

Diseño de una plataforma IoT para el monitoreo y control de variables ambientales en el cultivo  
de tomate Cherry en modalidad invernadero

Javier Camilo Rueda Serrano y Juan Felipe Silva Garcés

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero de Sistemas

Director

José Geralbert Rubiano

Ingeniero de Sistemas Especialista en Telemática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería de Sistemas

Ingeniería de Sistemas

Bucaramanga

2022

## **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a:

A nuestros padres, quienes con su amor, paciencia y gran esfuerzo nos han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en nosotros el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A nuestros hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar con nosotros en todo momento gracias. A nuestras familias porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de nosotros mejores personas y de una u otra forma nos acompañan e impulsan a alcanzar nuestros sueños y metas.

Finalmente queremos dedicar esta tesis a nuestras parejas, quienes han estado a nuestro lado respaldando y motivando a lo largo de este proceso; a todos nuestros amigos, por apoyarnos cuando más se les ha necesitado, por extender su mano en momentos difíciles y su amistad incondicional.

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestra gratitud a nuestras familias por estar siempre presentes.

Nuestro profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que conforman la comunidad educativa de la Universidad Industrial de Santander, por confiar en nosotros, abrir sus puertas y permitirnos obtener sus valiosos conocimientos durante estos años dentro de su establecimiento educativo, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo y respeto.

Finalmente queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento al Profesor José Geralbert Rubiano, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Planteamiento y justificación del problema.....	12
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo General.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. Marco teórico .....	16
3.1 Invernadero .....	16
3.2 Tomate Cherry .....	17
3.2.1 Clima y suelo en el cultivo de tomate.....	19
3.2.2 Temperatura.....	19
3.2.3 Humedad.....	20
3.2.4 Luminosidad .....	20
3.3 Niveles de Automatización.....	21
3.3.1 Sistemas de Control .....	22
3.3.2 Planta.....	22
3.3.3 Controlador .....	23
3.3.3.1 Arduino UNO.....	23
3.3.3.2 Raspberry Pi 4.....	24
3.3.4 Sensor.....	25
3.3.4.1 Analógicos .....	25
3.3.4.2 Digitales .....	26

3.3.5 Actuador.....	27
3.3.5.1 Relés.....	27
3.3.5.2 Ventiladores .....	28
3.3.5.3 Bombillos.....	29
3.3.5.4 Bomba de Agua.....	29
3.3.5.5 Servomotores .....	30
3.4 Redes.....	31
3.4.1 Red de Área Local Inalámbrica (WLAN).....	31
3.5 Esquema IoT .....	32
3.5.1 Las cosas .....	33
3.5.2 Usuario.....	33
3.5.3 Dispositivos IoT.....	33
4. Metodología .....	34
4.1 Capacitación tecnológica .....	34
4.1.1 Investigación sobre el cultivo de tomate Cherry, sus características y las condiciones ideales para un crecimiento optimo. ....	34
4.1.2 Investigación fundamentos teóricos relacionados con el proyecto (Tecnologías y estándares). .....	36
4.1.3 Estudio de casos de uso de las diferentes herramientas. ....	37
4.2 Análisis y definición de arquitectura de la estructura IoT para el invernadero .....	38
4.2.1 Definición de requisitos .....	38
4.2.2 Definición de métricas .....	39
4.2.3 Definición de pruebas .....	39

4.2.4 Definición de arquitectura.....	39
4.3 Diseño de la plataforma .....	41
4.3.1 Definición de la conectividad de la plataforma .....	41
4.3.2 Definición de interfaz de acceso .....	41
4.3.3 Definición de sistemas de almacenamiento de datos .....	42
4.3.4 Definición del tipo de invernadero .....	45
4.4 Desarrollo del Prototipo.....	46
4.4.1 Configuración básica del invernadero .....	46
4.4.2 Descripción del diseño .....	47
4.4.3 Configuración de arquitectura IoT.....	47
4.4.3.1 Arduino IDE.....	48
4.4.3.2 Framework de desarrollo .....	49
4.4.3.3 Librerías .....	51
4.4.3.4 Control de versionamiento del proyecto .....	51
4.4.3.5 Gestión de Hardware.....	52
5. Resultados y discusión .....	56
5.1 Casos de Uso.....	60
5.1.1 Variación de temperatura.....	60
5.1.1.1 Temperatura baja .....	60
5.1.1.2 Temperatura ideal .....	62
5.1.1.3 Temperatura alta .....	63
5.1.2 Variación de humedad en el suelo .....	65
5.2 Prueba de control con dispositivo móvil.....	67

6. Conclusiones .....	68
7. Recomendaciones .....	71
Referencias Bibliográficas .....	72

### Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Condiciones para el cultivo de tomate Cherry</i> .....	35
Tabla 2 <i>Lista de views con sus urls</i> .....	50

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Radiación solar en un invernadero</i> .....	17
Figura 2 <i>Cultivo de tomate cherry</i> .....	19
Figura 3 <i>Arduino UNO R3</i> .....	24
Figura 4 <i>Raspberry Pi 4</i> .....	25
Figura 5 <i>Sensor capacitivo de humedad de suelo v2.0</i> .....	26
Figura 6 <i>Sensor BME280</i> .....	27
Figura 7 <i>Relé</i> .....	28
Figura 8 <i>Ventilador 12V</i> .....	28
Figura 9 <i>Bombillo 110V</i> .....	29
Figura 10 <i>Bomba de agua 5V</i> .....	30
Figura 11 <i>Servomotor SG90 5V</i> .....	31
Figura 12 <i>Representación de red - WLAN</i> .....	32
Figura 13 <i>Esquema IoT</i> .....	32
Figura 14 <i>Representación de conectividad en la plataforma IoT</i> .....	41
Figura 15 <i>Entidad Environment</i> .....	44
Figura 16 <i>Visualización base de datos en Django administration</i> .....	45

Figura 17 <i>Prototipo invernadero diseño inicial</i> .....	47
Figura 18 <i>Comunicación serial a través del puerto USB0</i> .....	48
Figura 19 <i>Comunicación serial a través del puerto USB0</i> .....	49
Figura 20 <i>Estructura MVT de la plataforma</i> .....	51
Figura 21 <i>Estructura del versionamiento del proyecto</i> .....	52
Figura 22 <i>Diseño interior del invernadero</i> .....	53
Figura 23 <i>Diseño final externo del invernadero</i> .....	54
Figura 24 <i>Acceso a la base de datos mediante dispositivo móvil</i> .....	57
Figura 25 <i>Configuración del proceso del cultivo por parte del usuario</i> .....	58
Figura 26 <i>Filtración de datos mediante rango de fechas para visualización de estadísticas</i> .....	59
Figura 27 <i>Gráficas de estadísticas de las variables de entorno</i> .....	60
Figura 28 <i>Interfaz en baja temperatura</i> .....	61
Figura 29 <i>Invernadero en baja temperatura</i> .....	62
Figura 30 <i>Interfaz en temperatura ideal</i> .....	63
Figura 31 <i>Invernadero en temperatura ideal</i> .....	63
Figura 32 <i>Interfaz en temperatura alta</i> .....	64
Figura 33 <i>Invernadero en temperatura alta</i> .....	65
Figura 34 <i>Interfaz en baja humedad de tierra</i> .....	66
Figura 35 <i>Invernadero con sistema de riego encendido</i> .....	66
Figura 36 <i>Interfaz en humedad de tierra ideal</i> .....	66
Figura 37 <i>Plataforma IoT en funcionamiento</i> .....	67

## Resumen

**Título:** Diseño de una plataforma IoT para el monitoreo y control de variables ambientales en el cultivo de tomate Cherry en modalidad invernadero\*

**Autor:** Javier Camilo Rueda Serrano y Juan Felipe Silva Garcés\*\*

**Palabras Clave:** Control, Cultivo, Dispositivo IoT, Invernadero, Sensor, Tomate cherry.

**Descripción:** Referirse a un invernadero es hablar de una estructura cubierta, la cual brinda un ambiente adecuado para los cultivos, de esta forma logrando un ajuste donde se busca mantener las condiciones óptimas de crecimiento climático, cuyas finalidades principales son reducir los costos de producción y aumentar el rendimiento de los cultivos. En este proyecto de investigación se describe la elaboración de un diseño y se lleva a cabo el desarrollo de un prototipo IoT de control para un invernadero de tomate cherry, el cual implementa un sistema de automatización para la toma de las variables físicas más importantes que involucran el cultivo y el invernadero, como es el caso de la temperatura y la humedad, con el objetivo de mantener un clima tropical en las condiciones correctas para cada etapa de crecimiento del cultivo de tomate Cherry, teniendo en cuenta el estudio de los factores ambientales y las respuestas de los cultivos, control de algoritmo, de instrumentación y de interfaz de software/hardware.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas. Ingeniería de Sistemas. Director: José Geralbert Rubiano. Ingeniero de Sistemas Especialista en Telemática.

### Abstract

**Title:** IoT platform design for monitoring and control of environmental variables in Cherry tomato cultivation in greenhouse mode\*

**Author(s):** Javier Camilo Rueda Serrano, Juan Felipe Silva Garcés.\*\*

**Key Words:** Control, Cultivation, IoT device, Greenhouse, Sensor, Cherry tomato.

**Description:** To refer to a greenhouse is to talk about a covered structure, which provides an adequate environment for cultivation, achieving an adjustment that looks for maintaining optimal climatic growth conditions, whose main purposes are to reduce production costs and increase productivity of the cultivation. In this research project, we describe the elaboration of a design and the development of an IoT control prototype for a cherry tomato greenhouse cultivation, which implements an automation system that takes care of the most important physical variables that involve the cultivation and the greenhouse, as is the case of temperature and moisture, with the aim of maintaining a tropical climate in the correct conditions for each growth stage of the cherry tomato, taking into account the study of environmental factors and cultivation responses, control algorithm, instrumentation and software/hardware interface.

---

\* Degree Work

\*\*Faculty of Physical and Mechanical Engineering. Systems Engineering School. Systems Engineering. Director: José Geralbert Rubiano. Systems Engineer Specializing in Telematics.

## **Introducción**

A lo largo de este proyecto se creará un prototipo para el monitoreo y control de variables de cultivo de tipo invernadero para tomate Cherry, donde se buscará la recolección en tiempo real de los diferentes datos ambientales que interfieren en el desarrollo y crecimiento de esta planta, y así mismo lograr establecer las condiciones adecuadas para un óptimo desempeño de la misma, a través de diferentes sensores que se encargan de medir datos relevantes como la temperatura, humedad, presión, luminosidad, y demás características que se manipulan mediante el uso de plataformas IoT, logrando automatizar diferentes sistemas que contrarrestan las condiciones inadecuadas en el momento que sea necesario, por medio de la automatización del sistema de riego, extracción de calor, apertura de compuertas para mayor ingreso de luz y control de temperatura, y monitoreo constante con alertas que puedan ayudar al agricultor a tener la mejor eficiencia posible sin necesidad de su intervención directa, además de permitir un ahorro en costos teniendo un ambiente seguro ante adversidades climáticas, y obteniendo la mayor eficiencia posible a la hora de cosechar el fruto.

### **1. Planteamiento y justificación del problema**

Un invernadero está formado por una estructura que ofrece un ambiente controlado y óptimo para los cultivos, esta suele ser metálica o de plástico cubierta por materiales translúcidos para conseguir la máxima luminosidad en el interior. Dentro de este invernadero obtendremos unas condiciones artificiales cuya finalidad es intervenir positivamente, reducir el costo de producción y aumentar los rendimientos de los cultivos en menos tiempo. A su vez, resguarda a las plantas o

cultivos que están en su interior de daños ambientales como heladas, fuertes vientos, granizo, plagas de insectos.

Según estudios realizados a cargo de la Superintendencia de Industria y Comercio en su página web (BANCO DE PATENTES SIC, 2014), en el 2014 se estimaba que existían 979.000 hectáreas cultivadas bajo la modalidad de invernadero en todo el mundo, siendo su mayoría parte de Japón, con el 73% y por otra parte, Colombia con un pequeño porcentaje del 0.73%, teniendo en cuenta del potencial que tiene el país y la capacidad de producción de la que se puede gozar, esta cifra debería ser mucho mayor; afortunadamente en este último año 2020, a mediados de Abril, se realizó una inversión de \$1380 millones, con los que se financió la construcción de 62 invernaderos en Nariño, según un artículo publicado por la página de la Presidencia (Presidencia de Colombia, 2020), el 23 de abril de 2020. Se observa que cada día se fomenta más esta modalidad de cultivo, pues se encuentra una necesidad para tener un mayor aprovechamiento de estos, ya que las pérdidas de producto y el deterioro por el cambio climático son una realidad que se ha venido viviendo desde siempre, como se ha podido ver en diferentes escenarios lamentables, donde los campesinos sufren las consecuencias del invierno como ha ocurrido en Berlín con sus tremendas heladas que presentaron temperaturas bajo cero y pérdidas millonarias (Vanguardia, 2020), o las fuertes sequías, como sucedió en abril de 2020 en varios municipios del Atlántico (El Tiempo, 2020). Por esto se comienza a contemplar cada día el uso de invernaderos, cuya mayor ventaja es el control que se puede ejercer ante las condiciones climáticas que suelen ser las mayores causantes de la destrucción o pérdida de los cultivos.

El empleo de IoT en la agricultura y más específicamente en los cultivos de tipo invernadero son algo que se populariza en gran medida, gracias a los avances y la implementación de más tecnologías que permiten mayor precisión y control personalizado.

