



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“Implementación de un sistema IoT para el monitoreo de parámetros en la germinación de la semilla de *Lycopersicon Esculentum* Mill.”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Realizado por:

MATIAS NICOLAS LÓPEZ TOLEDO

SANTIAGO ANDRÉS UGUÑA ENCALADA

Director:

Ing. HUGO MARCELO TORRES SALAMEA Ph.D.

CUENCA – ECUADOR

2022

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA IoT PARA EL MONITOREO DE PARÁMETROS EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA DE LYCOPERSICUM ESCULENTUM MILL

RESUMEN

El desarrollo del proyecto consiste en la implementación de un sistema IoT (Internet de las Cosas) mediante una red de sensores y actuadores para monitorear y mantener respectivamente las condiciones óptimas de germinación de las semillas de *Lycopersicum Esculentum* Mill. Esta red de sensores está dividida en parámetros de temperatura, humedad de suelo, calidad de aire, iluminación; así como actuadores, tales como ventiladores, nebulizadora y motores de riego. Los cuales, están conectados a un microcontrolador ESP32-WROOM-32D encargado de adquirir y enviar al servidor de nube Google Cloud con una base de datos en MariaDB la información de cada componente, para que, posteriormente los datos sean analizados y en función de la necesidad que se presente en el germinador, los microcontroladores activen de forma automática las variables de los actuadores, y así, mantener siempre las condiciones dentro del rango requerido para la germinación de las semillas. De igual manera, cuenta con una plataforma IoT HTML para la visualización de las tablas y gráficas de comportamiento de todos los sensores y actuadores desde cualquier dispositivo que permita una navegación a Internet. El resultado de este proyecto radica en la obtención de las curvas de comportamiento del entorno del germinador, para que posteriormente se pueda realizar un estudio del tiempo de germinación de cada simiente.

Palabras Clave: Germinación de Semillas, IoT, *Lycopersicum Esculentum* Mill, Red de Sensores.



Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.

Coordinador de carrera



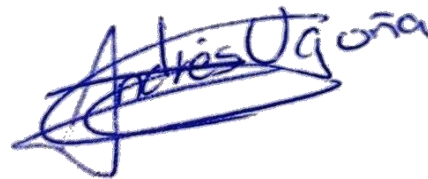
Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D.

Director de trabajo de Titulación



Matías Nicolas López Toledo

Autor



Santiago Andrés Uguña Encalada

Autor

IMPLEMENTATION OF AN IoT SYSTEM FOR THE MONITORING OF PARAMETERS IN THE GERMINATION OF THE LYCOPERSICUM ESCULENTUM MILL SEED

ABSTRACT

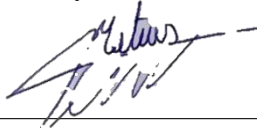
The development of the project consists of the implementation of an IoT (Internet of Things) system through a network of sensors and actuators to respectively monitor and maintain the optimal germination conditions of the Lycopersicum Esculentum Mill seeds. This sensor network is divided into parameters of temperature, soil humidity, air quality, and lighting; as well as actuators, such as fans, nickel and irrigation motors, which are connected to an ESP32-WROOM-32D microcontroller in charge of acquiring and sending the information of each component to the Google Cloud cloud server with a database in MariaDB. Later, the data was analyzed and depending on the need that occurs in the germinator, the microcontrollers automatically activated the actuator variables, always maintaining the conditions within the range required for seed germination. Similarly, the system has an IoT HTML platform for displaying the behavior tables and graphs of all the sensors and actuators from any device that allows Internet browsing. The result of this project consists in obtaining the behavior curves of the germinator environment so that later a study of the germination time of each seed can be carried out.

Keywords: IoT, Lycopersicum Esculetum Mill, Seed Germination, Sensors Network.



Eng. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.

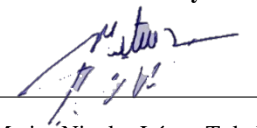
Faculty School Director



Matías Nicolás López Toledo

Author

Translated by



Matías Nicolás López Toledo

Author



Eng. Hugo Torres Salamea Ph.D.

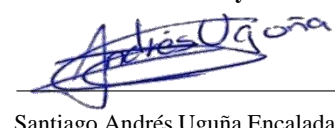
Thesis Director



Santiago Andrés Uguña Encalada

Author

Translated by



Santiago Andrés Uguña Encalada

Author



Implementación de un sistema IoT para el monitoreo de parámetros en la germinación de la semilla de *Lycopersicum Esculentum* Mill

Matías Nicolás López Toledo
Universidad del Azuay
Escuela de Ingeniería Electrónica
Cuenca, Ecuador
matiasnicolaslt@es.uazuay.edu.ec

Santiago Andrés Uguña Encalada
Universidad del Azuay
Escuela de Ingeniería Electrónica
Cuenca, Ecuador.
andresugu@es.uazuay.edu.ec

Resumen– El desarrollo del proyecto consiste en la implementación de un sistema IoT (Internet de las Cosas) mediante una red de sensores y actuadores para monitorear y mantener respectivamente las condiciones óptimas de germinación de las semillas de *Lycopersicum Esculentum* Mill. Esta red de sensores está dividida en parámetros de temperatura, humedad de suelo, calidad de aire, iluminación; así como actuadores, tales como ventiladores, niquelina y motores de riego. Los cuales, están conectados a un microcontrolador ESP32-WROOM-32D encargado de adquirir y enviar al servidor de nube Google Cloud con una base de datos en MariaDB la información de cada componente, para que, posteriormente los datos sean analizados y en función de la necesidad que se presente en el germinador, los microcontroladores activen de forma automática las variables de los actuadores, y así, mantener siempre las condiciones dentro del rango requerido para la germinación de las semillas. De igual manera, cuenta con una plataforma IoT HTML para la visualización de las tablas y gráficas de comportamiento de todos los sensores y actuadores desde cualquier dispositivo que permita una navegación a Internet. El resultado de este proyecto radica en la obtención de las curvas de comportamiento del entorno del germinador, para que posteriormente se pueda realizar un estudio del tiempo de germinación de cada simiente.

Palabras Clave – Germinación de Semillas, IoT, *Lycopersicum Esculentum* Mill, Red de Sensores.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances tecnológicos en el campo de la agricultura son de suma importancia para el progreso de la sociedad; estos han pasado a formar parte del día a día de las personas. Es por esta razón, la importancia de ejecutar un estudio para determinar qué tan factible resultaría implementar este sistema tecnológico en la agricultura. Hoy en día, existen problemas en la labranza relacionados con el pH de la tierra, lo que en ocasiones podría mostrar malezas constituidas por microorganismos que degradan la semilla. Otro problema que siempre está presente en la agricultura, es la humedad del suelo. El cual, en algunos casos llega a estar demasiado seco, produciendo la pérdida de nutrientes necesarios que se

requiere para obtener un brote óptimo y, por último, las temperaturas extremas del ambiente, que podrían ocasionar que la simiente no germine [1][4].

La actividad agrícola, es una de las áreas más importantes para la sociedad, debido a que permite cubrir las necesidades de los seres humanos, con el uso de herramientas tecnológicas que proporcionan el control del sembrío [1][2]. Es por ello, que al utilizar instrumentos como una red de sensores controlada por IoT, se obtiene un producto de calidad, ya que parámetros como la temperatura, humedad, pH e iluminación siempre estarán en función de lo que requiere la semilla. Por consiguiente, se logra un nivel de producción óptimo y un consumo sano del producto final sin el uso de fertilizantes químicos.

Con el paso del tiempo se ha trabajado con dispositivos que facilitan la monitorización de variables ambientales. Un ejemplo de esto es la red de sensores que permite entregar información de lo que está sucediendo en ese momento, es decir, donde se está realizando el proceso de germinación, facilitando con esto la toma de decisiones y evitar las pérdidas de la cosecha. Esta información normalmente es enviada a la base de datos con sus siglas (BD) y almacenada para un análisis posterior [2] [3].

Uno de los objetivos del proyecto consiste en analizar los datos obtenidos a partir de los sensores electrónicos, con el fin, de activar los diferentes actuadores que se encuentran implementados de forma automática, en función de la necesidad que se presente, ya sea para calentar o enfriar el ambiente, así como para activar el riego cuando la tierra lo necesite. Toda la información que se almacene se podrá observar a través de una interfaz desde cualquier dispositivo tecnológico mediante gráficas, según como esté el comportamiento de los sensores.

