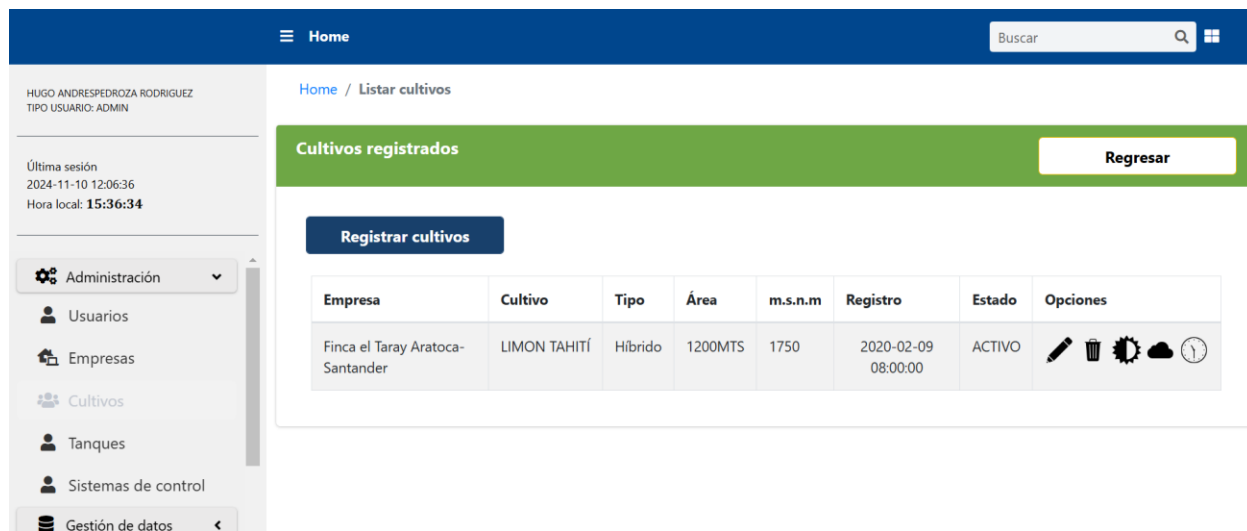
Para registrar nuevas empresas haga clic en el botón **Registrar Empresas**, diligencia los datos del formulario, tenga en cuenta que el número de identificación tributaria será asignado como usuario SUPER-ADMIN, la dirección de correo electrónico proporcionada será utilizada para el envío de notificaciones, así como para recuperar la contraseña.

Los iconos en la cinta de opciones    editar, eliminar y ubicación cumplen las siguientes funciones:

-  Edita los registros de la empresa, solo podrá realizar actualización de dirección, teléfono, correo electrónico y ubicación.
-  Eliminar registros, solo se podrá eliminar una empresa si aún no le ha sido asignados cultivos, tanques, sistemas de control entre otros. La empresa es también una finca en el sistema.
-  Ubicación geográfica de la empresa o finca, es indispensable para tener registros iniciales de las condiciones geográficas donde se encuentra ubicada la finca y los cultivos.

▪ Cultivos

Aquí podrá buscar, registrar, editar, eliminar e inactivar registros del sub módulo cultivos.



Home / Listar cultivos

Cultivos registrados Regresar

Registrar cultivos

Empresa	Cultivo	Tipo	Área	m.s.n.m	Registro	Estado	Opciones
Finca el Taray Aratoca-Santander	LIMON TAHITI	Híbrido	1200MTS	1750	2020-02-09 08:00:00	ACTIVO	   