Como se ha realizado en Huelva, España, donde algunos Científicos del grupo de investigación ‘Optimization and Control of Distributed Systems’ de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Loyola, junto con investigadores del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria (Ifapa), colaboran en la monitorización de invernaderos de arándanos en Almonte (Huelva) a través de IoT. Donde por medio del uso de diferentes nodos que capturan la información sobre temperatura y humedad del suelo, así como humedad relativa y temperatura del aire; esta información pasa a un dispositivo electrónico conectado a los sensores, y automáticamente se sube a la nube, donde estará a disposición de los científicos, permitiendo así llevar un control sobre las condiciones en las que se está desarrollando el cultivo de arándanos (Redagrícola, 2021). Al emplear las IoT se obtienen enormes ventajas que permiten un mayor control sobre el área a tratar, al mantener un monitoreo constante de las diferentes variables que influyen en el proceso y desarrollo de un cultivo, de esta forma se conoce el comportamiento y las necesidades requeridas para obtener un gran aprovechamiento en todos los aspectos, como lo es una producción más constante, eficiente y de mayor calidad, pues se tiene un control en tiempo real en la palma de la mano que brinda la información necesaria para saber los requerimientos del cultivo y del mismo modo se puede automatizar para que de esta forma no sea necesario requerir de alguien a cargo y también se pueda aumentar la cifra de producción.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un prototipo IoT que permita el monitoreo y control de variables ambientales en el cultivo de tomate Cherry en modalidad invernadero.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Identificar las variables y requerimientos para el diseño de una plataforma IoT que permita el monitoreo y control de variables ambientales en el cultivo de tomate Cherry en modalidad invernadero.

Seleccionar los componentes para la infraestructura hardware y software involucrados en el desarrollo de la plataforma IoT.

Diseñar la arquitectura del hardware y software que cumplan con los parámetros definidos en los objetivos anteriores.

Evaluar el desempeño del diseño de la plataforma IoT, mediante la elaboración de un prototipo de la plataforma según los objetivos planteados e interacción con una maqueta a escala del sistema en la que se pueda observar el funcionamiento del control, el sensor, la respuesta a los cambios y el control remoto.

### **3. Marco teórico**

#### **3.1 Invernadero**

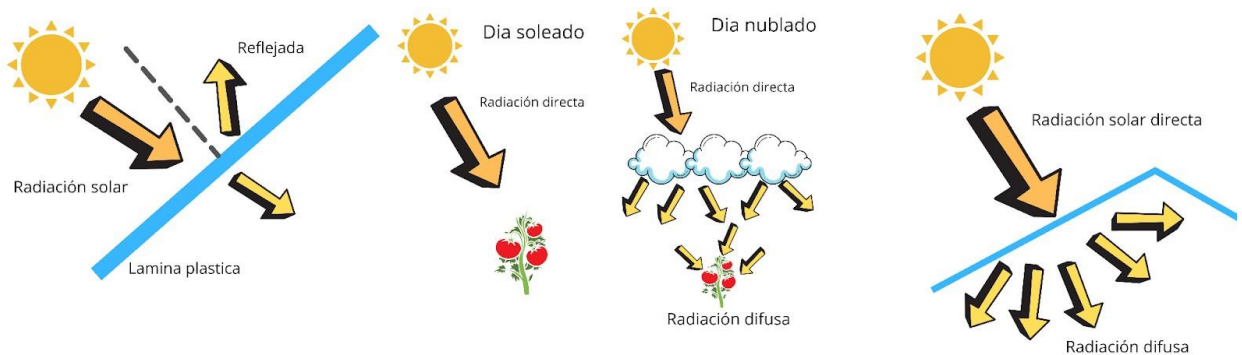
Un invernadero, o también llamado cultivo protegido, se trata de un sistema agrícola especializado donde se lleva a cabo cierto control del medio alterando las condiciones que influyen en este cultivo (suelo, temperatura, viento, humedad, entre otros). Al implementar estas técnicas de protección se puede lograr una calidad óptima y un mejor rendimiento de los cultivos al ser modificado su entorno natural, y de tal modo puede prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, lograr una producción estable y tener cosecha disponible incluso cuando la producción al aire libre se encuentre limitada. El objetivo del invernadero es obtener producciones con alto valor añadido. El factor que más relevancia tiene sobre la actividad productiva es el clima. Así mismo, es importante tener presente la falta o exceso de radiación solar, las temperaturas inadecuadas, el exceso o falta de humedad, las deficiencias de nutrientes, la presencia de maleza, el exceso de viento y el inadecuado contenido de dióxido de carbono del aire. La mayoría de las limitantes mencionadas son factores usualmente relacionados con el clima, que pueden ser manipulados correctamente mediante el empleo de invernaderos. Hay diferentes factores que intervienen a la hora de elaborar un cultivo protegido o invernadero.

Inicialmente se debe realizar la elección del modelo del invernadero, donde se toma en cuenta la capacidad económica del productor, siempre y cuando la estructura cumpla con los requerimientos necesarios para el desarrollo del cultivo, sea funcional e intuitivo, sea lo suficientemente fuerte como para soportar adversidades climáticas extremas, el peso del cultivo y los sistemas internos tenga buena durabilidad y una cobertura fácil de cambiar y de fácil mantenimiento. La manera de captar la radiación y la cantidad de sombra que la estructura del

invernadero provoca son un factor de importancia, por tanto, lo ideal es tener una orientación de norte a sur con una ligera inclinación hacia el noreste, de forma que los rayos del sol siempre lleguen a la cubierta plástica de forma perpendicular. Es fundamental lograr que por lo menos el 70% de radiación solar pueda entrar al cultivo; en caso contrario se notará disminución de la producción, sensibilidad al ataque de plagas y enfermedades y finalmente se provoca desnutrición en la planta.

### Figura 1

#### *Radiación solar en un invernadero*



### 3.2 Tomate Cherry

El Tomate Cherry o *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, como dicta su nombre científico, es originario de América y esta variedad es cultivada desde comienzos del siglo 19 en lugares como Perú y el Norte de Chile. Se le puede conocer como tomate cereza, tomate pasa o tomate uva también. Es perteneciente a la familia Solanaceae y al género *Solanum*.

El tomate Cherry es un cultivo llamativo para opciones innovadoras de producción en la modalidad de cultivo protegido, enfocado en satisfacer una demanda creciente. La producción de este cultivo como tal no es muy exigente, puede crecer en clima templado, aunque para un crecimiento óptimo y producción rentable del cultivo es adecuado controlar diferentes aspectos

como en el suelo y la temperatura también, adicionalmente se recomienda abonar el suelo y hacer uso de fertilizante que aumentaran la densidad del follaje y la calidad de los frutos.

Al momento de sembrar este cultivo como fue mencionado con anterioridad, no tiene gran dificultad y no requiere de muchos detalles para poder empezar con el desarrollo, únicamente es necesario contar con las semillas del tomate, se deben sembrar a 1 centímetro de profundidad seguido por un riego de abundante agua, después de aproximadamente 7 días comenzará a brotar, y al poco tiempo cuando la planta haya crecido lo suficiente, será necesario el uso de unas estructuras llamadas tutores, que ayudan guiando la dirección de la tomatera.

Durante el proceso de cultivo es fundamental mantener un riego moderado, regando una o dos veces a la semana, es crucial evitar el exceso de humedad con el fin de prevenir una enfermedad muy común en este tipo de cultivo llamada Mildiu. Como es de saber todos los cultivos son propensos a enfermedades por carencia o exceso de algún factor como se pudo apreciar anteriormente por eso hay varias recomendaciones básicas como la desinfección del suelo previo a la siembra, control constante a la humedad y temperatura, uso de pesticidas con moderación y entre otras sugerencias para que la cosecha sea de la mejor calidad posible. Por otra parte, durante el crecimiento del cultivo es necesario retirar las plántulas débiles con el objetivo de dejar que el tallo fuerte use todos los componentes necesarios para un buen desarrollo, dejando de esta manera dos plantas por tutor siendo este uno de los métodos eficientes, ya en el momento de la cosecha que es aproximadamente luego de 90 días, se podrá apreciar el resultado con frutos maduro y de gran calidad.

**Figura 2**

*Cultivo de tomate cherry*



*Nota.* Adaptado de Jardinatis, 2018.

**3.2.1 Clima y suelo en el cultivo de tomate**

El tomate es un cultivo que tiene fácil adaptación a gran variedad de climas. Aunque tiende a sufrir en climas con posibilidad de heladas, un fenómeno que es el punto débil del tomate.

**3.2.2 Temperatura**

Se trata del principal factor climático que interviene en gran parte de las etapas de desarrollo y los procesos fisiológicos de este cultivo. El correcto desarrollo de sus diferentes etapas (germinación, crecimiento vegetativo, floración, fructificación y maduración de frutos) tiene dependencia de la cifra de temperatura que el tomate alcanza en el invernadero durante cada periodo crítico. Al ocurrir una subida de temperatura en un invernadero, se genera una intensificación de todos los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes, ocurren alteraciones que desordenan la fisiología y se detiene la floración; cuando estas temperaturas son muy prolongadas, la planta muere.

El tomate es un cultivo capaz de crecer y desarrollarse en condiciones climáticas variadas. Su temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre 21-27° C, y al momento del cuajado de frutos durante el día está entre 23-26° C y durante la noche entre 14-17° C.

### **3.2.3 Humedad**

Al referirse a la humedad en el cultivo de tomates, se conoce que la humedad relativa ideal para el desarrollo de este cultivo debe estar entre el 65-75 % para lograr un óptimo crecimiento y fertilidad. Si se superan los valores mencionados se fomenta el desarrollo de hongos, se favorece el desarrollo de enfermedades, y se generan desórdenes que afectan los frutos, como lo es el manchado, que produce una maduración por parches asociada también a la deficiencia de potasio; grietas, malformación, y frutos huecos. Además, esto genera dificultades en la fecundación por la compactación del polen y las flores se pueden caer. Cuando las condiciones climáticas poseen una humedad relativa baja y temperatura alta, se debe ventilar con el fin de facilitar la circulación del aire. Esto además origina mayor tasa de transpiración, algo que puede causar estrés hídrico, mayor actividad radicular y cierre estomático, lo que altera negativamente la actividad fotosintética de la planta, absorción de agua y nutrientes. Al estar bajo estas condiciones, se favorece la aparición del desorden fisiológico conocido como podredumbre apical o culillo, causado por la deficiencia de calcio. Así mismo, la humedad relativa baja también seca el polen y genera anomalías en la fecundación, produciendo frutos pequeños, deformes y huecos.

### **3.2.4 Luminosidad**

Un cultivo como el de tomate requiere de días soleados para tener un buen desarrollo y alcanzar una coloración uniforme en el fruto. Una baja luminosidad tiene un efecto negativo en los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, además de disminuir la absorción de agua y nutrientes.

En la mayoría de los cultivos, la tasa de crecimiento se ve influenciada en gran parte por la radiación; donde a mayor radiación se obtiene una mejor estimulación del crecimiento vegetativo y, por tanto, una producción más alta, principalmente gracias a la mejora en la asimilación y producción de materia seca.

La producción y calidad de un cultivo se ven fuertemente afectadas por la sombra artificial o por el polvo acumulado sobre la superficie de los plásticos, algo que disminuye la cantidad e intensidad de la luz al interior del invernadero. De igual manera, el exceso de estructuras en el invernadero, sobre todo en la parte del tutorado, disminuye la cantidad de luz. Se ha comprobado que una baja luminosidad tiene como consecuencia la producción de frutos huecos y una maduración manchada en los frutos de tomate, por tanto, es recomendable renovar los plásticos o realizar mantenimiento, mediante el lavado de las coberturas. Al tener una luminosidad pobre al interior del invernadero, los cultivos tienden a aislarse buscando luz, tener tallos débiles y una baja producción del fruto.

### **3.3 Niveles de Automatización**

Por lo regular, automatizar un invernadero conlleva el proceso automatizado del control de la temperatura del aire, supervisión de la humedad, control de la cantidad de luz, niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), provisión de nutrientes necesarios, control de plagas, pero en este proyecto se maneja la variación del clima. Con el fin de controlar fácilmente los factores climáticos de este cultivo invernadero de una manera sencilla, se basa en sensores los cuales llevan un seguimiento a todas las variables que alteran el crecimiento del cultivo. Los datos captados por los sensores son los que se replican en el controlador, estos parámetros ambientales se irán ajustando mediante los diferentes funciones predeterminadas y actuadores (bomba de agua, ventiladores, bombillos y compuertas operadas por servomotores).

Cuando se hace referencia a los actuadores, se habla de los dispositivos que regulan las diversas funciones requeridas durante todo el proceso que se lleva a cabo en el invernadero, como es el caso de los servomotores que controlan respiraderos necesarios para regular la temperatura y la cantidad de luz del sol directa, la bomba de agua encargada del riego cuando la humedad del suelo no se encuentra dentro de los parámetros adecuados. Es apreciable que cada actuador tiene una funcionalidad definible y que cada operación llevada dentro del invernadero puede verse afectada por las variables ambientales mencionadas en este documento.

### ***3.3.1 Sistemas de Control***

El objetivo primordial de estos sistemas que regulan de forma automática es determinar la arquitectura y los diferentes valores a partir del estudio de un proceso; de tal forma que el sistema sea capaz de adaptarse automáticamente de la forma más acertada posible ante un imprevisto en su funcionamiento. Siendo visto desde la teoría del control, un proceso se conforma por un conjunto de elementos relacionados entre sí, buscando alcanzar un fin determinado, ofreciendo señales de salida en función de los datos de entrada. Al conocer el comportamiento de estas señales, se permite seleccionar la acción adecuada a tomar para lograr las mejoras más pertinentes para favorecer el sistema.