El desarrollo de este proyecto se presenta en diferentes segmentos, el primero consiste en un análisis del software y hardware ya implementado y, a partir de ello, realizar el control IoT. El segundo segmento compara las distintas tecnologías IoT que existen en la actualidad para elegir la que mejor resultados ofrece al momento de almacenar y analizar los datos. El tercer segmento consiste en añadir el sensor de pH a la red de sensores. El cuarto segmento consiste en aplicar el internet de las cosas a todo el sistema y, por último, obtener las gráficas de comportamiento de la red de sensores, de

manera que, esta información pueda ser analizada de forma manual.

II. ESTADO DEL ARTE

La Revista Ciencia Agronómica, en su publicación “Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0”, resalta la importancia del uso de sensores para capturar datos que permiten crear una aplicación de desarrollo para la visión de los diferentes tipos de cultivos que existen. Esta aplicación es de mucha utilidad para monitorear y predecir diferentes situaciones, las cuales ayudan al agricultor al momento de tomar decisiones [17].

Según [18] en su investigación “El riego en la era de la agricultura 4.0: gestión, seguimiento y precisión”, habla de lo fundamental que es la tecnología para la eficiencia del uso del agua en la agricultura y así poder crear un desarrollo sustentable de este elemento. Con este proyecto de automatización de los sistemas de riego, se puede manipular esta variable, y así, conseguir las condiciones óptimas para el terreno.

En un estudio realizado en Ecuador por los hermanos Laverde Mena, con el tema “El internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana” se llegó a la conclusión de la importancia del sistema IoT, ya que, en la actualidad el internet es fundamental para el desarrollo del ser humano, además de mejorar los procesos de reconocimiento de plagas en los cultivos [19].

Según [20], IoT juega un papel importante en la innovación de la agroindustria, puesto que trae consigo numerosas aplicaciones como el monitoreo de las condiciones climáticas, el crecimiento de las plantaciones, el rendimiento de las máquinas agrícolas y el monitoreo detallado de la salud de las plantas [20].

La Universidad del Quindío presentó la propuesta “Arquitectura para agricultura de precisión soportada en IoT para el monitoreo”, y menciona los cambios que pueden afectar a las semillas cultivadas. Esta arquitectura se llama Lambda, la cual, consiste en reconstruir los sistemas de datos para un trabajo en tiempo real de los sensores que se encuentran sobre el suelo, además, de ser los encargados de recolectar información sobre la heterogeneidad del campo [21].

Los autores [22] explican el “sistema de trazabilidad para cultivar plantas en invernadero basadas en IoT”, este sistema consiste en garantizar la seguridad agrícola y la calidad del producto obtenido mediante las variables controladas por sensores, y, permitir únicamente el uso de fertilizantes y nutrientes a través del sistema de riego que se activará cuando las condiciones programadas no estén en el valor deseado, estas condiciones se almacenarán en la nube y van a tener datos en tiempo real gracias al IoT. La tecnología IoT beneficia tanto al productor como a las personas que consumen este tipo de alimento porque

evitará el uso de pesticidas o cualquier otro producto químico [22].

“El riego automatizado con germinación avanzada de semillas y control de plagas” publicado en la IEEE evita el uso de fertilizantes químicos en el plantío, y mejora el proceso con el uso eficiente de la tierra mediante un monitoreo en todo el campo por sensores principalmente de humedad. El IoT permite la transmisión de información desde la base de datos al sistema de riego y viceversa [23].

Un proyecto publicado por la revista Risti, realizado por la Universidad Estadual Paulista (UNESP) con su tema “Análisis de cobertura de dispositivos de IoT para monitoreo inteligente de granjas”, menciona sobre el desarrollo de un dispositivo llamado INS con la ayuda de un microcontrolador ESP32, este permite estar en observación desde dispositivos electrónicos que identifican los sonidos producidos por las cigarras, siendo estas reconocidas como plagas que afectan el cultivo de café [24].

En la implementación de un ambiente cerrado controlado para la germinación de semillas de tomate riñón, se requiere de un sistema de adquisición de datos, que están siendo recolectados por unos sensores. Como es un estudio previo el software está comandado por visión por computador y Machine Learning. El hardware es un sistema robótico cartesiano que está constituido por sensores, actuadores y una cámara para el procesamiento de imágenes [2].

III. MARCO TEÓRICO

A. Germinación de la semilla.

La semilla cumple una función fundamental en la persistencia y dispersión de las poblaciones de estas especies, conservación de los bosques y sucesión ecológica, además, ciertas simientes son una fuente de alimento para los seres vivos. Para que la semilla cumpla con su objetivo, es necesario que el embrión se transforme y se convierta en una planta adulta, todo ello comprende una serie de procesos metabólicos y fisiológicos cuyo resultado final es la germinación de la semilla [25]. Según [26] la germinación de la semilla consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento. Todos estos procesos van a depender de las propiedades que posee cada una de las semillas, asimismo, de las condiciones del medio como son el nivel de humedad, temperatura, entre otros.

B. Fases de germinación

Según [27] la germinación inicia con la entrada de agua en la semilla y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula y definen 3 fases principales para que se desarrolle este proceso.

Fase de imbibición: La primera etapa de la germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla desde el medio exterior (imbibición). La hidratación de los tejidos de la semilla es un proceso físico con una duración variable según la especie que se está tratando. Una vez que la semilla se ha hidratado correctamente, comienzan a activarse toda una serie de procesos metabólicos que son esenciales para que tengan lugar las siguientes etapas de la germinación.

Fase de activación enzimática: Una vez que la semilla se ha hidratado adecuadamente, entra en una segunda etapa del proceso de germinación; durante esta etapa tiene lugar una activación generalizada del metabolismo de la semilla, lo cual es esencial para que se desarrolle la última fase del proceso de germinación, la fase de crecimiento.

Fase de crecimiento: En esta última fase de la germinación, se genera el crecimiento de la radícula a través de las cubiertas seminales. En el caso de que las condiciones del medio no permitan que esta fase pueda seguir adelante, la semilla morirá. Una vez que la radícula ha roto las cubiertas seminales, se inicia el desarrollo de la plántula, proceso complejo y variable según las especies, que implica un elevado gasto de energía que se obtiene mediante la movilización de las reservas nutritivas de la semilla.

C. Ambiente controlado para la germinación de semillas

Un ambiente controlado favorece en la germinación de la semilla, en el control de plagas y enfermedades, con esto, se beneficia el crecimiento de las plantas al no utilizar plaguicidas, dando como resultado una especie orgánica [28] [29]. Para tener una respuesta óptima es indispensable que el sistema controlado tenga un seguimiento en la temperatura, iluminación, la humedad del ambiente y humedad del suelo [30].

D. Redes de Sensores

Las redes de sensores son la unión de varios nodos (Figura 1) de sensores, que se sitúan en el lugar que se desea monitorear. El nodo está constituido por un sensor que recepta un cambio físico, y se comunica de manera inalámbrica con un centro de control [32]. Esto es una gran ayuda para la comunicación entre sensores, puesto que, en la actualidad existen protocolos que son compatibles, de esta manera es más sencillo de implementar [31].

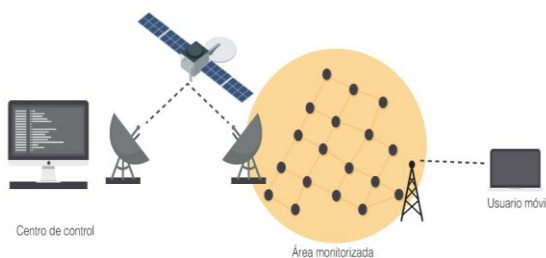


Figura 1. Red de sensores.
Fuente: [32]

E. Sistemas IoT

Según [33], define IoT como una infraestructura mundial que ofrece el servicio de la interconexión de las cosas mediante nuevas tecnologías para la comunicación. Un sistema IoT es una conexión de equipos que se utilizan en la vida cotidiana conectados a internet con la suficiente competencia para reconocer el entorno en el que están interactuando, tomar decisiones con el fin de solucionar problemas y actuar en base a la información que recepta [34].