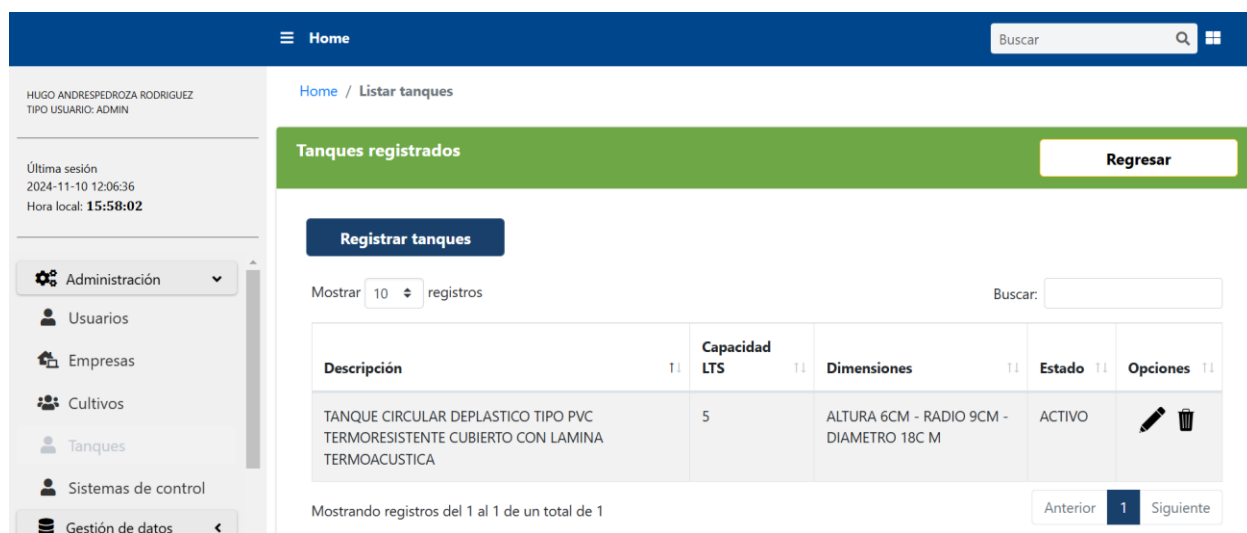
Para registrar nuevos cultivos haga clic en el botón **Registrar cultivos**, diligencia los datos del formulario, los cultivos quedaran automáticamente asignados a la empresa o finca a la que corresponda el usuario SUPER-ADMIN que tiene los privilegios de realizar este tipo de acciones, a continuación, los iconos disponibles en la cinta de opciones.

Los iconos en la cinta de opciones     editar, eliminar y ubicación cumplen las siguientes funciones:

-  Editar los campos básicos del registro de cultivos.
-  Eliminar registro, solo se podrá eliminar el registro sino le ha sido asignado sistemas de control.
-  En este icono usted podrá ver los últimos reportes de temperatura relativa ambiente y del aire.
-  Aquí podrá verificar los últimos registros de riego aplicados a través del sistema de control, si usted desea ver las características de humedad relativa del suelo.
-  opción en la cual podrá realizar el reporte de los últimos 5 riegos aplicados al cultivo a través del sistema automático de riego.

▪ Tanques

Aquí podrá buscar, registrar, editar, eliminar e inactivar registros del sub módulo tanques.



Home / Listar tanques

Tanques registrados [Regresar](#)

[Registrar tanques](#)

Mostrar 10 registros Buscar:

Descripción	Capacidad LTS	Dimensiones	Estado	Opciones
TANQUE CIRCULAR DEPLASTICO TIPO PVC TERMORESISTENTE CUBIERTO CON LAMINA TERMOACUSTICA	5	ALTURA 6CM - RADIO 9CM - DIAMETRO 18C M	ACTIVO	 

Mostrando registros del 1 al 1 de un total de 1

Anterior **1** Siguiente

Para registrar nuevos tanques haga clic en el botón **Registrar tanques**, diligencia los datos del formulario, un tanque podrá pertenecer a varios cultivos y sistemas de control, los tanques quedaran automáticamente asignados a la empresa o finca a la que corresponda el usuario SUPER-ADMIN que tiene los privilegios de realizar este tipo de acciones, a continuación, los iconos disponibles en la cinta de opciones.