### ***3.3.2 Planta***

También denominado proceso. En este elemento se lleva a cabo el proceso de transformación de la energía que fue suministrada y se quiere controlar. Como lo es el proceso de riego, transformando la energía eléctrica a mecánica dentro del motor de la bomba, y por último en energía cinética al pasar el caudal de agua impulsado por la tubería.

### **3.3.3 Controlador**

Este proporciona la estimulación en el proceso con el fin de alcanzar la salida deseada. Su función es el control del comportamiento a nivel global del proceso.

Para la automatización del cultivo se puede realizar un monitoreo y control por medio de un microcontrolador o un sistema embebido como es el caso de un Arduino o Raspberry Pi.

#### **3.3.3.1 Arduino UNO**

Es utilizado como un microcontrolador, cuando tiene un programa descargado desde un ordenador y funciona de forma independiente de éste, y controla y alimenta determinados dispositivos y toma decisiones de acuerdo con el programa descargado e interactúa con el mundo físico gracias a sensores y actuadores. Arduino puede emplearse para el desarrollo de elementos autónomos, conectarse a otros dispositivos o interactuar con otros programas, para interactuar tanto con el hardware como con el software. Se puede usar tanto para controlar un elemento, como se verá más adelante, donde una bomba de agua se activa para realizar el riego basándose en el sensor que indica el porcentaje de humedad de suelo, conectado al Arduino, o bien para transformar información de una fuente, como puede ser un teclado, y convertir la información a algo que entienda, por ejemplo, un ordenador.

**Figura 3**

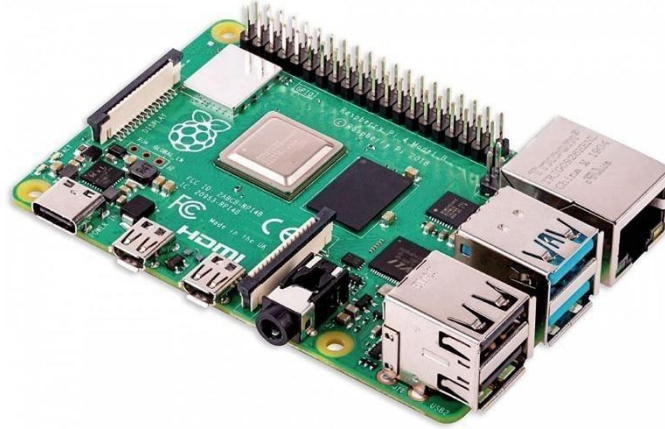
*Arduino UNO R3*



*Nota.* Adaptado de Sparkfun, 2022.

**3.3.3.2 Raspberry Pi 4**

Es un minicomputador de escritorio, un poco más grande que una tarjeta de crédito. Lo único que se requiere es conectar los diferentes periféricos: un monitor, teclado, ratón y cargar la última imagen Raspbian en una tarjeta MicroSD. Es la máquina ideal para proyectos DIY: al ser fiable, modificable, de código abierto y con gran eficiencia. Además de la practicidad que posee gracias a su reducido tamaño y bajo costo en comparación a un computador convencional, teniendo presente las excelentes prestaciones que posee.

**Figura 4***Raspberry Pi 4*

*Nota.* Adaptado de Dynamo Electronics, 2022.

**3.3.4 Sensor**

Es el elemento que permite tomar los datos que salen del cultivo. Tanto en el control por medio de esos datos, también se encarga de la retroalimentación. Los sensores tienen como función transformar una observación física en señales eléctricas, como lo hacen con la temperatura, la altura, humedad, presión, velocidad, entre otras. Se componen de dos partes primordiales, las cuales son, el detector y un transmisor; donde el primero se encarga de transformar la observación física en señales eléctricas y el segundo de realizar el envío o transmisión de estas señales al controlador para que éste emita una señal de respuesta. Se pueden dividir en gran variedad de categorías, como lo puede ser por el tipo de señales:

**3.3.4.1 Analógicos**

Proporcionan la información por medio de una señal analógica (como puede ser el caso de la tensión, o la corriente), es decir que pueden tomar infinidad de valores entre un mínimo y un máximo. Como es el caso del Sensor capacitivo de humedad de Suelo V2.0, con el cual como lo

dice su nombre, se obtienen los datos del porcentaje de humedad en el suelo donde se encuentra el cultivo.

### **Figura 5**

*Sensor capacitivo de humedad de suelo v2.0*



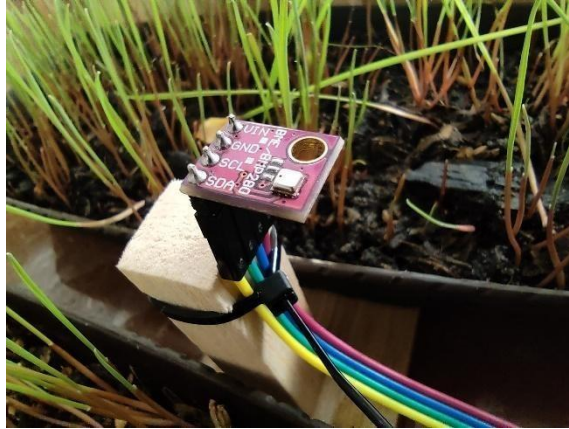
*Nota.* Adaptado de MercadoLibre Ecuador, 2022.

#### **3.3.4.2 Digitales**

Los cuales proporcionan la información por medio de una señal digital que puede ser un “0” o un “1” lógicos, o bien un código de bits. Como es el caso del sensor BME 280 que se implementa en este invernadero, un diminuto sensor por medio del cual se obtienen los diferentes datos de humedad, altura, temperatura y presión atmosférica en el aire.

**Figura 6**

*Sensor BME280*

**3.3.5 Actuador**

Es el último elemento de control, donde se genera la respuesta física de todo el sistema. Usualmente consta de dos partes: la primera se refiere a una adaptación de potencia, el cual se encarga de lograr la cantidad de potencia necesaria para alimentar la segunda parte, el actuador, el cual es el elemento que realiza alguna acción conforme a la señal que recibe del controlador para responder y mantener un control establecido.

**3.3.5.1 Relés**

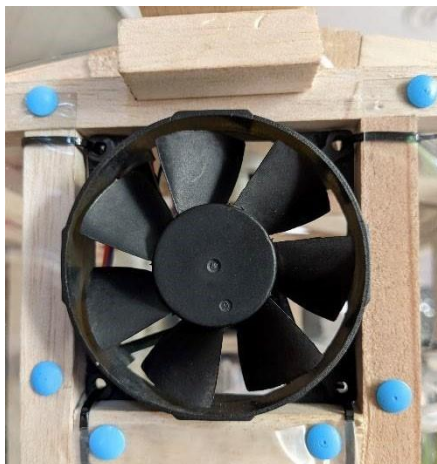
Se trata de un interruptor mecánico que se acciona de manera eléctrica. Se compone de dos o más contactos, que corresponden a uno o varios circuitos independientes, y de un elemento que se encarga de controlar la conmutación. La corriente y tensión necesarias para el control son muy reducidas respecto a la potencia del circuito controlado. Algo que se presta para que el interruptor de control sea de potencia muy inferior a la necesaria en un interruptor intercalado directamente en el circuito controlado.

**Figura 7***Relé*

*Nota.* Adaptado de Components101, 2020.

### 3.3.5.2 Ventiladores

Se emplean un par de ventiladores de ordenador de 12V conectados en paralelo y regulados gracias a un adaptador con transformador a 12V. Estos responden a las variaciones de temperatura, siendo accionados al momento en que se requiere expulsar el calor, para mantener los parámetros adecuados para el desarrollo del cultivo.

**Figura 8***Ventilador 12V*

### 3.3.5.3 Bombillos

Se emplean un par de bombillos pequeños de 110V conectados en paralelo. Estos, contrarios al anterior componente, se encargan de aumentar la temperatura por medio del calor que irradian al estar encendidos, acción que se lleva a cabo cuando la temperatura es lo suficientemente baja.

#### **Figura 9**

*Bombillo 110V*



### 3.3.5.4 Bomba de Agua

Este actuador entra en acción cuando el sensor de humedad de suelo detecta que los valores están fuera del rango adecuado, por tanto, la bomba de 5V entra en funcionamiento, llevando el agua desde el depósito a lo largo de la tubería que compone el sistema de riego, y deteniendo su funcionamiento cuando el sensor detecte que la humedad tiene el valor necesario para el correcto crecimiento del cultivo.

**Figura 10**

*Bomba de agua 5V*



*Nota.* Adaptado de MultanElectronics, 2022.

**3.3.5.5 Servomotores**

El diseño de este invernadero de tipo capilla modificada, posee dos compuertas en el techo que permiten el ingreso de aire fresco y mayor cantidad de luz durante el día, estas compuertas son operadas por medio de dos servomotores SG90 que, en pocas palabras, generan un movimiento de rotación, aprovechado para levantar estas compuertas cuando las temperaturas se encuentren por encima del rango indicado.

**Figura 11**

*Servomotor SG90 5V*



*Nota.* Adaptado de Colombianizate, 2022.

**3.4 Redes**

Se compone de un conjunto de computadores conectados mediante una o más vías de transmisión. La vía por la cual ocurre esta transmisión normalmente es una línea telefónica, debido a la universalidad que posee. El objetivo de la red es la transferencia e intercambio de datos o información entre computadores y terminales. En este intercambio se cimentan múltiples servicios que usamos a diario, como lo son las transferencias de dinero, los cajeros automáticos, terminales de puntos de venta, entre otros ejemplos.

**3.4.1 Red de Área Local Inalámbrica (WLAN)**

Es un grupo de computadores u otros dispositivos interconectados, de manera en que forman una red basada en transmisiones de radio en lugar de conexiones por cable. Los datos se envían en paquetes, los cuales se componen de diferentes capas con etiquetas e instrucciones que, junto con las direcciones MAC (Control de acceso a medios) únicas asignadas a los puntos finales, permiten el enrutamiento a las ubicaciones deseadas.

**Figura 12**

*Representación de red - WLAN*



*Nota.* Adaptado de MBN, 2019.

**3.5 Esquema IoT**

Para un desarrollo IoT (Internet of Things), se hace el uso de un esquema que reúne los componentes en secciones y capas. Cada una de las secciones está encargada de una parte de todo el proceso, haciendo sencillos los pasos para que los componentes tengan sus funciones que a la vez conforman todo el sistema.

**Figura 13**

*Esquema IoT*

Servicios en la Nube	Acceso remoto, mensajería, contenido, redes sociales	Acceso/Control Usuario	Parlante, Micrófono
Controlador	Controlador Local/HUB/BROKER		Tablet, Teléfono, PC
Redes Locales	Wifi/Bluetooth/Zigbee/etc...		
Dispositivos IOT	Sensores/Actuadores		Otras, BCI
cosas	Interruptores/Luces/Termostatos/cámaras/televisores/puertas		

*Nota.\** El esquema presenta el comienzo con lo tangible, las "cosas" presentado en el bloque inferior en gris, mientras el "usuario" observa, controla y se beneficia del estado en el que las cosas pueden estar, el bloque azul es representado como una sección en el que está situado el usuario.

### ***3.5.1 Las cosas***

Las "cosas" representan el objeto que se quiere controlar u observar su estado. Para saber los estados usualmente se utilizan sensores que son los captore de dichos estados por ejemplo encendido/apagado, 0/1, son estados que comúnmente puede llegar a capturar. Por otro lado, los estados de las cosas son alterados por los actuadores.

### ***3.5.2 Usuario***

El "usuario" supervisa, maneja, se beneficia del estado de las cosas y tiene acceso a las mismas física y virtualmente. El usuario para acceder a las cosas tiene un camino que atraviesa donde existen algunos componentes tecnológicos intermedios que son apreciables en la Figura 13.

### ***3.5.3 Dispositivos IoT***

Los dispositivos IoT son parte fundamental para la interacción entre las cosas y el usuario, constan de sensores y actuadores, donde los sensores interpretan los estados bien sea digitales, analógicos o binarios, con lo que genera un mensaje para enviarlo a un punto central donde se hace la gestión de la información (Servidor o Broker). El dispositivo gestiona la revisión de los sensores y envío de mensajes usando un microcontrolador, como ARDUINO, ESP8266, ESP32, etc.

## 4. Metodología

### 4.1 Capacitación tecnológica

#### *4.1.1 Investigación sobre el cultivo de tomate Cherry, sus características y las condiciones ideales para un crecimiento óptimo.*

Se llevó a cabo la investigación sobre el tomate Cherry, con el fin de conocer mejor y de una manera más profunda las características que identifican a este tipo de cultivo, pues es bien sabido que tiene como ventaja principal su facilidad para ser plantado, pudiendo hacerse tanto en un jardín como en una maceta de interior (esta segunda opción es recomendable sobre todo en climas fríos), a partir de sus semillas. Tiene la capacidad de ser sembrado en casi cualquier época del año en climas tropicales, algo que le brinda gran versatilidad. Pero no es exclusivo para el clima tropical, incluso es posible sembrarle en clima templado, tomando como recomendación hacerlo luego de que lo peor del invierno ya haya pasado y antes de los días más calurosos del año.