Esto ayuda a poder controlar cosas simples mediante un dispositivo móvil, entre los aparatos que pueden controlarse están los electrodomésticos, temperatura de nuestra casa, iluminación, etc. [35].

F. Capas de red que utilizan los sistemas IoT

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS DE RED DEL INTERNET DE LAS COSAS.
FUENTE: [36]

Tecnologías	Red	Frecuencia	Rango
4G/LTE	WAN	700 – 2600 MHz	50 km
Ethernet	MAN	Cableado	Cientos de kilómetros con fibra óptica
WIFI	LAN/PAN	2.4 y 5 GHz	100 m (espacio abierto)
IEEE 802.15.14	LAN/PAN	2400 – 2483.5 MHz	10 m
ZIGBEE	LAN/PAN	2.4 GHz (Alta velocidad) y 868 MHz (Baja velocidad)	10 m
Bluetooth	LAN/PAN	2.4 – 2.485 GHz	40 m

IV. METODOLOGÍA

A. Análisis del sistema implementado

Es necesario comprender el funcionamiento del sistema disponible (Figura 2) para poder implementar nuevos sensores y el manejo del sistema IoT en el germinador.

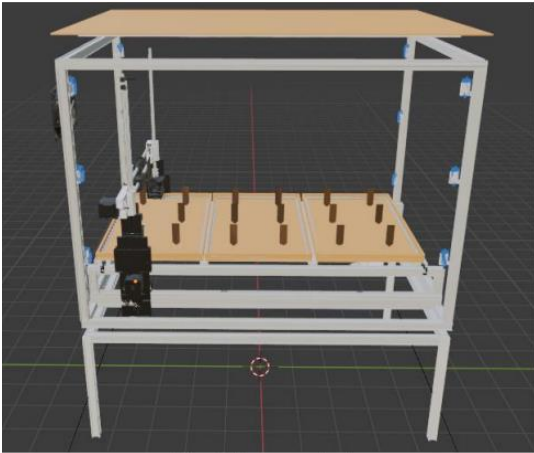


Figura 2. Diseño del ambiente controlado.
Fuente: [2]

El sistema implementado está constituido de 29 sensores distribuidos en 16 de la variable humedad del suelo, 1 de luminosidad y 12 sensores de humedad del ambiente y temperatura. De igual forma, se compone de actuadores, los cuales, están conformados por 3 motores de bombeo, 2 ventiladores y una niquelina calefactora. Además, está implementada una cámara que procesa la imagen (Figura 3) de la evolución en la germinación de semillas.

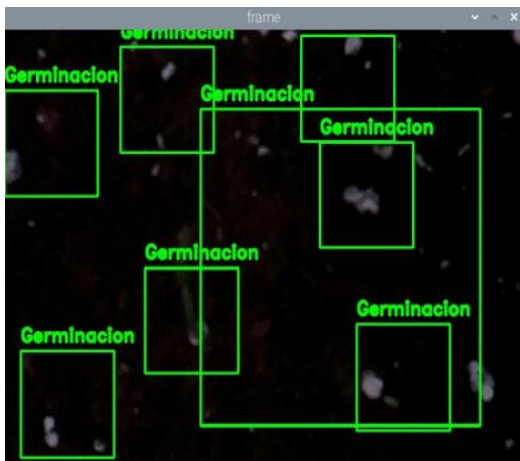


Figura 3. Detección de germinación mediante la cámara.
Fuente: [2]

También, el sistema cuenta con un robot cartesiano (Figura 4) el cual dispone de motores para desplazarse en los ejes XYZ, estos movimientos se realizarán a través de un microcontrolador atmega2560 de 8-bit con una programación en C++ [2], con el fin de obtener la información de cada semilla de *Lycopersicum Esculentum* Mill ubicadas en los recipientes. Este desplazamiento sigue una secuencia realizando un movimiento en el eje X hasta llegar al fin carrera. De la misma manera, realiza el movimiento en el eje YZ. El algoritmo de estos deslizamientos sigue un proceso poniendo al robot en una posición inicial, el cual ubica a cada eje en su posición 0 o posición de inicio [2].

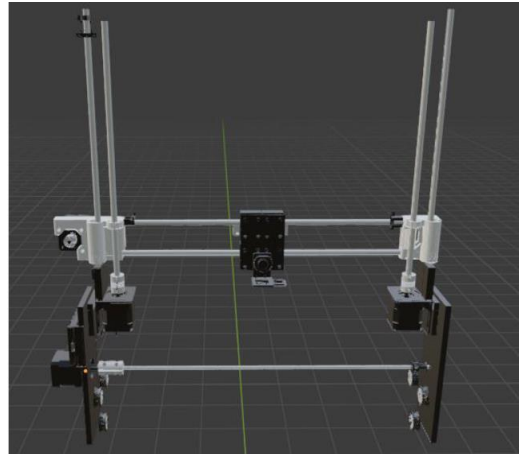


Figura 4. Movilidad de los ejes XYZ.
Fuente: [2]

La estructura (Figura 5) está diseñada de aluminio, consta de 4 postes, tres semilleros y cubierta en su totalidad por acetato para bloquear la temperatura interior de la temperatura exterior, en esta estructura se ubican los componentes electrónicos que se encargan de dar información sobre aspectos como: temperatura, humedad e iluminación, así como los distintos actuadores. Estos componentes electrónicos son conocidos como sensores y se dividen en sensor DTH11 que permite obtener los datos de temperatura, humedad y sensación térmica. Sensor CSM el cual brinda información sobre la humedad del suelo. Sensor TCS34725 el cual permite visualizar datos como la cantidad de LUX, así como determinar qué color es el que predomina ese momento. Estos datos recopilados serán utilizados para una evaluación posterior completa de lo que sucede a su alrededor y poder activar los actuadores, con la finalidad que las condiciones siempre sean óptimas para una germinación adecuada y fructífera.

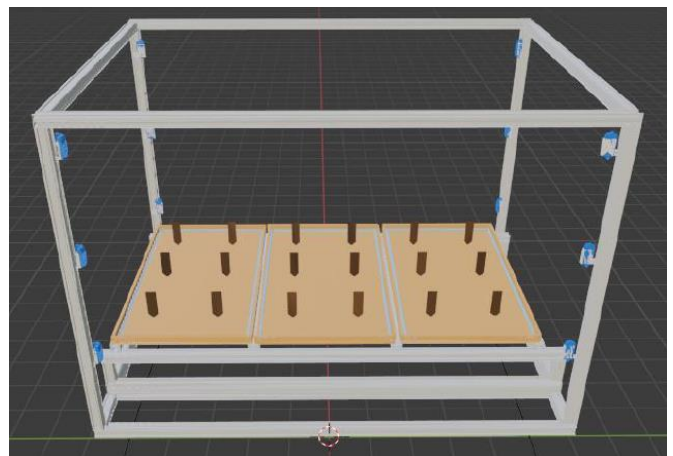


Figura 5. Estructura del germinador.
Fuente: [2]

El robot cartesiano dispone de un sensor AMG8833 (Figura 6) que permite medir la temperatura superficial con el uso de un infrarrojo [8], junto con una cámara OV5647 (Figura 7) de 5

megapíxeles el cual posee un lente de video de 1080p a 30fps (Figura 8) [9].