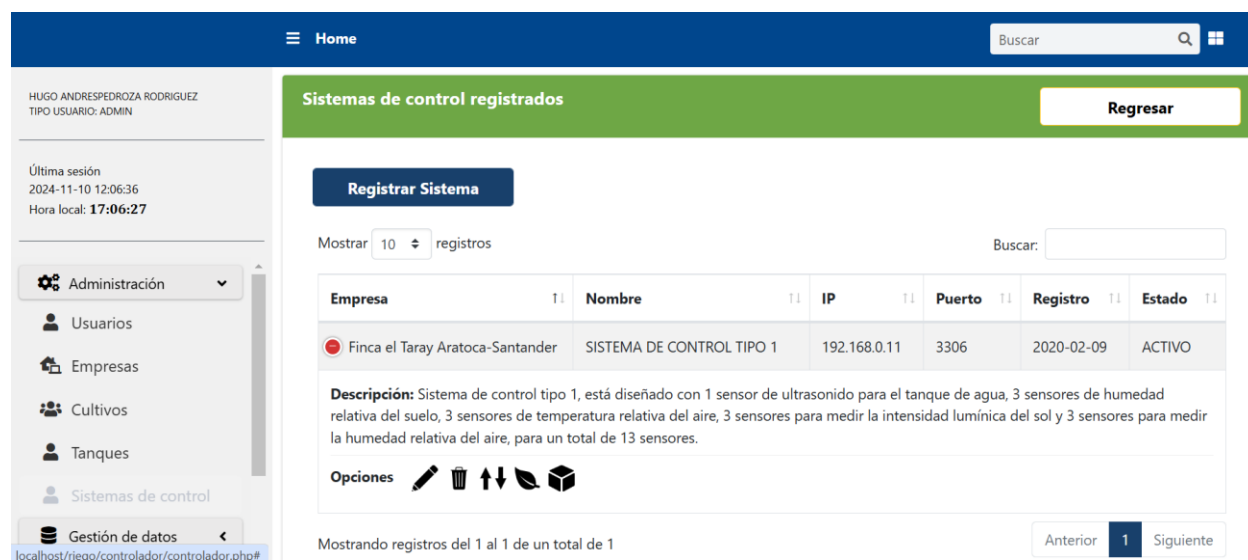
Los iconos en la cinta de opciones   editar y eliminar cumplen las siguientes funciones:

-  Editar los campos básicos del registro de cultivos.

-  Eliminar registro, solo se podrá eliminar el registro sino le ha sido asignado sistemas de control.

▪ Sistema de control

Aquí podrá buscar, registrar, editar, eliminar e inactivar registros del sub módulo sistemas de control.



Sistemas de control registrados

[Registrar Sistema](#)

Mostrar 10 registros

Buscar:

Empresa	Nombre	IP	Puerto	Registro	Estado
Finca el Taray Aratoca-Santander	SISTEMA DE CONTROL TIPO 1	192.168.0.11	3306	2020-02-09	ACTIVO

Descripción: Sistema de control tipo 1, está diseñado con 1 sensor de ultrasonido para el tanque de agua, 3 sensores de humedad relativa del suelo, 3 sensores de temperatura relativa del aire, 3 sensores para medir la intensidad lumínica del sol y 3 sensores para medir la humedad relativa del aire, para un total de 13 sensores.

Opciones     

Mostrando registros del 1 al 1 de un total de 1

[Anterior](#) [1](#) [Siguiente](#)

Para registrar nuevos tanques haga clic en el botón **Registrar Sistema**, diligencia los datos del formulario, un tanque podrá pertenecer a varios cultivos y sistemas de control, los tanques quedaran automáticamente asignados a la empresa o finca a la que corresponda el usuario SUPER-ADMIN que tiene los privilegios de realizar este tipo de acciones, a continuación, los iconos disponibles en la cinta de opciones.

Los iconos en la cinta de opciones      editar, eliminar, sensores, cultivos y taques los cuales cumplen las siguientes funciones:

-  Editar los campos básicos del registro de sistemas de control.
-  Eliminar registro, solo se podrá eliminar el registro sino le ha sido asignado sensores o tanques.
-  En esta opción podrá administrar las salidas y entradas lógicas y análogas configuradas en el PLC, con la finalidad de controlar los sensores y su correcto funcionamiento, a continuación, listado gráfico de las salidas y entradas configuradas.