Lo más recomendable a la hora de siembra es comprar directamente las semillas o la plántula, ya que la posibilidad de que germinen las semillas que traen los tomates, es más reducida. Una vez se obtengan las semillas se debería sembrar con un sustrato hortícola común, humedeciendo un poco la tierra y enterrando las semillas a medio centímetro de profundidad con una separación de 1 o 2 centímetros entre ellas, se cubren con la tierra procurando no dejar semillas al descubierto y se humedece nuevamente, lo siguientes días es recomendable mantener la humedad sin excederse con la cantidad de agua. Al salir las primeras hojas se recomienda dar la luz natural y realizar riego cada 2 o 3 días. La luz solar es algo fundamental para su crecimiento, una vez logre un tamaño considerable, es importante implementar el uso de tutores, que, en pocas palabras, son varas o palos que sirven de guía para un crecimiento adecuado del cultivo.

El cultivo de tomate Cherry tiene ciertos parámetros recomendables a tener presentes durante sus etapas de crecimiento, es importante que reciban por lo menos 6 horas de luz directa al día, y fundamental mantener su temperatura en los rangos apropiados de acuerdo con su etapa de crecimiento, como se puede ver en la Tabla 1:

**Tabla 1**

*Condiciones para el cultivo de tomate Cherry*

Estado de desarrollo	T. mínima (° C)	T. óptima (° C)	T. máxima (° C)
Germinación	11	16-29	34
Crecimiento	18	21-24	32
Cuajado de frutos durante el día	18	23-26	32
Cuajado de frutos durante la noche	10	14-17	22
Producción de pigmento rojo (licopeno)	10	20-24	30
Producción de pigmento amarillo ( $\beta$ caroteno)	10	21-23	40
Temperatura del suelo	12	20-24	25

De igual forma que con la temperatura, es importante mantener los porcentajes de humedad adecuados, sin exceder la cantidad de agua, ya que se tiene fragilidad ante los hongos o la putrefacción de la planta, por tanto, se debe mantener un porcentaje de humedad ideal entre 60% y 80%, para lograr el crecimiento más óptimo y saludable de la planta.

#### ***4.1.2 Investigación fundamentos teóricos relacionados con el proyecto (Tecnologías y estándares).***

La investigación fundamental para el trabajo que se realizó, fue basada en las tecnologías y estándares necesarios para ser aplicados en nuestro proyecto, donde se pudo enfocar las herramientas adecuadas para cada una de las tareas que se realizarían. Inicialmente se llevó a cabo la construcción de la estructura de la maqueta, la cual debía cumplir con la característica de ser liviana, ya que, al ser una maqueta, era necesario facilitar la tarea para los diferentes actuadores que ejecutarían algún movimiento, como es el caso de las compuertas. Se definió que la maqueta sería construida con una estructura de palos de balsa, unidos por medio de tornillos y pegamento para madera, y en los casos donde se necesitó mayor fortaleza para la unión, se usó una mezcla de pegamento instantáneo con bicarbonato, algo que en cuestión de segundos se volvía casi cemento. Al definir la arquitectura a usar en la parte de programación se decidió recurrir al Arduino UNO por su facilidad de integración para circuitos programados con respuesta a sensores o diferentes variables, su bajo costo es un factor fundamental por la finalidad que tiene, ya que se busca economizar lo máximo posible para obtener mayor ganancia en la producción del cultivo, además de caracterizarse por tener una plataforma abierta que permite mayor facilidad de implementación en cualquier proyecto o posibilidad de desarrollo. Era necesario tener una unidad central donde se pudiera implementar el código y las acciones a tomar de acuerdo a cada situación, por tanto se recurrió a la Raspberry Pi 4, por la gran capacidad que brinda por un bajo precio a comparación de un computador, el tamaño reducido que le brinda facilidad para ser transportado, y en específico este modelo por la potencia que tiene comparada con los otros Raspberry, ofreciendo un rendimiento muy alto con excelentes componentes que aportan gran capacidad para las diferentes

tareas a utilizar, además de tener la opción de conectar una pantalla táctil de su mismo tamaño, algo que a futuro sería un gran punto a favor para poder realizar todo desde la palma de la mano.

Al momento de tomar el registro de datos valiosos del cultivo de tomate cherry se descubrió que se encontraban dos variables fundamentales para su crecimiento que podrían ser controladas por medio de este proyecto, como lo son la temperatura del ambiente y la humedad del suelo. Por tanto, se recurrió al sensor BME280 por la información que logra captar en un tamaño reducido, además de gran precisión a un bajo costo y bajo consumo energético, gracias al cual sería posible obtener los valores de temperatura del ambiente. Se tenía resuelto la obtención de datos de temperatura, pero aún quedaba en el aire la idea de obtener información sobre el porcentaje de humedad en el suelo donde crecería el cultivo, luego de realizar diferentes investigaciones y ver diversos tipos de sensores, la elección fue el Sensor de Humedad capacitivo V2.0, gracias al cual se puede obtener la información de la humedad del suelo por medio de los cambios dieléctricos que ocurren entre la tierra y el agua, de forma analógica, el cual aunque no aporta la mayor precisión posible, aporta un acierto alto de precisión a cambio de un bajo costo y fácil uso. El uso de estos dos sensores aporta gran facilidad de integración con las herramientas elegidas anteriormente para la toma de decisiones en cada caso necesario del programa creado para el cultivo.

#### ***4.1.3 Estudio de casos de uso de las diferentes herramientas.***

Una vez se llevó a cabo la investigación de los elementos requeridos que serían empleados para la elaboración de este proyecto se realizó una investigación para entender el procedimiento a seguir para ser implementados y ponerles en funcionamiento correctamente, por lo cual se encontró que se debía ejecutar el software de Arduino en la Raspberry, el cual es programado en C++, un lenguaje de fácil acceso para programar, facilidad de implementación y gran variedad de

funciones que permiten un enlace fácil con las tareas a realizar. Gracias a los manuales incluidos con cada sensor se pudo llevar a cabo la solución para el cableado que debía llevar cada uno y su funcionamiento, las funciones se definieron gracias a las condiciones del cultivo investigadas en el primer punto de la primera fase de la metodología, donde se encuentran la temperatura y la humedad ideales, datos que son captados por medio de los sensores; y al mismo tiempo, cuyas acciones se adaptan a la etapa de crecimiento en la que se encuentra la planta, definida mediante un botón implementado con posterioridad en el sitio al que se puede acceder por medio de la red WLAN. Para finalmente tener un prototipo completamente funcional, que responden a datos como si fuesen estímulos que tienen reacción, para mantener el camino correcto a un cultivo eficiente, productivo y que permita economizar costos, y facilitar la vida a los agricultores, además de tener un fruto mucho más saludable al crecer en condiciones ideales constantemente controladas por la IoT implementada.

## **4.2 Análisis y definición de arquitectura de la estructura IoT para el invernadero**

### ***4.2.1 Definición de requisitos***

Como se ha apreciado anteriormente en la investigación del cultivo de tomate Cherry, este requiere unas condiciones específicas para obtener mayor productividad. Entre ellas las que más tienen relevancia son las condiciones ambientales, dichas condiciones deben mantenerse en un rango ideal, con lo que primordialmente se tendrá como objetivo. Para llevar a cabo este objetivo se definieron unos requisitos:

1. Mantener la temperatura ambiental del cultivo en los rangos descritos anteriormente.
2. Regular la humedad de la tierra en el intervalo ideal para el cultivo de tomate Cherry.

3. Tener control del proceso en el que se encuentre el cultivo, para controlar los factores ambientales dentro del invernadero.

#### ***4.2.2 Definición de métricas***

Con el fin de poder mirar la eficacia que tiene la integración de la plataforma IoT al invernadero, se almacenaron registros de las condiciones ambientales segundo para tener datos en tiempo real, por lo que estos registros llevan un orden temporal, por lo que pueden ser cuantificados y a su vez plasmados gráficamente, siendo esta una forma sencilla de apreciar la variación. Por otra parte, con la obtención de datos segundo por segundo se tendrá evidencia de la operatividad automatizada dentro del invernadero, por consiguiente, se podrá apreciar cada una de las métricas con respecto al tiempo que son las variables ambientales que se tomaron como principales para llevar a cabo esta plataforma IoT que han sido nombradas en este documento.

#### ***4.2.3 Definición de pruebas***

Inicialmente se realizaron pruebas de funcionalidad en cada uno de los módulos, comenzando por los sensores debido a que estos valores son enviados y guardados consecuentemente a la base de datos en la Raspberry desde el Arduino por el puerto USB, y también estos datos los utiliza el código del Arduino para realizar la lógica de automatización por esta razón este módulo se prueba en primera instancia. Seguido por la evaluación de los actuadores de manera individual, de esta manera se conocen sus acciones y se pueden ir configurando en el código lógico del Arduino. Cada uno de los componentes del sistema IoT se comportaba distinto debido a que cada uno de ellos podían modificar las variables de entorno.

#### ***4.2.4 Definición de arquitectura***

Para iniciar con el prototipo de plataforma IoT, se tuvo en cuenta que era necesario controlar unos factores ambientales dentro de un invernadero con cultivo de tomate Cherry y

también tener la ventaja de visualizar estas condiciones de manera instantánea, por esta razón el término IoT encaja perfectamente en este proyecto.

Con esto se pudo designar sensores que permitieron tener conocimiento del estado del cultivo de tomate y por otra parte fue necesario modificar con actuadores esos estados si estos lo requerían. Por tanto, también era necesario tener una lógica, que por medio del Arduino es posible, pues este dispositivo permite la comunicación entre los periféricos de entrada y salida con un código fuente o algoritmo capaz de cambiar el comportamiento de cada uno de ellos, es decir que el Arduino es indispensable para el control de las variables de entorno del cultivo de tomate Cherry.

Sin embargo, la arquitectura de esta plataforma IoT, requiere otra participación y es su interacción con la persona debido que la persona visualizará el estado del invernadero y podrá cambiar el proceso actual de su cultivo. Por consiguiente fue necesario desarrollar un sistema donde se pudiese conectar a una base de datos para guardar toda esta información y tuviese una conexión para recibir todos esos datos que se recopilaron con los sensores a través del Arduino, por lo que un servidor es la solución a ello, pero la arquitectura de esta plataforma es limitada debido al lugar donde se puede desplegar, algunas de estas limitantes son la conexión a internet y podría ser el tamaño del servidor (Ordenador) dado el caso de practicidad y movilidad. Así que con la Raspberry solventar estas limitaciones ya que se pudo configurar y manejar una red local WLAN, asimismo poseer la facilidad de movilidad con este dispositivo puesto que su tamaño es reducido en comparación con otros dispositivos y cumplió la misma funcionalidad.

### 4.3 Diseño de la plataforma

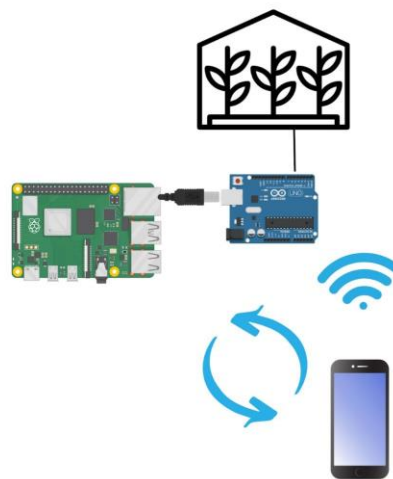
#### 4.3.1 Definición de la conectividad de la plataforma

En la mayoría de los casos los invernaderos suelen estar en zonas rurales, debido a esto la conexión a internet puede no ser estable o puede ser nula, entonces una solución a esta limitante es generar una red de área local inalámbrica o WLAN.

Haciendo uso del celular o dispositivo móvil se puede generar una red wi-fi con el mismo dispositivo, y de esta manera se puede hacer una red local debido a qué es necesario tener una, puesto que el despliegue de la plataforma IoT debe estar conectado a una red wi-fi para hacer posible el acceso a las variables de entorno del invernadero en tiempo real y el control del invernadero.

#### Figura 14

*Representación de conectividad en la plataforma IoT*



#### 4.3.2 Definición de interfaz de acceso

Se construyó la estructura de este sistema mediante el Framework Django, el cual cuenta con un sistema para autenticar los usuarios, además cuenta con gran rendimiento y flexibilidad

al momento de su despliegue lo que permite mayor escalabilidad del proyecto, gracias a su gran disponibilidad de librerías hace óptimo el desarrollo.

En este framework se trabaja bajo un patrón MVT (Modelo Vista Template), con lo que se creó un modelo base que fue Environment, en donde se guardan todas las variables de entorno dentro del invernadero que son:

1. Humedad aire
2. Temperatura.
3. Altura.
4. Presión.
5. Humedad Tierra.
6. Fecha actual. (Fecha en la que se guardan los datos anteriores)

Django permite la creación de vistas por lo cual en este mismo ambiente fue posible la creación del GUI de la plataforma IoT. Se desarrollaron dos vistas, la primera contiene una lista con las variables en tiempo real del invernadero y la otra genera las estadísticas de las variables de entorno mediante unas gráficas. Esta interfaz se implementa mediante archivos desarrollados con HTML, que es un tipo de lenguaje permitido en este Framework y lo cual permite una gran escalabilidad y un ágil desarrollo.

#### ***4.3.3 Definición de sistemas de almacenamiento de datos***

El manejo del CRUD (Create, Read, Update y Delete) en esta integración es sencilla mediante el ORM (del inglés Object Relational Mapping o mapeo objeto-relacional) que posee Django, por consiguiente, el acceso a la base de datos tanto en la creación de registros y la consulta fue sencillo de implementar, Django por defecto utiliza SQLite3 que es una base de datos liviana que se basa en disco por lo que no requiere un proceso de servidor separado y se hace accesible a

través de consultas por medio del lenguaje SQL, por otra parte Django no solo se restringe con un solo tipo de base de datos, también permite la configuración de otras tales como: MySQL, mongoDB, postgresSQL entre otras.