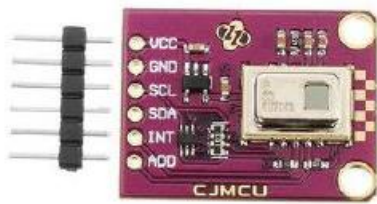


Figura 6. AMG8833
Fuente: [8]

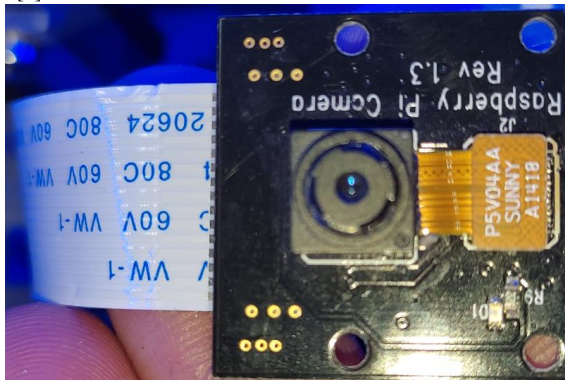


Figura 7. OV5647
Fuente: [2]

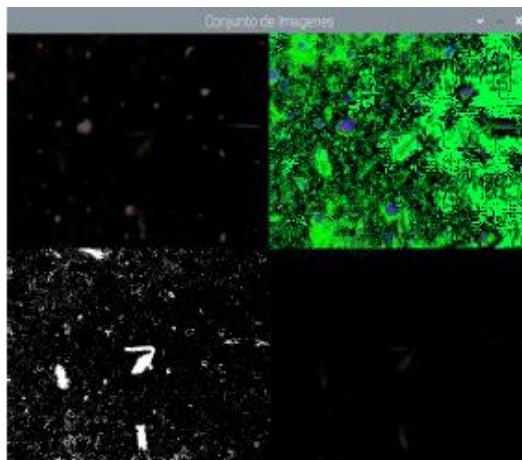


Figura 8. Imágenes realizadas por los sensores OV5647 y AMG8833.
Fuente: [2]

B. Análisis de las plataformas IoT y comparación de los servidores en la nube

El internet de las cosas es un paradigma informático que admite conectar dispositivos desde distintos puntos de acceso, facilitando el manejo de tareas y visualización de datos, permitiendo un mando óptimo para la automatización del ambiente. Estas plataformas son el intermediario entre los datos que se encuentran en la nube remota y el medio de visualización de dichos datos, ya sea en una aplicación móvil o una página HTML [5].

HTML, Hyper Text Markup Language (lenguaje de marcas de hipertexto), permite representar textos de forma ordenada con

enlaces que transportan a otros salvo ductos o fuentes de aviso relacionadas y con inclusiones a gráficas, sonidos, animaciones, etc. [7] Esta codificación admite cumplir una gran diversidad de trabajos como la visualización de los datos que se encuentran almacenados en el servidor y obtener información de distintos proyectos que se van a poder observar desde cualquier parte siempre y cuando cuente con una conexión a internet en su dispositivo tecnológico. La ventaja de este lenguaje es que se podrá ingresar desde cualquier navegador o plataforma web, sin importar el sistema operativo ya sea este Microsoft Windows, Mac OS X, Linux Ubuntu, Android, iOS, etc. [37]. HTML sigue una serie de pasos con las siguientes características:

- Protocolo
- Nombre de dominio
- Directorio
- Archivo
- Solicitud
- Fragmento

Las plataformas IoT sirven para la visualización de los datos almacenados, para este proyecto se utilizó HTML, lenguaje para realización de páginas web de un método gratis que, a diferencia de otras plataformas que cuentan con los servicios IoT tales como ThingsBoard, Blynk y Arduino Cloud, que hasta cierto punto es gratuito, sin embargo, al momento de utilizar funciones para la generación de gráficas de datos se tiene que contratar un paquete, es decir, ya tendrá un costo mensual y en función de la cantidad de datos este costo aumenta. Otro beneficio de utilizar HTML es su lenguaje de fácil entendimiento, a diferencia de las otras plataformas en las cuales se requiere una comprensión más específica.

Para el almacenamiento de datos provenientes desde los microcontroladores se requiere manejar un servidor en la nube; esta es una técnica donde se intercambia información a través de una red [6]. Estos proporcionan fuerza de proceso, acopio y aplicaciones que pueden estar en cualquier parte del mundo y facilitar el trabajo de forma remota. Para la elección se investigaron tres servidores de nube los cuales son AWS, Google Cloud y Blynk IoT Plataforma, donde se realizó una equiparación entre los diferentes servidores, para verificar cual es la opción más óptima y la que mejor rendimiento brindara. A continuación, se muestran las comparaciones entre los servidores explorados [6].

TABLA 2. COMPARACIÓN AWS Y GOOGLE CLOUD.
FUENTE: [10]

Parámetros	AWS	Google Cloud
Precios	Costo por hora	Costo por minuto
Contenedores	Docker, Kubernetes	Kubernetes
Almacenamiento de Objetos	Amazon Simple Storage Services	Nube de Google
Almacenamiento de archivos	Sistema de archivos elástico de Amazon	Disco persistente
Almacenamiento en disco VM	Bloques elásticos	HDD y SSD
Tamaños de volumen	500GB a 16TB	1GB a 64TB
Formato de transmisión de datos	General	Encriptado

TABLA 3. COMPARACIÓN BLYNK Y GOOGLE CLOUD.
FUENTE: [61]

Parámetros	Blynk	Google Cloud
Precios	Costo por hora	Costo por minuto
Contenedores	Docker	Kubernetes
Almacenamiento de Objetos	Almacenamiento en la nube en Blynk platform IoT.	Nube de Google
Almacenamiento de archivos	Almacenamiento por Thingspeak	Disco persistente
Almacenamiento en disco VM	HDD y SSD	HDD y SSD
Tamaños de volumen	1GB a 500GB	1GB a 64TB
Formato de transmisión de datos	Encriptado	Encriptado

TABLA 4 COMPARACIÓN AWS Y BLYNK.
FUENTE: [62]

Parámetros	Blynk	AWS
Precios	Costo por hora	Costo por hora
Contenedores	Docker	Docker, Kubernetes
Almacenamiento de Objetos	Almacenamiento en la nube en Blynk platform IoT.	Amazon Simple Storage Services
Almacenamiento de archivos	Almacenamiento por Thingspeak	Sistema de archivos elástico de Amazon
Almacenamiento en disco VM	HDD y SSD	Bloques elásticos
Tamaños de volumen	1GB a 500GB	500GB a 16TB
Formato de transmisión de datos	Encriptado	General

C. Sensor de pH

El pH está presente en la tierra de cultivo, y al existir diferentes ejemplares de estos, cada uno cuenta con características únicas relacionadas a los micronutrientes o macronutrientes que establecen las circunstancias necesarias para el desarrollo de crecimiento de la simiente. El pH también llamado acidez del suelo está constituido por un rango que va desde 0 hasta 14 como se puede observar en la Tabla 5 [18] [46] [47].

TABLA 5. NIVELES DE ACIDEZ DE LOS SUELOS.
FUENTE: [46]

Tipo	Nivel
Ácido extremadamente alto	< 4,5
Ácido alto	4,5 – 5,5
Ácido medio	5,6 - 6
Ácido ligero	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Básico medio	7,4 – 7,8
Básico	7,9 – 8,4
Alcalino ligero	8,5 – 9,0
Alcalino	9,1 - 10
Alcalino alto	>10

La obtención de la acidez del suelo en los semilleros, se realizó con el sensor Soil pH 3001-PH-RS (Figura 9), lo cual, cuenta con las siguientes especificaciones (Tabla 6).

TABLA 6. 3001-PH-RS.
FUENTE: [48]

Especificación	Contenido
Fuente de alimentación	12-24V DC
Consumo	$\leq 0.15W$
Precisión	-0.3 pH a 0.3 pH
Rango de detección de PH	3 - 9 pH
Estabilización	$\leq 5\%$ /año
Salida de transmisión	RS485Output (Modbus)
Temperatura de trabajo	0 – 55 °C
Tiempo de reacción	$\leq 15s$

El sensor 3001-PH-RS (Figura 9 y 10), es utilizado para la elaboración técnica y seguimiento climático, por ello, este componente electrónico es resistente al polvo y agua con una certificación IP68. En el germinador, este sensor ayuda a determinar el pH del suelo de cada semillero. Hay que recalcar que, este proyecto cuenta con 3 bandejas, cada una se dividió en 6 secciones para ubicar las semillas dando un total de 18 posiciones que el robot cartesiano tendría que recorrer junto con este sensor. El 3001-PH-RS necesita un tiempo de 3 minutos como mínimo por cada simiente, es decir, tardando un total de 75 minutos para recorrer todos los semilleros y así obtener los resultados de un suelo ácido, neutro o alcalino.



Figura 9. Sensor de pH.



Figura 10. Sensor de pH, para cada simiente.