Home

Buscar

HUGO ANDRESPEDROZA RODRIGUEZ
TIPO USUARIO: ADMIN

Última sesión
2024-11-10 12:06:36
Hora local: 17:12:03

Administración

Gestión de datos

Mesa de ayuda

Session

Administración de compuertas logicas

Regresar

Mostrar 10 registros

Buscar:

Dirección lógica	Puerto	Tipo	Descripción	Estado	Opciones
ENTRADA	GPIO5	ANALOGA	SENSORE DE PROXIMIDAD UBICADO EN TANQUE DE RIEGO PARA EL CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE	ACTIVO	 
ENTRADA	GPIO6	ANALOGA	ENTRADA TIERRA PARA EL CIRCUITO DE ENERGIA DEL PLC	ACTIVO	 
ENTRADA	GPIO12	ANALOGA	SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DEL SUELO	ACTIVO	 
ENTRADA	GPIO13	ANALOGA	SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DEL SUELO	ACTIVO	 
ENTRADA	GPIO23	ANALOGA	SENSOR DE INTENSIDAD LUINICA DEL SOL	ACTIVO	 

Mostrando registros del 1 al 10 de un total de 15

Anterior

1

2

Siguiente

localhost/riego/controlador/controlador.php?A=Entradas&C=Entradas&F=SelectEntradas&Parametro=1&MetodoRow2=true#

➤  Gestión de cultivos, los cuales están asociados al sistema de control.

Home

Buscar

HUGO ANDRESPEDROZA RODRIGUEZ
TIPO USUARIO: ADMIN

Última sesión
2024-11-10 12:06:36
Hora local: 17:16:30

Administración

Gestión de datos

Mesa de ayuda

Session

Home / Administración de sisetmas de control y cultivos

Cultivos asociados al sistema

Regresar

Cultivo	Tipo	Area	m.s.n.m	Estado
LIMON TAHITÍ	Hibrido	1200MTS	1750	ACTIVO

➤  gestión de los tanques que están asociados al cultivo y están administrados por el PLC.

The screenshot displays a web application interface for managing tanks. At the top, there is a blue header with a 'Home' button and a search bar. Below the header, the user's name 'HUGO ANDRESPEDROZA RODRIGUEZ' and role 'TIPO USUARIO: ADMIN' are shown. A sidebar on the left contains navigation links: 'Administración', 'Gestión de datos', 'Mesa de ayuda', and 'Session'. The main content area is titled 'Tanques asociados al sistema' and features a table with the following data:

Descripción	Capacidad LTS	Dimensiones	Oferta disponible LTS	Ultimo reporte	Estado
TANQUE CIRCULAR DEPLASTICO TIPO PVC TERMORESISTENTE CUBIERTO CON LAMINA TERMOACUSTICA	150	ALTURA 3m, RADIO 5m, DIAMETRO 10 m	1.8 LTS 36%	2020-05-12 12:19:04	ACTIVO

A 'Regresar' button is located in the top right corner of the table area.

Esta opción es muy de muy importante gestión, acá se conoce en tiempo real la cantidad de agua con la que se cuenta para realizar riegos.

▪ Gestión de datos

Modulo especializado para la gestión de datos y de la información producida por el sistema, herramienta útil para la toma de decisiones de fácil gestión y con reportes programados para brindar al administrador de la empresa o finca a mantener en óptimas condiciones los cultivos con responsabilidad ambiental y financiera.

▪ Analítica

Modulo para la gestión de información producida por el sistema de control útil para la toma de decisiones, este módulo cuenta con la exposición de un servicio APIRest el cual puede ser utilizado por terceros a través de una solicitud expresa, con el interese de aportar y analizar información para el aprendizaje en el manejo de cultivos.

▪ Informes

Parametrización y reportes creados a las necesidades y apreciaciones del usuario final.

▪ Rendimiento

Información sobre el estado actual del servidor de base de datos y su capacidad de almacenamiento y del almacena miento local del PLC.

▪ Mesa de ayuda

Acá podrá descargar la última versión del manual de usuario.

▪ Sesión

Cierre de sesión, salir de forma segura de la herramienta es una buena práctica, es muy importante cada vez que dejes de utilizar del sistema cerrar adecuadamente tu sesión.