Como se hizo mención anteriormente del ORM que posee Django, este permite que con comandos o query específico que maneja el entorno hace posible desde la creación de los diferentes modelos o tablas de la base de datos hasta las consultas o distintas modificaciones que se deseen realizar en la base de datos. Se decidió dejar SQLite porque es una de las bases de datos con mayor estabilidad que se puede encontrar, se basa en lenguaje C, y cuyo diseño se enfoca en la integración en aplicaciones, contrario a como ocurre con otros tipos, que se apoyan en un programa de servidor de base de datos como MySQL, PostgreSQL u Oracle. Además, es una herramienta con gran agilidad, rapidez, flexibilidad y, además, cuenta con gran soporte de su correcta funcionalidad; algo que le brinda la posibilidad de ser la opción más adecuada para la creación de prototipos y despliegue de producción para algunos aplicativos. y también debido a que Django trae consigo una vista que permite la visualización y modificación desde el navegador.

Definiendo el almacenamiento de datos se declaró un modelo o entidad, se definió Environment, este contiene cada uno de los atributos que se definieron anteriormente como variables de entorno del cultivo de tomate Cherry, para cada una de las variables, se definieron de la siguiente manera.

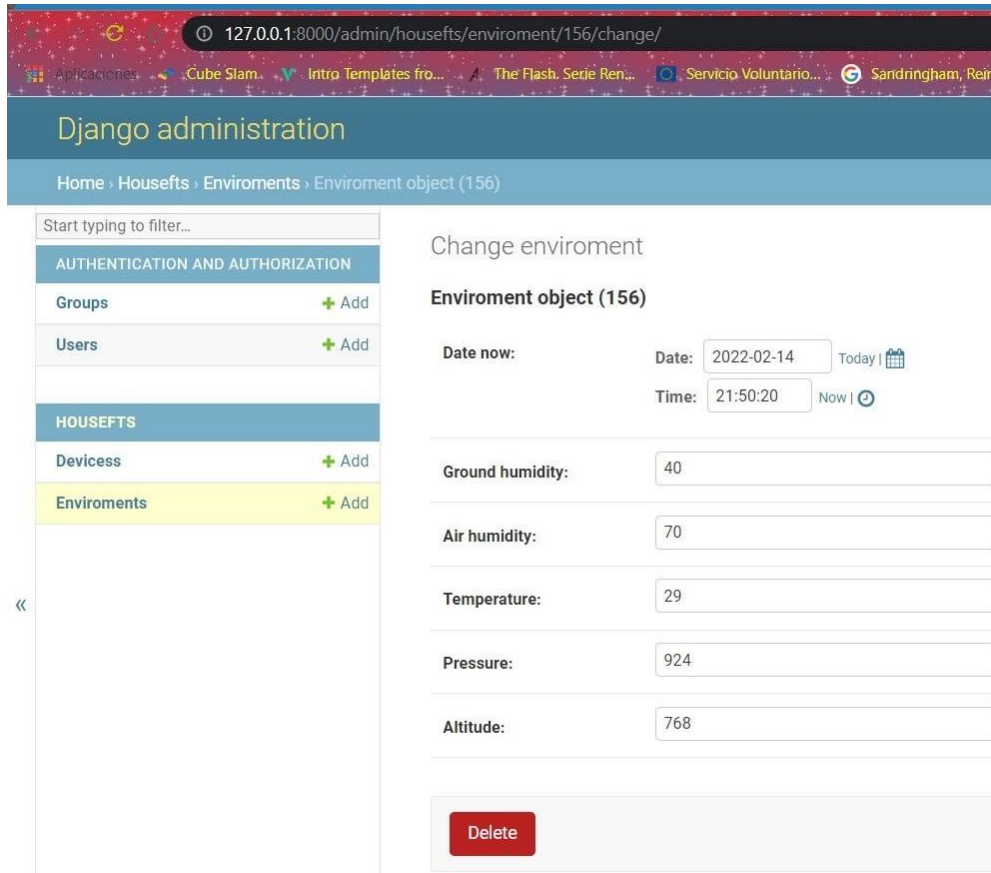
**Figura 15***Entidad Environment*

housefts_enviroment		CREATE TABLE "housefts_enviroment" ("
id	integer	"id" integer NOT NULL
ground_humidity	varchar(20)	"ground_humidity" varchar(20) NOT NULL
air_humidity	varchar(20)	"air_humidity" varchar(20) NOT NULL
date_now	datetime	"date_now" datetime NOT NULL
altitude	varchar(20)	"altitude" varchar(20) NOT NULL
pressure	varchar(20)	"pressure" varchar(20) NOT NULL
temperature	varchar(20)	"temperature" varchar(20) NOT NULL

La gestión de la plataforma por medio de la entidad mostrada anteriormente es el eje de esta plataforma, con esto se quiere decir que dicho modelo contempla los objetivos propuestos en este proyecto, porque con ellos es posible monitorear y controlar las condiciones del cultivo de tomate cherry mediante la plataforma IoT, como resultado se decidió que este primer producto mínimo viable requería la creación del modelo Environment.

En adición, Django al momento de crear cualquier proyecto define una base de datos inicial trayendo consigo una entidad llamada `auth_user`. Esta permite la creación de usuarios administradores, el cual requiere una creación de `username` y `password`, después el usuario puede hacer acceder por medio de la ruta `http://localhost:8000/admin` y tener control sobre los registros existentes en la base de datos.

En definitiva, poder contar con acceso de administrador da la ventaja de exportar las bases en diferentes tipos de archivo y hacer uso de ellas en cualquier tipo de requerimiento extra necesario, hace de esta plataforma IoT una gran herramienta para el usuario que haga uso de esta.

**Figura 16***Visualización base de datos en Django administration*

#### 4.3.4 Definición del tipo de invernadero

Para su diseño se hizo análisis en distintos tipos de invernaderos, de los cuales los comunes son:

1. Invernadero Túnel
2. Invernadero Capilla.
3. Invernaderos en diente de sierra.
4. Invernadero Capilla modificado.
5. Invernadero con techumbre curva.

Se tomó la decisión de optar por invernadero tipo capilla, puesto que este tipo posee varias ventajas que son importante y necesarias para controlar las variables de entorno del cultivo de tomate Cherry, sus ventajas descritas a continuación:

1. Buena ventilación.
2. Buena capacidad para evitar que entren partículas externas.
3. Buena distribución de la luminosidad en el interior del invernadero.

#### **4.4 Desarrollo del Prototipo**

##### ***4.4.1 Configuración básica del invernadero***

En primera instancia la estructura del modelo de invernadero se manejaría a una escala pequeña con respecto a los invernaderos reales, así que sus dimensiones son reducidas para llevar a cabo un proceso más rápido y práctico, la funcionalidad es exactamente igual y es de igual manera aplicable para su propósito en el cultivo de tomate Cherry. Para el cultivo de tomate Cherry se utilizó como modelo base el tipo capilla, así que la maqueta consta de una estructura en base de madera, columnas y vigas en palo de balsa, con una cubierta de acetato, siendo este la base del invernadero a escala para la plataforma IoT, que contendrá el cultivo de tomate Cherry, y todos los microcontroladores distribuidos en el mismo.

Por otra parte, el tamaño que se manejo fue de gran ayuda debido a que se debía movilizar para hacer los ajustes necesarios y por consiguiente pruebas de funcionalidad que se necesitaban antes de la integración final.

**Figura 17**

*Prototipo invernadero diseño inicial*



#### ***4.4.2 Descripción del diseño***

Consta de un sistema integrado IoT que tendrá las ventajas de automatización por medio de unos controladores embebidos (Arduino y Raspberry), que llevarán a cabo la lógica y el registro en base de datos que permitirán al usuario que lleve un historial y pueda recibir las variables de entorno en tiempo real del cultivo de tomate Cherry.

Por otra parte, la ventaja de tener un diseño a escala es que las variables de ambiente son fácilmente modificables, gracias a esto podemos hacer varias pruebas y se puede mejorar todo el sistema haciendo de este tenga una integración más robusta, cabe aclarar que todos sus componentes son modulares esto quiere decir que en el proceso se pudo comprobar de manera efectiva la funcionalidad y desempeño de cada uno de ellos.

#### ***4.4.3 Configuración de arquitectura IoT***

En esta etapa, la implementación de este proyecto se acomodó al ambiente de desarrollo en el módulo de Raspberry pi 4, la cual cuenta con un sistema operativo propio para su

funcionamiento, Raspberry Pi OS o Raspbian 32-bits, en donde se llevó a cabo la configuración que se expone a continuación.

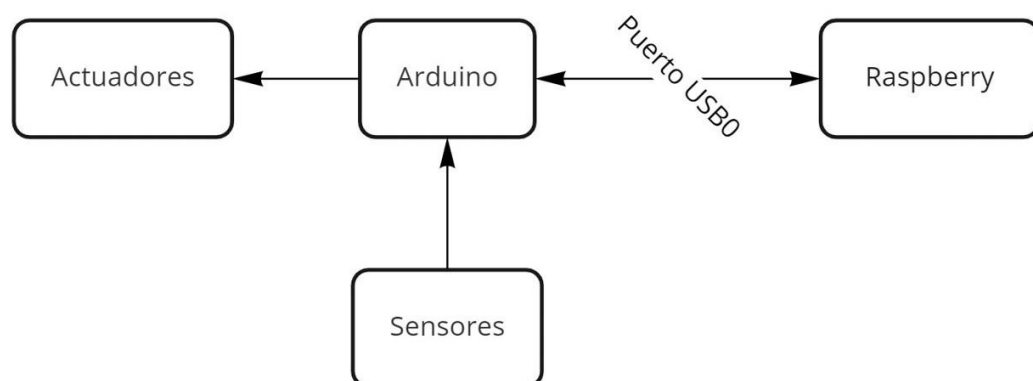
#### 4.4.3.1 Arduino IDE

Este entorno de desarrollo de Arduino posee las características propias de una multiplataforma, lo cual permite ser usado en este ambiente de desarrollo. Su función principal fue favorecer el entorno de programación para gestionar el código propio para el estudio, por ende, llevó la lógica de automatización del invernadero. Particularmente este algoritmo controló cada uno de los actuadores en respuesta a las condiciones ambientales que se investigaron en la Tabla 1.

Seguido se le asignó el puerto ttyUSB0 al Arduino, y a través de este mismo puerto se hace uso para la transmisión de las variables de entorno del cultivo de tomate cherry, de esta manera el Arduino se comunica con la Raspberry, todo esto fue posible gracias a la librería Serial que puede importar fácilmente, de igual manera esta canal permite la recepción de datos.

#### Figura 18

*Comunicación serial a través del puerto USB0*



#### 4.4.3.2 Framework de desarrollo

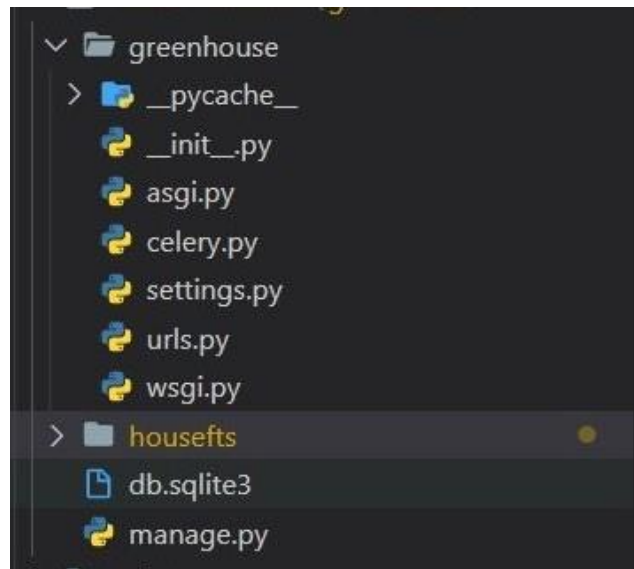
Django se utilizó para construir la base del proyecto, con esto al momento de ejecutar el comando:

```
django-admin startproject greenhouse
```

Con lo que se crean automáticamente varios directorios y archivos necesarios para correr un servidor localmente.

### Figura 19

*Comunicación serial a través del puerto USB0*



Luego de tener esta base, se pudo crear una app que la fue la principal, nombrada como housefts (house featurings), donde se creó el modelo o entidad Environment, este modelo permitió la creación de la tabla en la base de datos a través de migraciones del proyecto que son requeridas antes de correr el servidor.

Por otra parte, se crearon las views que permiten el acceso a la base de datos a través de los modelos, y a su vez abre un canal para ser accedidas por medio de peticiones HTTP. Se desarrollaron tres views:

- La primera guarda los registros de los datos que llegan a través del puerto USB0 segundo a segundo, mediante la petición POST se accede a este.
- La segunda permite acceder al registro en tiempo real del modelo Environment, lo que quiere decir que trae el último registro, la petición con la que se puede acceder es GET.
- La tercera genera una gráfica mostrando las estadísticas de cada uno de las variables de entorno del cultivo de tomate cherry, es accedida a través del método GET.