Para realizar la conexión del sensor 3001-PH-RS con el microcontrolador se utiliza el módulo Modbus MAX485 (Figura 11); para la comunicación RS485, cuenta con velocidades de 2.5Mbps y es de tipo transceiver half duplex [49] [50]. Este módulo envía datos en forma hexadecimal, para lo cual, en el microcontrolador se debe transformar a código decimal para visualizar los resultados.

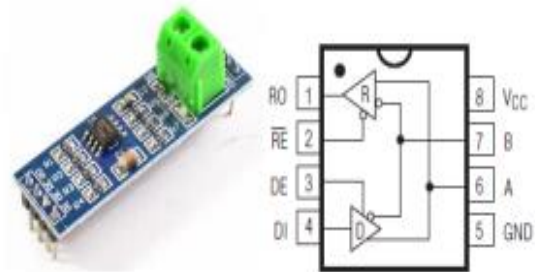


Figura 11. MAX485
Fuente: [50].

D. Implementación de la red de sensores para el sistema IoT

Cada parante están constituido por tres DTH22 (Figura 12) distribuidos en la parte superior, media e inferior del poste, estos componentes electrónicos están compuestos por un termistor para determinar el aire que circula por el ambiente y un sensor capacitivo que mide tanto la humedad como la temperatura del ambiente, los datos son enviados al microcontrolador por medio de una señal digital [51] [52].



Figura 12. DTH22

Dos MQ135 (Figura 13) que se sitúa en la parte superior e inferior del poste, detectan si existe la aparición de gases tóxicos tales como amonio, amoniac, humo, dióxido de carbono, benceno, entre otros. Este sensor ayudara a detectar la calidad del aire para no producir perdidas de nutrientes del ambiente y el no crecimiento de la semilla [53].



Figura 13. MQ135

Un TC34725 (Figura 14) está ubicado en la parte inferior del parante, teniendo en cuenta que establecerá una obtención digital en representación de matriz que encierra los rayos infrarrojos que están formados por fotodiodos, para así fijar la cantidad de Lux, R, G, B, Clear y el color de temperatura [54].



Figura 14. TC34725

La Figura 15 explica el funcionamiento del algoritmo de ambiente, el cual se encargará de la recolección de datos de cada parante, para posteriormente analizar los resultados y a

partir de ello activar los actuadores que dependan de estos sensores.

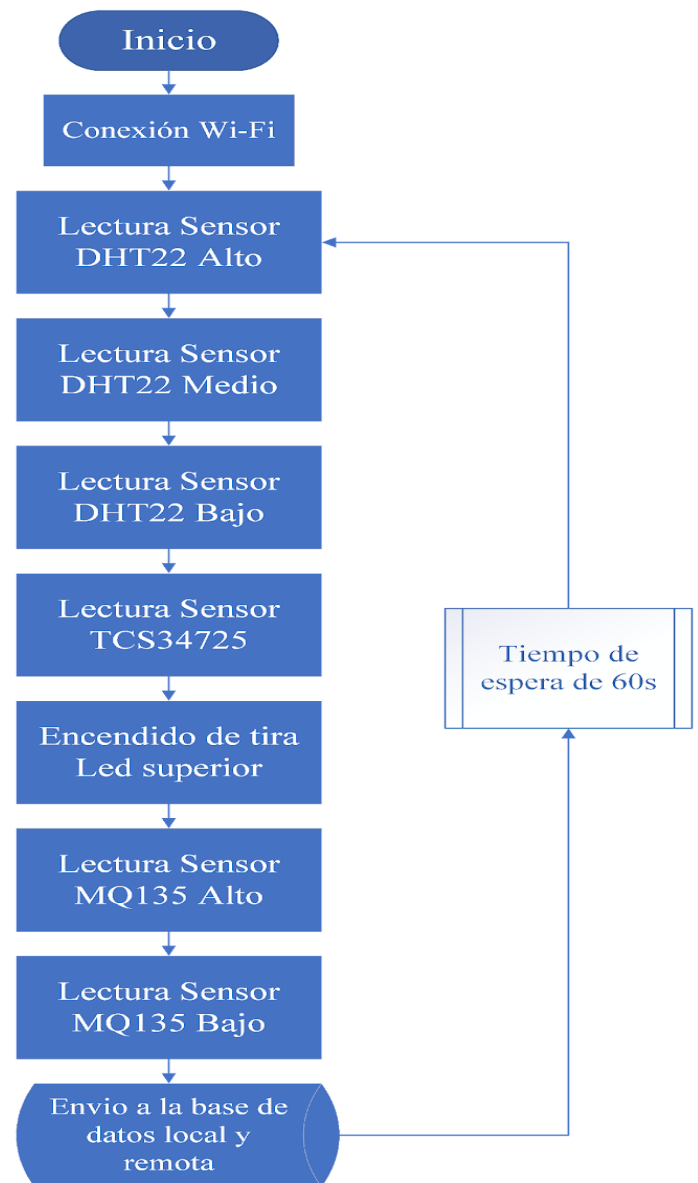


Figura 15. Algoritmo del Ambiente.

E. Implementación de actuadores en el germinador de semillas

Los semilleros (Figura 16) están constituidos por 6 sensores de humedad del suelo y 3 motores para el riego. Estos sensores de humedad del suelo son conocidos como Capacitive Soil Moisture Sensor (Figura 17), y se utilizarán para el monitoreo de fluido, ya que, producen mediciones constantes de la cantidad de líquido que posee la tierra de sembrío [55]. También, se utilizarán para la activación de riego a partir de los motores, se debe tener presente que, para esta simiente, la humedad del suelo tiene que estar entre un rango de 40% a 80%, si es que se encuentra menor a 40% se activara el riego por 30 segundos, caso contrario si la humedad es superior a 80%, los motores se mantendrán apagados.



Figura 16. Bandeja del semillero.



Figura 17. Capacitive Soil Moisture Sensor y Motor de Riego.

La calefacción se basará en una niquelina (Figura 18) y un ventilador al detectar el promedio de temperatura que es entregado por los sensores DTH22, se activan si es menor a 19 grados centígrados y se desactivará cuando la temperatura supere los 25 grados centígrados, puesto que, ese es el rango óptimo para mantener el ambiente de la simiente de *Lycopersicum Esculentum Mill*.



Figura 18. Niquelina y modulo MOSFET.

Existen tres tipos de semillas las cuales se pueden clasificar como: fotosensibles positivas que germinan siempre y cuando

estén expuestas a la luz, fotosensibles negativas germinan cuando no exista presencia de la luz y por ultimo las no fotosensibles que desenvueltemente de su expresión a la luz consiguen nacer [56]. El *Lycopersicum Esculentum Mill* es una simiente fotosensible positiva en consecuencia de que necesita luminosidad de 16 horas al día como mínimo, por ello el uso de luces led (Figura 19) en todo el germinador para que esta siempre tenga la iluminación RGB necesaria para garantizar un crecimiento adecuado [56] [57].

La ventilación (Figura 19) está constituida por dos ventiladores en lados laterales del germinador al igual que la calefacción recibirán el dato promedio de la temperatura, pero funcionarán de forma inversa, es decir, se activarán cuando la temperatura sobrepase los 25 grados centígrados y se desactivarán cuando esta esté menor a los 24 grados centígrados.



Figura 19. Iluminación y ventilación para el germinador.

Para obtener la información de la red de sensores, así como de los distintos actuadores que funcionan en el germinador, se emplean 11 microcontroladores ESP32-WROOM-32D [12].

La Figura 20, muestra el algoritmo empleado para la recolección de datos de humedad del suelo de cada bandeja donde se encuentran las simientes, para determinar si se halla en las condiciones óptimas o si necesita ser regada para mantener la humedad necesaria.

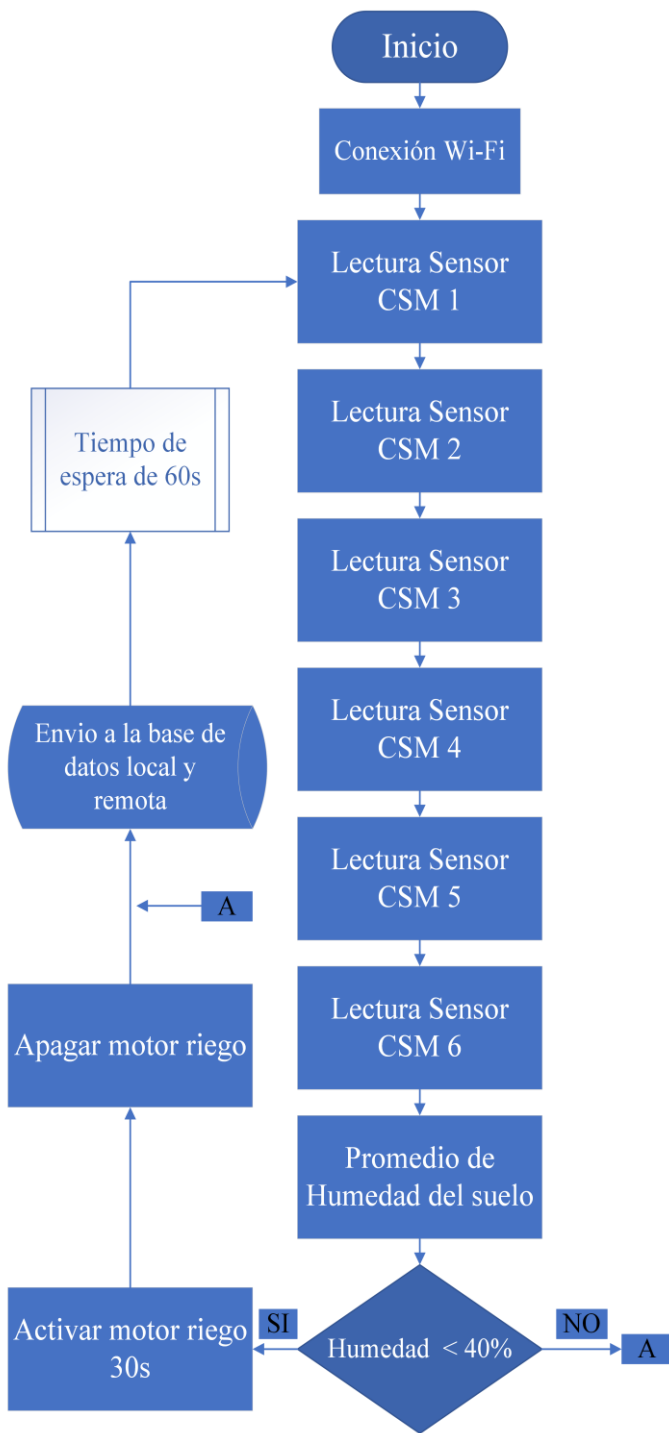


Figura 20. Algoritmo de los semilleros.

La Figura 21, expone la activación de los ventiladores a partir de un promedio general realizado con los sensores de temperatura para mantener las condiciones de ambiente requeridas para las semillas.

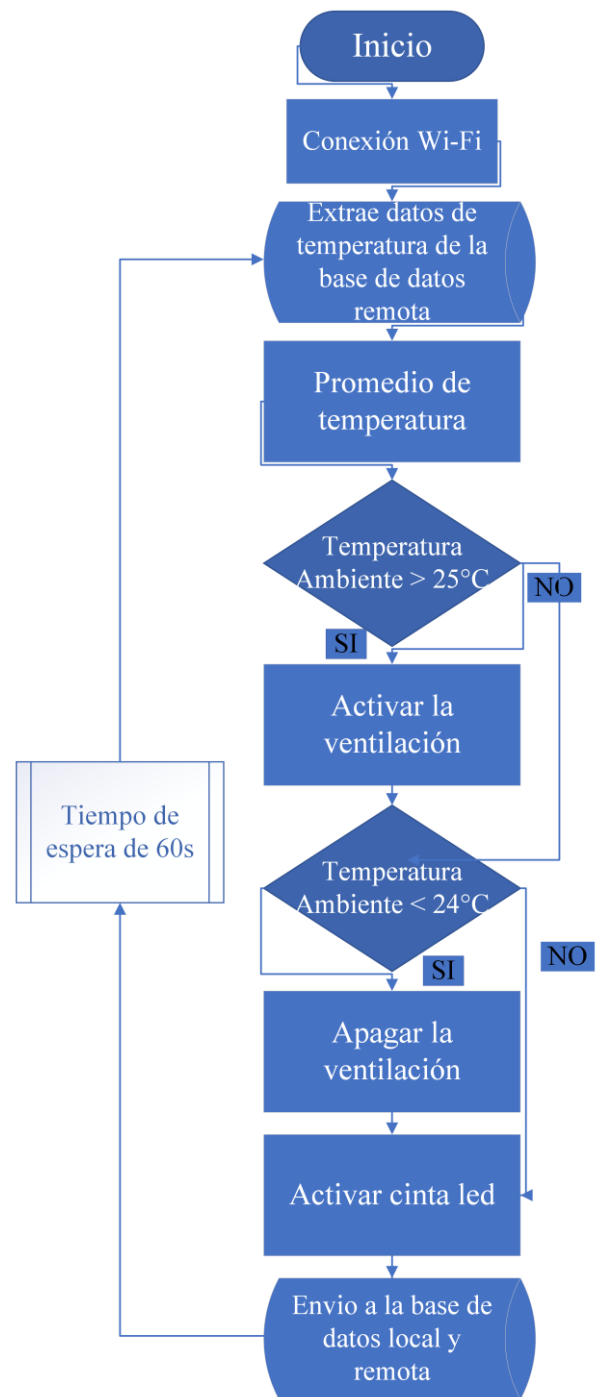


Figura 21. Algoritmo de Ventilación.

La Figura 22, al igual que la ventilación entra en funcionamiento a partir del promedio que presente los sensores DTH22, es decir cuando la temperatura general sea menor a los 19 grados la calefacción se activará para ambientar el germinador.

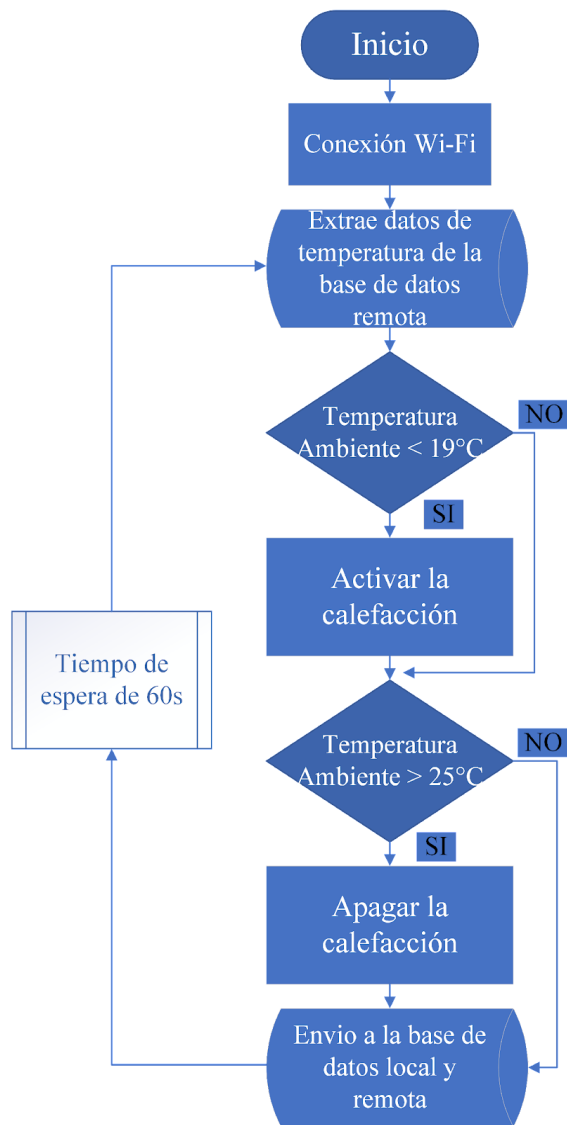


Figura 22. Algoritmo de Calefacción.

F. Software y plataformas IoT para la visualización de los datos establecidos por la red de sensores y actuadores

El software para la lectura de los sensores y actuadores es en Arduino IDE. Arduino IDE es una aplicación multiplataforma que puede utilizar lenguajes tales como Java, C y C++ [38]. La información que es obtenida por los microcontroladores es enviada al servidor de nube por medio del lenguaje PHP y MySQL ejecutado en Visual Studio Code (VSC). Estos datos son almacenados en la base de datos MariaDB y visualizados en la aplicación phpMyAdmin, así como en una página web [13].