**Tabla 2***Lista de views con sus urls*

View	Url de acceso.	Petición HTTP.
saveEnv()	http://192.168.1.29:8000/housefts/	POST
showEnv()	http://192.168.1.29:8000/housefts/	GET
plotEnv()	http://192.168.1.29:8000/housefts/statics	GET

También se configuró el Host por medio del cual se transmitirá el servidor, por defecto el host es 127.0.0.0, cambiarlo no es problema ya que existe un archivo settings.py que permite colocar todos los hosts permitidos, en relación con este mismo archivo también se agregó ya que es necesario añadirla manualmente. La red que se configuró fue la red de wifi que se genera a través del celular, así:

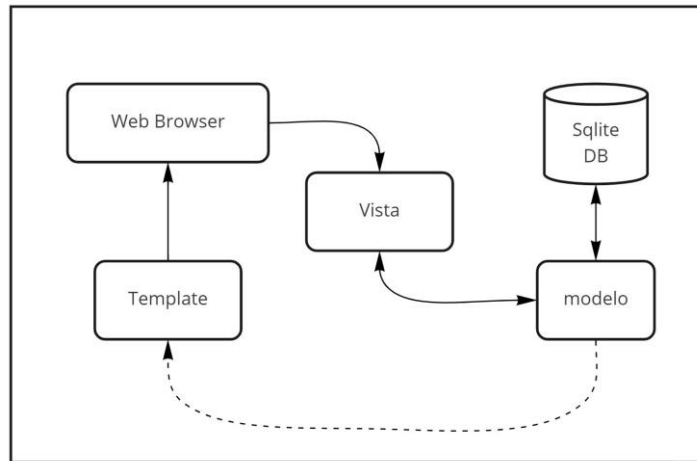
```
ALLOWED_HOSTS = ['192.168.1.12']
```

En cuanto a la interfaz de usuario se implementó dentro del mismo Framework, ya que este permite generar templates con lo que el usuario puede acceder a través del navegador web, hay dos vistas para el usuario: Menú principal y Estadísticas. Estas dos interfaces fueron

implementadas con HTML y CSS. Para terminar, se puede evidenciar qué la estructura de MVT (Modelo Vista Template) en esta plataforma, esta estructura se muestra en la Figura 20.

**Figura 20**

*Estructura MVT de la plataforma*



#### 4.4.3.3 Librerías

Para que todos los componentes del proyecto funcionaran correctamente fue necesario recurrir a la instalación de varias librerías de Python, tales como:

- Matplotlib, siendo esta librería importante para la visualización de las estadísticas de los variables de ambientes que se obtienen por medio de los registros existentes en la base de datos del modelo Environment, por medio de un filtrado de datos se separaron esta información para ilustrar sus comportamientos a lo largo de un rango de tiempo.

- Serial, esta librería contiene las funciones permite configurar la comunicación de doble vía entre la raspberry y el Arduino.

#### 4.4.3.4 Control de versionamiento del proyecto

Para el desarrollo de la integración se hizo uso del recurso de Git y GitHub para manejar las versiones del proyecto de la plataforma IoT, con esta herramienta se hizo posible que varias o

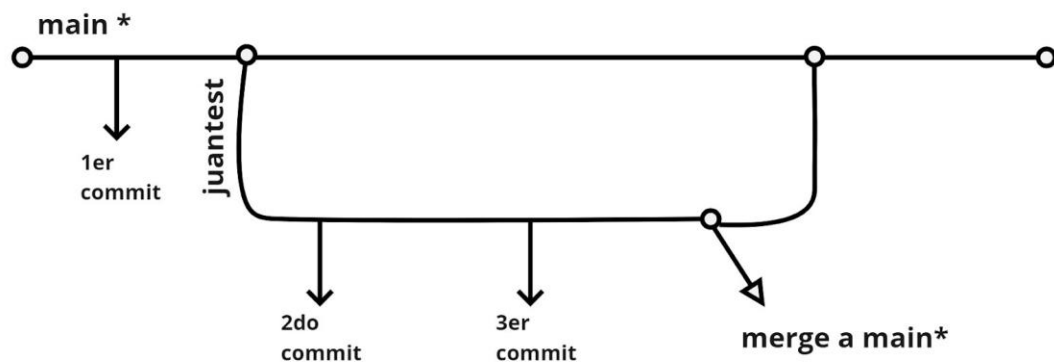
en este caso dos personas puedan manipular o desplegar el código en los ambientes de trabajo, para crear un repositorio en git se dirigió a la raíz del proyecto y se utilizó:

```
juan@pi:git init
```

Después de haber creado el proyecto base se realizó el primer commit para trazar un historial del proyecto, luego se creó una rama para realizar desarrollo de pruebas esta rama se llamó “juantest”, este proceso se puede apreciar en la Figura 21.

**Figura 21**

*Estructura del versionamiento del proyecto*



miro

Todo el proyecto se trabajó bajo esta modalidad hasta llegar a un prototipo final y funcional cumpliendo los objetivos descritos en este documento.

#### **4.4.3.5 Gestión de Hardware**

Para el desarrollo hardware se trabajó paralelamente junto al IDE de Arduino, probando componente tras componente su funcionalidad, las funciones fueron cada vez probadas se iban optimizando tanto como su comportamiento como su respuesta, se decidió asignar un loop con una frecuencia de 1 segundo para qué captar las señales de los sensores de manera precisa y de tiempo real para dar un mayor desempeño en el invernadero a escala. La distribución de los dispositivos

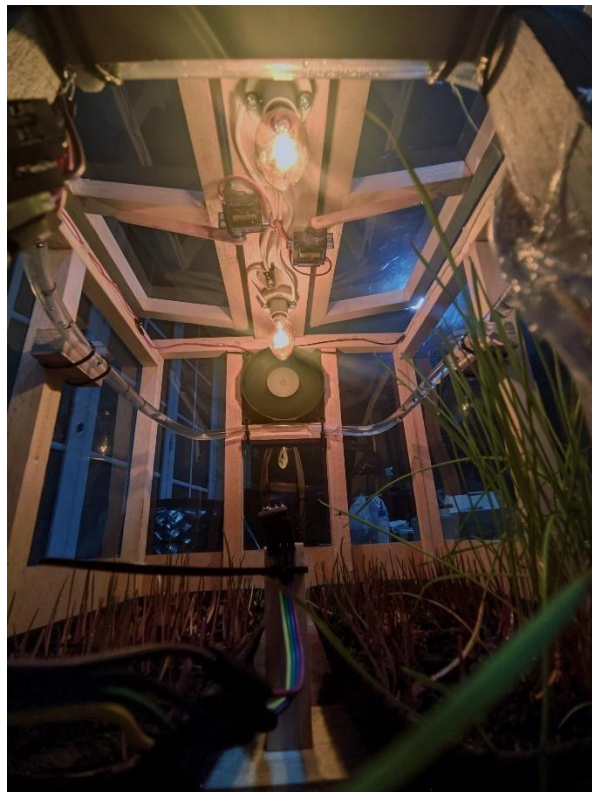
electrónicos se acomodó básicamente en dos partes: los que situaron dentro del invernadero a escala y los que quedaron en el exterior. El diseño base del invernadero a escala llevará consigo por dentro:

- Sistema de riego (manguera).
- Ventiladores.
- Servomotores.
- Bombillos.
- Sensor BME 280
- Sensor capacitivo de humedad de suelo 2.0

Se puede apreciar en la Figura 22 la organización de estos elementos en su interior.

### **Figura 22**

*Diseño interior del invernadero*

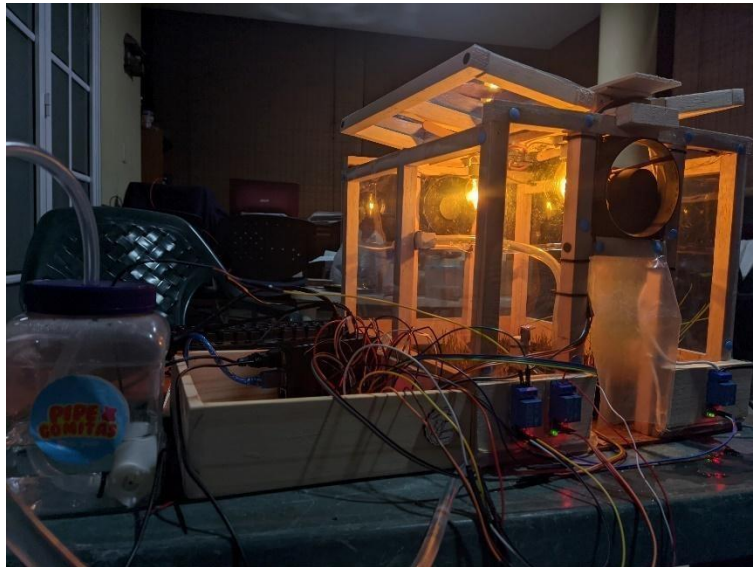


Por otra parte, los componentes que situarán fuera del invernadero son:

- Relés.
- Arduino.
- Raspberry pi4.
- Bomba de agua.
- Placa de prototipos.
- Fuente de energía.

### Figura 23

*Diseño final externo del invernadero*



Finalmente, en esta etapa de desarrollo de la arquitectura que ya todos los elementos de hardware estaban conectados se realizaron algunos detalles finales como:

- Programar un retraso de 2 segundos en el arranque del prototipo ya que sus sensores arrojan lecturas menores a las reales, entonces con esto se evita error en los datos que se registren y por consiguiente evitar que las gráficas que muestran no sean desacertadas.

- Aplicó una condición en el código de arranque del Arduino para el sensor BME 280, puesto que en ocasiones este sensor muestra un estado de desconexión al iniciarlo, así que tiene un bucle que no lo deja avanzar hasta que él pueda establecer conexión, con esto también se evita inconsistencias en los datos.

## 5. Resultados y discusión

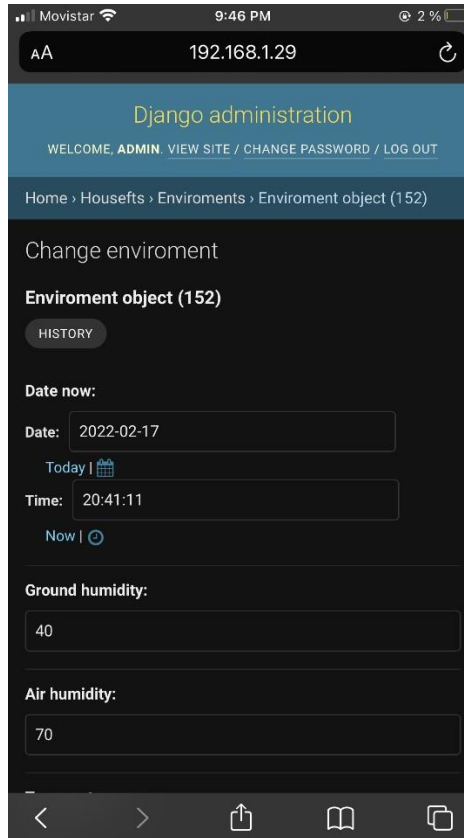
Teniendo como finalidad la comprobación de la funcionalidad y la integración del prototipo propuesto anteriormente, se diseñó y desarrolló la construcción de una maqueta de invernadero automatizado con IoT que emula la problemática planteada, para esto se realizaron una serie de pruebas con el fin de obtener los mejores resultados. Para iniciar las pruebas, se obtuvieron los parámetros ideales de temperatura y humedad de suelo para el desarrollo de este cultivo.

La principal dificultad fue la puesta a punto de los circuitos electrónicos y la comunicación serial entre el Arduino y la Raspberry por medio del puerto USB. También hubo complicaciones en cuanto al diseño de la apertura de compuertas, pues se tenían dudas de capacidad de peso y velocidades de apertura y cierre.

El Arduino fue programado con diversas funciones que permiten la automatización de la maqueta de invernadero descritas de la siguiente forma, en un periodo de muestreo de 1 segundo se recibe continuamente la información de los sensores (humedad en el aire, altura, presión atmosférica, temperatura, y humedad en el suelo) que están ubicados estratégicamente, con el fin de obtener los datos más precisos posibles. Esta información se imprime y almacena segundo a segundo mientras pasa por cada uno de los diferentes métodos del código, para llevar a cabo la acción necesaria que haya estimulado esa información. En efecto se puede apreciar en la Figura 24 el registro evidente en la base de datos.

**Figura 24**

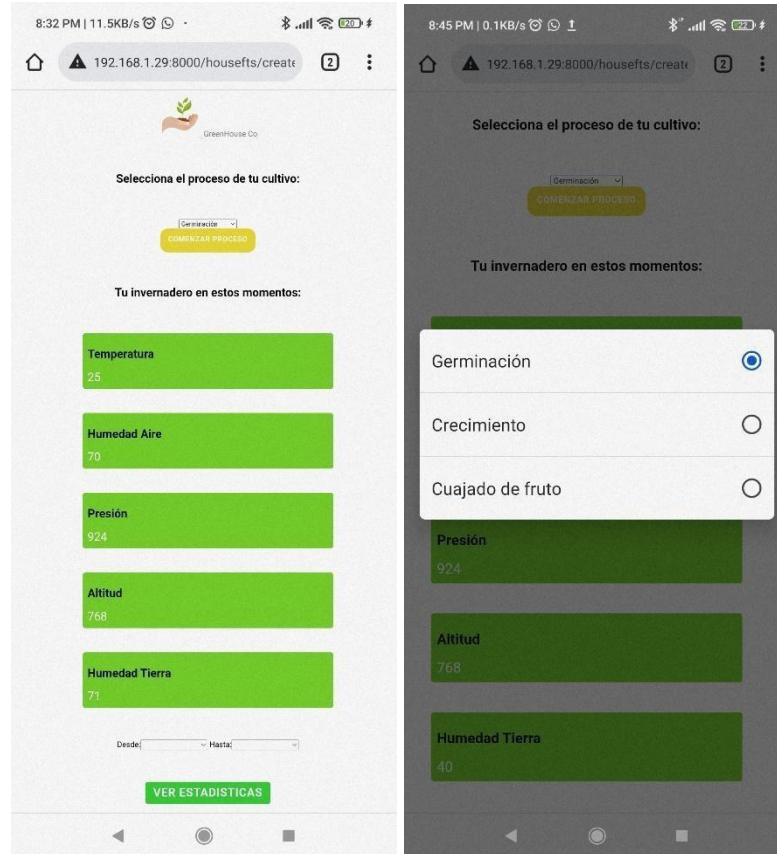
*Acceso a la base de datos mediante dispositivo móvil*



Los valores obtenidos en tiempo real se pueden controlar y visualizar en una plataforma compartida a través de una red WLAN, anteriormente configurada por medio de Django, en la cual se reflejan los valores actuales, también se permite la configuración del tipo de proceso (características de temperatura y humedad ideales para cada etapa) en el que se encuentra el cultivo, esta opción envía un parámetro por puerto serial al Arduino haciéndole conocer qué tipo de proceso desea comenzar.