El servidor de nube Google Cloud (Figura 23) es un agregado de requerimientos y prestaciones de computación en la nube oficial de Google [11]. Se escogió este servidor, ya que, almacena los datos enviados por los microcontroladores de forma gratuita por un período de 90 días, pero, al momento de crear una cuenta concede un crédito de 300 dólares al ingresar con un correo personal, y, si se dispone de un correo

estudiantil se entrega un crédito de 400 dólares para el gasto de cualquier prestación que brinda la nube durante un año.

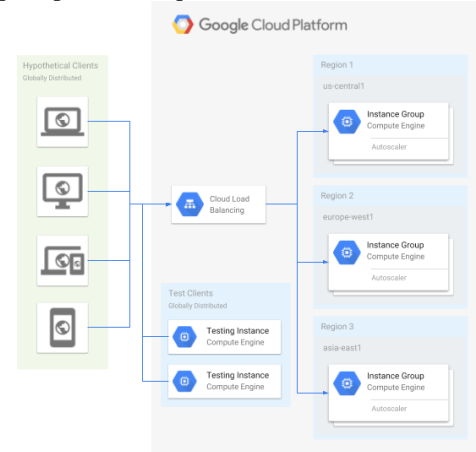


Figura 23. Arquitectura de Google Cloud.
Fuente: [37]

PHP Procesador de Hipertexto es utilizado para el procesamiento de aplicaciones a desarrollar con el servidor, con capacidad de creación en la World Wide Web (www). El código es interpretado en el lado del servidor por un módulo PHP que también genera la página web que se mostrará en el lado del cliente. Este lenguaje es modular y se puede utilizar en servidores web [14] [15] [16]. Es relativamente sencillo desarrollar páginas dinámicas a partir de una base de datos usando este lenguaje [15], soporta MySQL usando sockets o protocolos [14] [16], y sus principales características son:

- Velocidad y robustez [14]
- Estructurado y orientado a objetos [14]
- Portabilidad [14]
- Tipo dinámico [14]
- Texto mecanografiado para C/C++ y Perl [14]
- Código abierto [14]

La codificación PHP se realizó en Visual Studio Code (VSC). Los datos que se están almacenando en las ESP32-WROOM-32D son receptados y posteriormente enviados al servidor de Google Cloud, así como, a la base de datos MariaDB para poder ser visualizados en la aplicación phpMyAdmin y en una página web, como ya se mencionó en párrafos anteriores.

VSC (Figura 24) está constituido por una serie de beneficios para la creación de distintas aplicaciones las cuales pueden ser:

- web ASP.NET [39]
- Servicios Web XML [39]
- Aplicaciones móviles [39]
- Visual Basic [39]
- Visual C# [39]
- Visual C++ [39]

Estas aplicaciones mencionadas permiten la codificación en diversos lenguajes [39] [40]. Esta plataforma es la encargada de soportar las distintas codificaciones tanto para el envío de

información desde los microcontroladores, así como, para la recepción de los datos que se encuentran en la nube, las cuales, son analizadas para posteriormente activar o desactivar los actuadores. VSC permite también la codificación a partir del lenguaje HTML, el cual admite crear páginas web para la visualización de las distintas tablas que se encuentran almacenadas en la base de datos.



Figura 24. Logo de Visual Studio Code.
Fuente: [39]

PuTTY (Figura 25) es un cliente secure shell con el que se enlaza a servidores remotos con una dirección IP, instruyendo un mecanismo que admite elaborar órdenes para la instalación de Apache, MariaDB y phpMyAdmin [43], así como para la utilización de FileZilla.

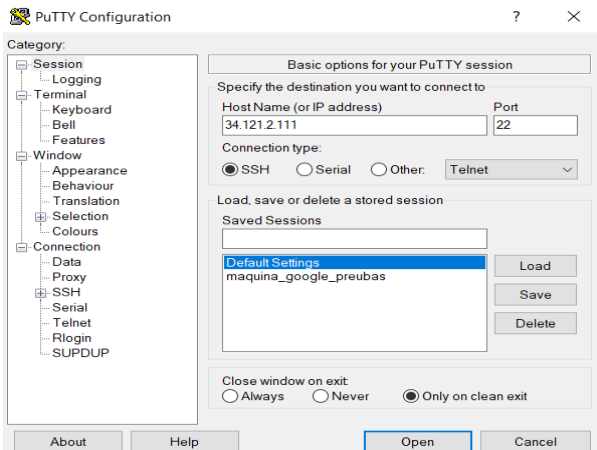


Figura 25. PuTTY.

FileZilla (Figura 26) actúa como un servidor remoto, el cual, tiene la capacidad de conectar un ordenador hacia un servidor de nube a través de File Transfer Protocol (FTP), opera como un cliente FTP admitiendo el enlace a distintos servidores para que otros usuarios tengan acceso al ordenador principal. Esta herramienta es de fácil manejo para realizar conexiones remotas y acceder a los distintos archivos que se encuentran en ella desde cualquier lugar del mundo, sin embargo, hay que recalcar que los archivos tienen que ser public HTML [41] [42]. Estos archivos mencionados son los creados en VSC.

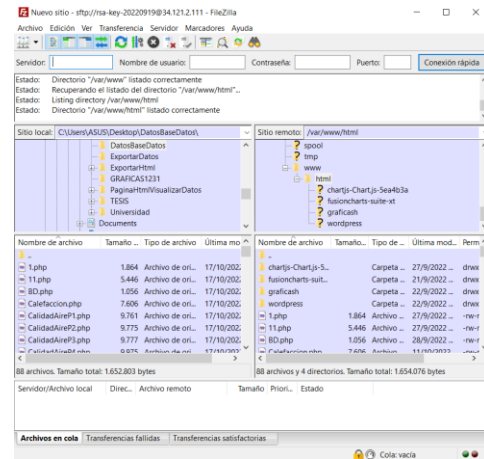


Figura 26. FileZilla.

MariaDB actúa como un servidor de base de datos. La selección de este BD es requerida gracias a su fácil implementación, debido a que, brinda una progresión superior de elecciones refiriéndose a la configuración, gestión, seguridad y rendimiento que puede ofrecer (Figura 27) [44] [45].



Figura 27. Comunicación entre el microcontrolador y el servidor IoT.
Fuente: [12]

El flujograma de la Figura 28, consiste en el funcionamiento general de la red de sensores junto con los actuadores para el control tanto de ambiente y humedad en el germinador.

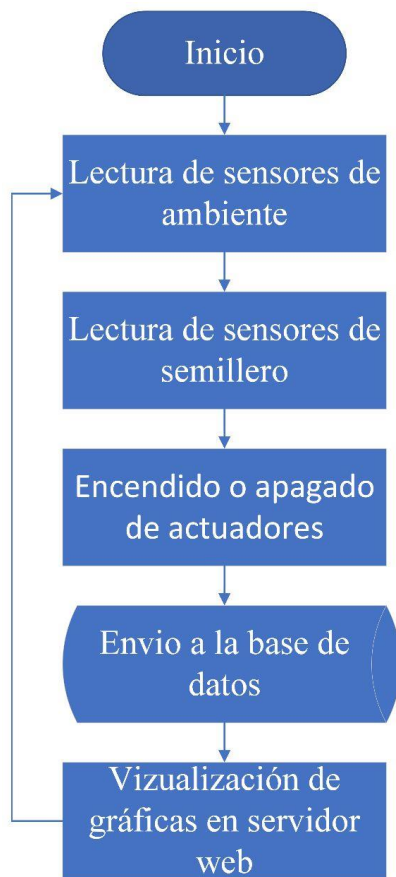


Figura 28. Diagrama de flujo general sobre el funcionamiento de la red de sensores con los actuadores.