**Figura 25**

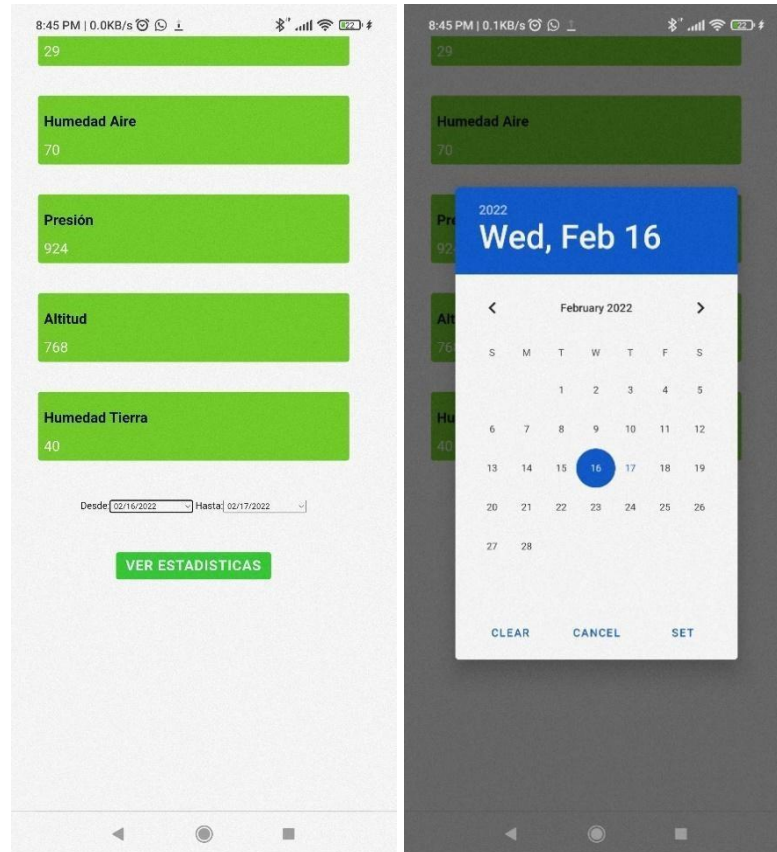
*Configuración del proceso del cultivo por parte del usuario*



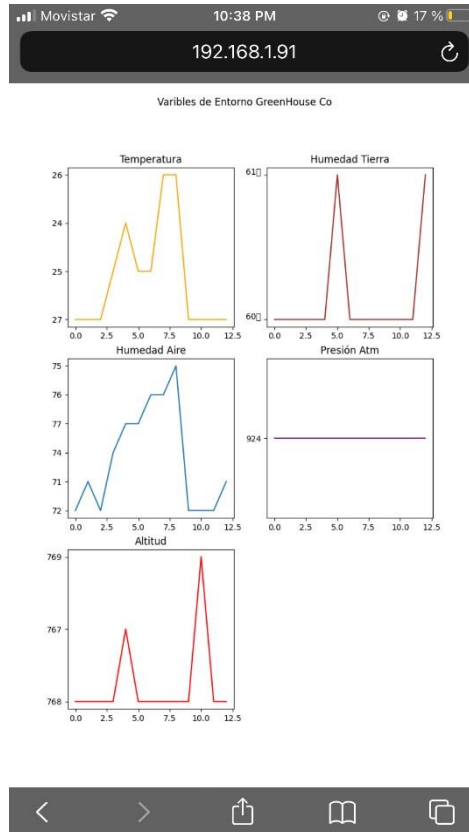
De la misma manera se puede acceder al histórico de valores para cada parámetro reflejado a través de diferentes gráficas, las cuales pueden ser filtradas por fechas específicas (Figura 26), con el fin de llevar un registro más detallado.

**Figura 26**

*Filtración de datos mediante rango de fechas para visualización de estadísticas*



Por otro lado, se puede acceder a los datos en tiempo real, observando su variación (Figura 27), con la facilidad de encontrar de forma óptima los puntos de inflexión en estas. Es decir, esta herramienta da un acceso a la información para lograr resultados más eficientes. Por ende, apreciar la efectividad del proceso de automatización.

**Figura 27***Gráficas de estadísticas de las variables de entorno*

## 5.1 Casos de Uso

### 5.1.1 Variación de temperatura

Para llevar a cabo los casos se decidió cambiar los rangos de temperatura ideal para el cultivo con el fin de tener mayor control sobre las pruebas, solo con forzar temperaturas en el sensor y así poder ver la reacción del invernadero ante tales condiciones.

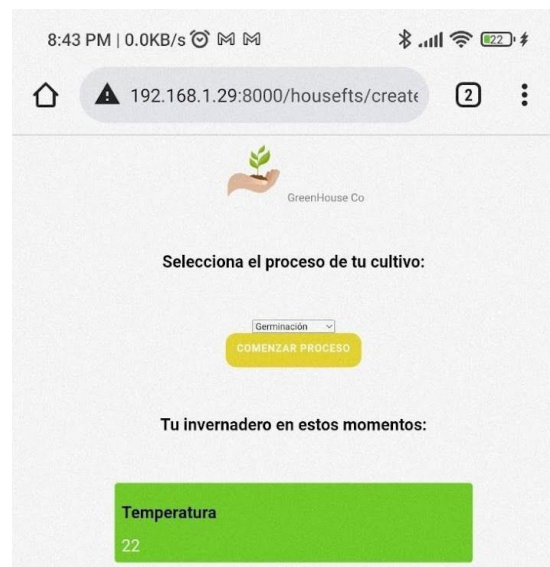
#### 5.1.1.1 Temperatura baja

Se tomó un límite de 24°C, donde al encontrar una temperatura menor o igual a 24°C, el Arduino debía ejecutar el método de subir la temperatura, esto hacía que las compuertas cerrarán, los ventiladores se apagaran y se encendieran los bombillos, para elevar la temperatura

progresivamente hasta alcanzar la temperatura ideal establecida en las variables predefinidas. Se realizó esta prueba induciendo el sensor a bajas temperaturas por medio de contacto, y así se pudo ver cómo logró bajar hasta 22°C, donde instantáneamente, apenas bajó de los 24°C, automáticamente ingresó al método para subir la temperatura, encendiendo los bombillos y cerrando el resto de los actuadores, tratando así de lograr la temperatura objetivo.

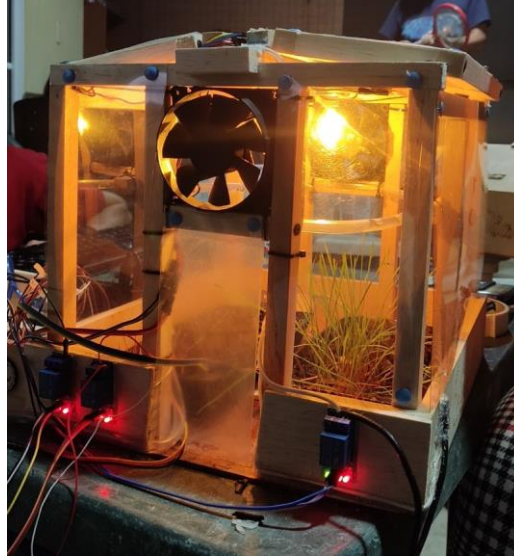
### Figura 28

*Interfaz en baja temperatura*



**Figura 29**

*Invernadero en baja temperatura*

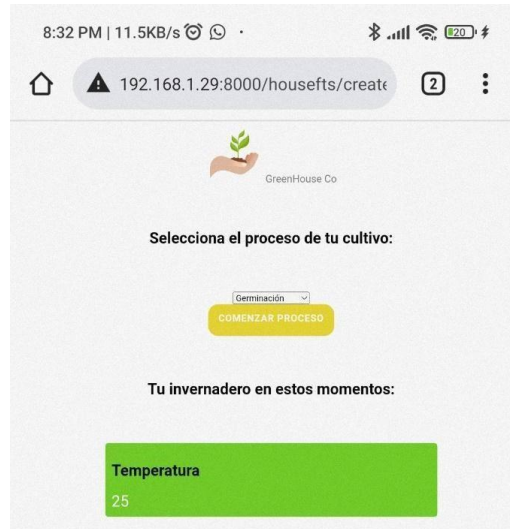


#### **5.1.1.2 Temperatura ideal**

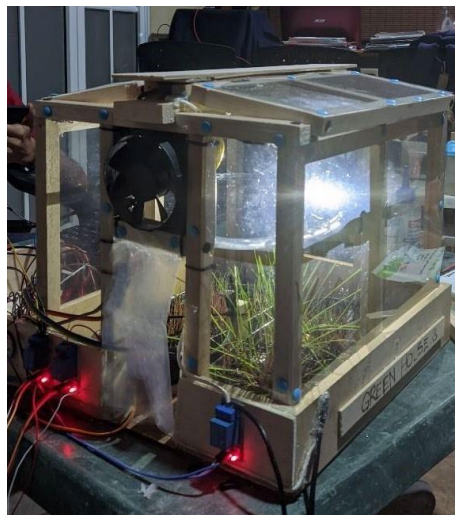
Se tomó una temperatura ideal entre 24°C y 26 °C, como en el punto anterior se apreció, Arduino ejecutó la acción correspondiente a ese estímulo, alcanzando el rango ideal de temperatura, en la cual su estado es sencillamente quedar en algo similar a stand-by, donde todos sus actuadores se apagan para no interferir en la temperatura y por el contrario conservarla continuando en las condiciones ideales.

**Figura 30**

*Interfaz en temperatura ideal*

**Figura 31**

*Invernadero en temperatura ideal*



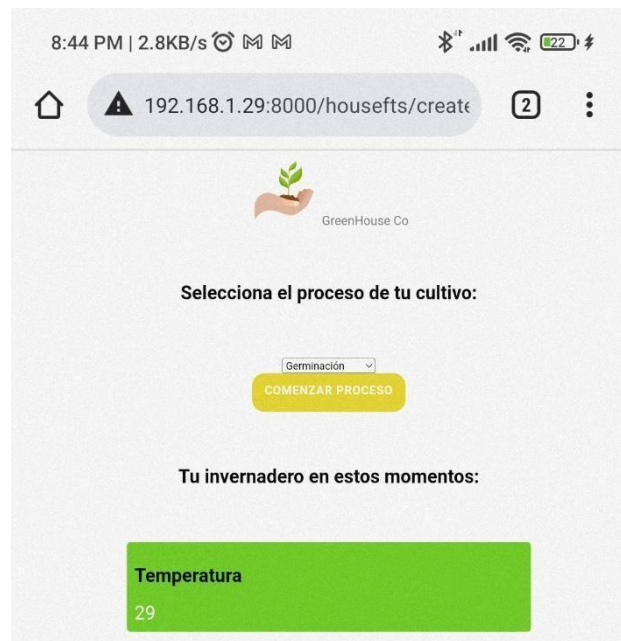
### 5.1.1.3 Temperatura alta

Se tomó un límite de 26°C, por tanto, al recibir un impulso con información sobre la temperatura como se realizó en la prueba anteriormente, pero del modo contrario en esta ocasión,

induciendo a una alta temperatura por medio del contacto, se llegó a 29°C donde inmediatamente se pasaron los 26°C, el Arduino procedió a ejecutar el método para bajar la temperatura, en el cual se encienden los ventiladores y se abren las compuertas, de esta forma se logra evacuar el calor y así bajar la temperatura buscando alcanzar el rango ideal planteado.

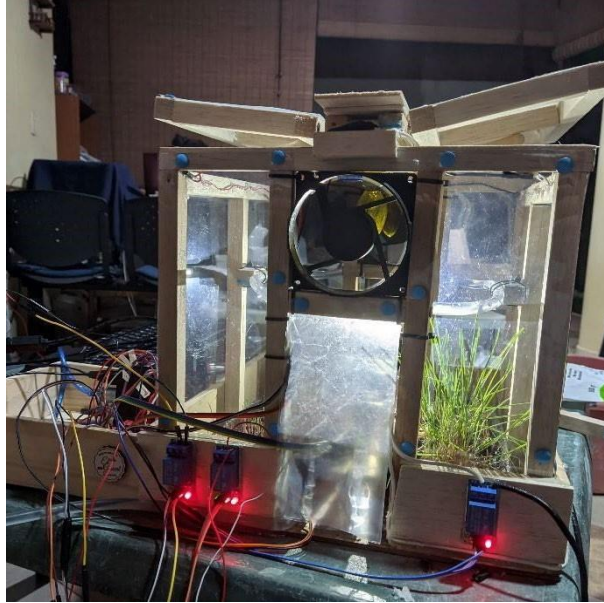
### Figura 32

*Interfaz en temperatura alta*



**Figura 33**

*Invernadero en temperatura alta*

**5.1.2 Variación de humedad en el suelo**

De forma adicional pero aún más importante, se realizó el caso de uso del sistema de riego automatizado. Se procedió a dejar el cultivo varios días sin regar, buscando disminuir el porcentaje de humedad en el suelo, de esta forma comprobar si el Arduino respondía de la forma correcta. Comprobando la lectura del sensor de humedad del suelo arrojó una lectura constante de 40% de humedad, siguiente a esto se comprobó la reacción del sistema ante esta característica, donde debería encender el sistema de riego buscando un rango de humedad ideal de 60-80%. Una vez conectado todo el sistema, de inmediato el sistema de riego automatizado se encendió hasta lograr un porcentaje de humedad de aproximadamente 60%, y realizando goteo continuamente para mantenerse en ese valor, evitando bajar de ese rango.

**Figura 34**

*Interfaz en baja humedad de tierra*



**Figura 35**

*Invernadero con sistema de riego encendido*



**Figura 36**

*Interfaz en humedad de tierra ideal*



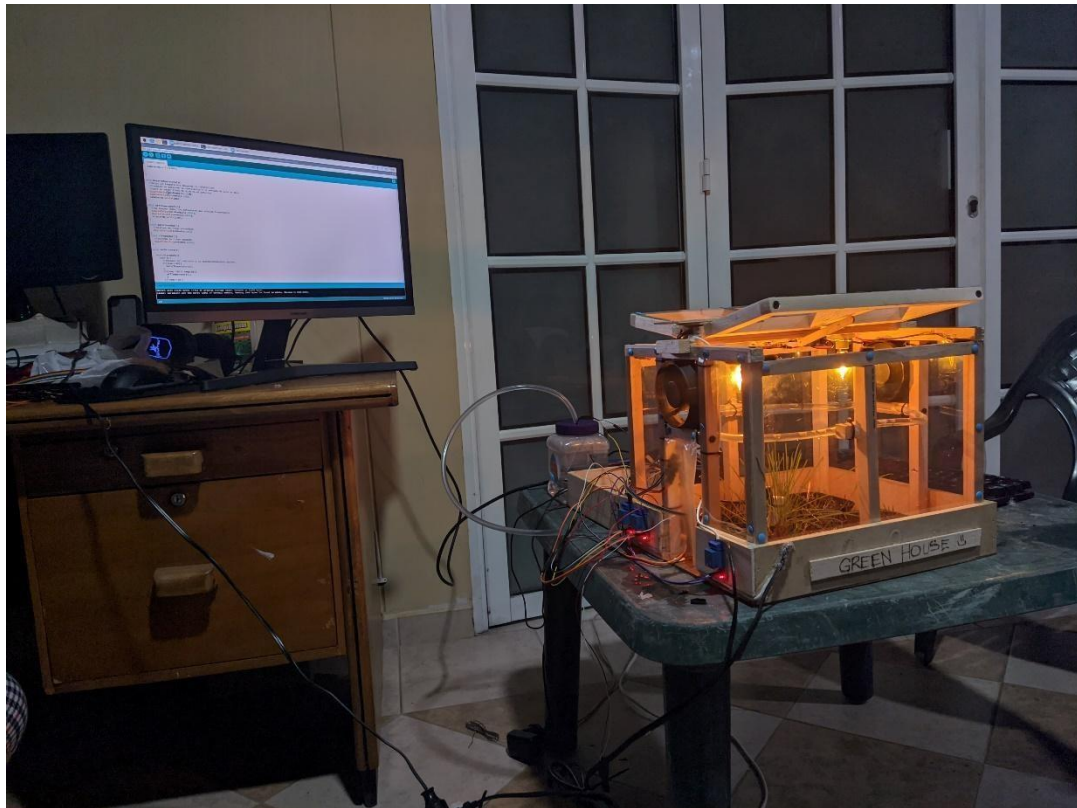
## 5.2 Prueba de control con dispositivo móvil

Se realiza una interfaz web de acceso por medio de LAN o WLAN, que permite llevar registro del historial de variables físicas (temperatura, humedad de aire, presión atmosférica, altura y humedad del suelo) tanto de forma unitaria como una gráfica histórica de los registros más recientes para cada parámetro.

Con estas pruebas se pudo comprobar el correcto funcionamiento de la plataforma IoT para cultivo invernadero, ya que siempre cumplió reaccionando correctamente al estímulo que recibía, manteniendo entre lo posible las condiciones ideales para el correcto desarrollo del cultivo.

### Figura 37

*Plataforma IoT en funcionamiento*



## 6. Conclusiones

Al elaborar este proyecto de investigación, a lo largo del periodo de recopilación de información, la fase de diseño y prototipado, la fase de implementación y finalmente durante las pruebas realizadas, se logran establecer las siguientes conclusiones.

Por medio de previa investigación se lograron establecer los elementos que intervienen a la hora del diseño de una plataforma IoT que permite el monitoreo y control de variables ambientales en un cultivo de tomate Cherry en modalidad de invernadero, siendo inicialmente los parámetros del entorno que afectan el proceso de desarrollo de la planta, además de los diferentes actuadores que se accionan en consecuencia de las condiciones lógicas que se asignan en los controladores (Arduino UNO y Raspberry Pi 4).

Se llevó a cabo un proceso de investigación que permitió elegir los componentes más adecuados en cuanto a parámetros fundamentales como el costo, tiempo de ejecución y complejidad de uso, para lograr un prototipo construido en base a una infraestructura de hardware de fácil acceso para la población y software que permite el entendimiento para los usuarios que se deban involucrar en el desarrollo de la plataforma IoT.

Se diseñó una arquitectura de hardware y software en base a los puntos expuestos anteriormente, donde se cuenta con la capacidad y el espacio para accionar todos los elementos necesarios para la automatización de esta plataforma IoT. Como lo es la infraestructura de software para los diferentes métodos que procesan las señales provenientes de los sensores de humedad de suelo y temperatura principalmente; la infraestructura de hardware para los sistemas de riego, aumento de temperatura por medio de energía térmica saliente de los bombillos, apertura de compuertas y accionamiento de ventiladores para extraer el calor del interior del invernadero.

Se logró crear una interfaz en la que el usuario puede observar las variables del entorno y así mismo poder tener el control sobre ellas, gracias a la elaboración de este prototipo de plataforma IoT que permite el control total y automatizado del invernadero, se pudo comprobar el correcto funcionamiento, desempeño y respuesta a los estímulos del ambiente que requerían algún accionamiento por parte de los sistemas del prototipo, como sucede con el accionar de los ventiladores y compuertas al momento de presentar una temperatura superior a la adecuada para lograr bajar la temperatura al valor necesario; así como en el sentido opuesto, al recibir del sensor una temperatura inferior a la adecuada, el prototipo es capaz de accionar el sistema necesario para subir la temperatura, por medio de la energía térmica proveniente de los bombillos, y el cierre del resto de elementos para mantener el calor en el interior de la estructura; del mismo modo ocurre al recibir una temperatura dentro del rango ideal, se desactivan todos los sistemas para conservar el clima necesario para el desarrollo del cultivo, y por último, el sistema de riego que se acciona al recibir señales del sensor de humedad donde se encuentre por debajo de los parámetros adecuados de crecimiento de la planta. Todos estos datos y señales recibidas gracias a los dos sensores ubicados de forma estratégica, funcionan iterativamente enviando estos datos con un intervalo de 1 segundo, pasan por los controladores que ejecutan las órdenes mencionadas anteriormente y además se imprimen en una base de datos que es consultada en tiempo real por medio de una dirección IP a la que se accede gracias a una red WLAN, en donde se ven los datos actuales, así como diferentes gráficos históricos con los valores de cada parámetro que arrojan los sensores, y por último un botón que permite ajustar los parámetros a las condiciones necesarias para cada etapa de desarrollo del cultivo por medio de un método switch que ajusta las variables a los valores adecuados.

El proceso de automatización agrícola que se llevó a cabo a lo largo de este trabajo demuestra que es una excelente inversión sin importar la región o tipo de siembra, ya que se puede aplicar a los diferentes cultivos que se producen en cada piso térmico, y en cualquiera que sea el escenario se puede lograr una mejora en la calidad del cultivo y una reducción en los costos de producción. A partir de esto destacamos que sería conveniente para un mejor desarrollo de la economía del país la generación de planes de apoyo para la unión Agricultura-IT por parte del ministerio de agricultura, cuya finalidad es promover esta clase de iniciativas y apalancar la inversión inicial de este tipo de proyectos en los cultivos de los agricultores. Algo que no solo traería beneficios económicos por su gran impacto en la calidad y eficiencia de producción, además traería mejor calidad de vida a los agricultores al poder gozar de mayor tiempo para realizar sus diferentes tareas, desempeñar sus labores personales e incluso invertir este tiempo para aumentar sus ingresos por medio de otros cultivos en esta modalidad.

## 7. Recomendaciones

En el proceso de ejecución de este trabajo, se hallaron posibles adicionales que pueden mejorar la experiencia en la plataforma IoT. Al aplicar este trabajo se sugiere que, al momento de llevar el experimento a escala, se debe contar con un amplio presupuesto que logre abarcar los materiales de calidad necesarios para que los tomates cherry crezcan en las óptimas condiciones que su naturaleza requiere. Entre otras recomendaciones se detectaron las siguientes:

Añadir un módulo GSM/Gprs SIM900 para enviar mensajes de textos detallando alguna alerta. Con este dispositivo el usuario tendría libertad de poder irse del lugar donde está ubicado el invernadero. También agregar un modo de respuesta enviando un mensaje de texto al módulo y que este mismo devuelva una serie de datos.

Agregar un sensor de nivel de agua para el tanque. Automatizando la acción de llenado, haciendo de la integración cada vez más inteligente.

Añadir una fuente de energía con paneles solares, con el fin de buscar un modelo de invernadero para tomates Cherry amigable con el medio ambiente.

Permitir configurar los rangos ideales para otros tipos de cultivos de modalidad invernadero desde el dispositivo móvil.

### Referencias Bibliográficas

- AGROMÁTICA. (noviembre de 2015). Guía imprescindible del cultivo del tomate. Obtenido de <http://www.agromatica.es/cultivo-de-tomates/>
- All3DP. (2021). Los 50 mejores proyectos Raspberry Pi – Invierno 2021. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/mejor-proyecto-raspberry-pi/>
- BANCO DE PATENTES SIC. (junio de 2014). Obtenido de TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON INVERNADEROS PARA FLORES: [https://www.sic.gov.co/recursos\\_user/boletines\\_tecno/boletin\\_invernaderos\\_19jun.pdf](https://www.sic.gov.co/recursos_user/boletines_tecno/boletin_invernaderos_19jun.pdf)
- CISCO. What Is a Wireless LAN (WLAN)? Obtenido de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/wireless-lan.html>
- E, MORAN. (2019). Tus tomates Cherry. Obtenido de <https://agriculturers.com/tus-tomatescherry/>
- EL TIEMPO. (marzo de 2020). Los estragos por la sequía en el Atlántico. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/los-estragos-por-la-sequia-en-atlantico-468480>
- ESTUDIO A. ¿Cuáles son las ventajas que nos da Arduino? Obtenido de <https://cerebrocurioso.com.ar/cuales-son-las-ventajas-que-nos-da-arduino/>
- FUNDACIÓN AQUAE. ¿Sabes qué es un Arduino y para qué sirve? Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>
- HOSTGATOR MÉXICO. (2021). SQLite: qué es, cómo funciona y cuál es la diferencia con MySQL. Obtenido de: <https://www.hostgator.mx/blog/sqlite-que-es-y-diferencias-conmysql/#:~:text=SQLite%3A%20ventajas%20y%20desventajas&text=Es%20estable%2C%20mu%20litiplataforma%20y%20compatible>

JARAMILLO, Jorge, Rodríguez, Viviana, Guzmán, Miryam, Zapata, Miguel, Rengifo, Teresita. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. p. 72

MAZUELA P, ACUÑA L, ALVÁREZ M, FUENTES Á. (agosto de 2010). PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE UN TOMATE CHERRY EN DOS TIPOS DE INVERNADERO EN CULTIVO SIN SUELO. Idesia (Arica).

PC COMPONENTES. Características de la nueva Raspberry Pi 4 Model B+. Obtenido de <https://www.pccomponentes.com/caracteristicas-raspberry-pi-4>

PRESIDENCIA DE COLOMBIA. (abril de 2020). Con una inversión de \$1.380 millones, la Agencia de Desarrollo Rural cofinanció la construcción de 62 invernaderos en Nariño. Obtenido de <https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2020/Con-una-inversion-de-1380-millones-pesos-Agencia-de-Desarrollo-Rural-cofinancio-construccion-62-invernaderos-Narino-200423.aspx>

REDAGRÍCOLA. (agosto de 2021). Con IoT monitorean invernaderos de arándanos en Huelva. Obtenido de <https://www.redagricola.com/co/con-iot-monitorean-invernaderos-de-arandanos-enhuelva/>

SWITCHDOC LABS BLOG. (2020). Tutorial - Using Capacitive Soil Moisture Sensors on the Raspberry Pi. Obtenido de <https://www.switchdoc.com/2020/06/tutorial-capacitivemoisture-sensor-grove/>

VANGUARDIA. (diciembre de 2020). Heladas de hasta -5°C en Berlín, Santander, generan pérdidas millonarias para sus campesinos. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/areametropolitana/bucaramanga/heladas-de-hasta-5c-en-berlin-santander-generan-perdidasmillonarias-para-sus-campesinos-MY3203718>