G. Implementación de gráficas sobre la red de sensores y actuadores del sistema germinador

Para visualizar el comportamiento de los distintos sensores y actuadores que se encuentran en este proyecto se incorporó en la codificación de VSC, la librería de Google Charts (Figura 29), es la encargada de la realización de gráficos sobre datos constituidos, permitiendo la fusión en un sitio web. Esta librería es de fácil uso en el lenguaje de marcas de hipertexto y su funcionamiento consiste en que todos los datos son procesados localmente, es decir, Google no tiene acceso en lo absoluto a nuestra información, únicamente HTML se fusiona directamente con la librería, para así, enviar un URL especificando que tipo de gráfico es el solicitado y qué características requiere el mismo [58] [59]. Los gráficos obtenidos, son clasificados en Parante 1, Parante 2, Parante 3, Parante 4, Semillero 1, Semillero 2, Semillero 3 y Ambiente, en donde se representa como es el comportamiento de la temperatura, humedad, sensación térmica, iluminación, calidad de aire, humedad de suelo y pH. Este comportamiento se podrá observar en función del tiempo y de la fecha, asimismo, se cuenta con una opción para observar las tablas y descargarlas en el caso de ser necesario para estudios o pruebas futuras.



Figura 29. Google Chart.
Fuente: [59]

V. RESULTADOS

Al momento de realizar la red de sensores (Figura 30 y 31) en comparación con el sistema implementado en [2], se realizó algunos cambios, tales como, sustituir el sensor DTH11 con el DTH22, debido a que, este posee rangos de medida más amplios y con una resolución superior las principales diferencias se pueden observar en la Tabla 7. Se implementó el nuevo sensor MQ135, para obtener resultados de calidad de aire y así realizar sus respectivas graficas características, así como, el sensor de pH que determina la acidez o alcalinidad del suelo. Se efectuó una iluminación mejor de la que se encontraba, debido a que los leds se distribuyeron en los extremos y en la parte superior del germinador, permitiendo con esto, que las semillas de *Lycopersicum Esculentum* Mill tengan la cantidad de luz necesaria. Por último, el movimiento del robot cartesiano se reemplazó, pues, se redujo la cantidad de semillas por bandeja, esto se debe a la implementación del 3001-PH-RS, puesto que, este tiene un ancho de 3cm y necesita el espacio suficiente para poder obtener los resultados de la acidez de suelo.



Figura 30. Red de sensores.



Figura 31. Germinador.

TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DTH.
FUENTE: [60]

Sensor	DTH11	DTH22
Señal	Digital	Digital
Temperatura	0 °C a 50 °C	-40 °C a 80 °C
Precisión Temp	-2 °C a +2 °C	< ±0.5°C
Humedad	20% a 90%	0 a 100%
Precisión Hum	4%	2%
Resolución Hum	1%	0,1%

Además, la red de sensores anterior, contaba únicamente con una base de datos local, es decir, se podía visualizar los datos siempre y cuando se encuentren conectados a la misma red que el atmega2560. Por ello el uso del internet de las cosas, con la utilización de microcontroladores IoT, los datos son almacenados y posteriormente visualizados en cualquier lugar del mundo, esta visualización se realizó con una plataforma IoT HTML. Esta se puede ingresar introduciendo el link correspondiente en cualquier navegador a internet. El link para la visualización de los datos es <http://34.121.2.111/menu.php>, en donde se ingresa al menú principal (Figura 32) y cuenta con distintas opciones para unirse y visualizar tablas y gráficas.



Figura 32. Menú principal para la visualización de los datos de la red de sensores para la semilla *Lycopersium Esculentum* Mill.

Se cuenta también con un código QR como se observa en la Figura 33 para escanearlo desde un celular y automáticamente este ingrese a la página principal de la plataforma IoT.

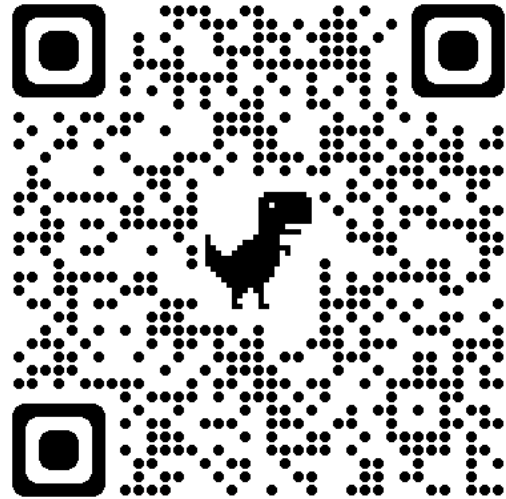


Figura 33. Código QR.

La plataforma IoT está constituida por Parante 1, Parante 2, Parante 3, Parante 4, Semillero 1, Semillero 2, Semillero 3 y Descargar Tablas a Excel.

Al ingresar en la ventana del Parante 1, lo primero que se observa son los resultados que los sensores están enviando ese instante (Figura 34), es decir, obtenemos los datos de temperatura, humedad, sensación térmica, iluminación y calidad de aire, dado que la codificación exporta las estadísticas de los componentes cada 60 segundos.



Figura 34. Visualización de los datos obtenidos en ese momento.

Al ingresar en la opción Temperatura °C, así como, en Temperatura °F del Parante 1, se puede visualizar las gráficas en función del tiempo y fecha (Figura 35 y 36). Estas gráficas están divididas en Temperatura Alta, Media y Baja, al utilizar una PC, con el indicador del mouse se puede ubicar en las gráficas y observar en que día se dio el pico más alto y bajo, si se dispone de un dispositivo touch, al igual, que con la PC se puede ubicar las características de la gráfica por hora y fecha. La opción de temperatura es una de las características indispensables para una germinación rápida, debido a que, a partir de esto entraran a funcionar los actuadores de ventilación y calefacción.

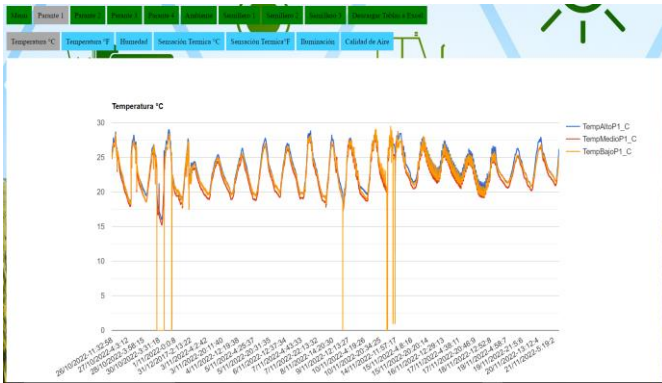


Figura 35. Gráfica de la Temperatura en °C

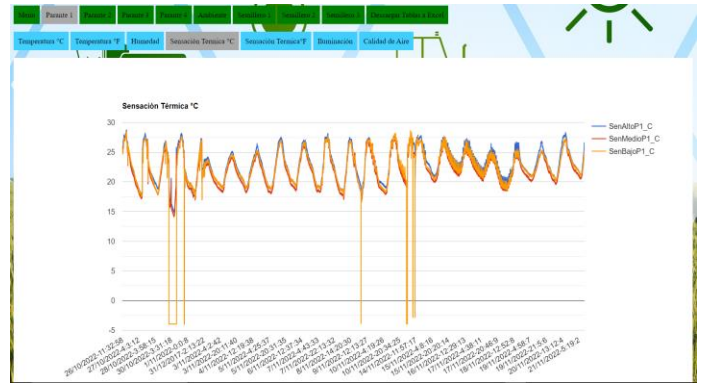


Figura 38. Sensación Térmica en °C

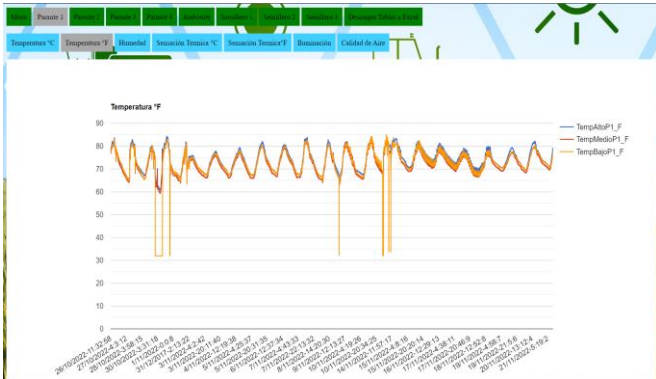


Figura 36. Gráfica de la Temperatura en °F

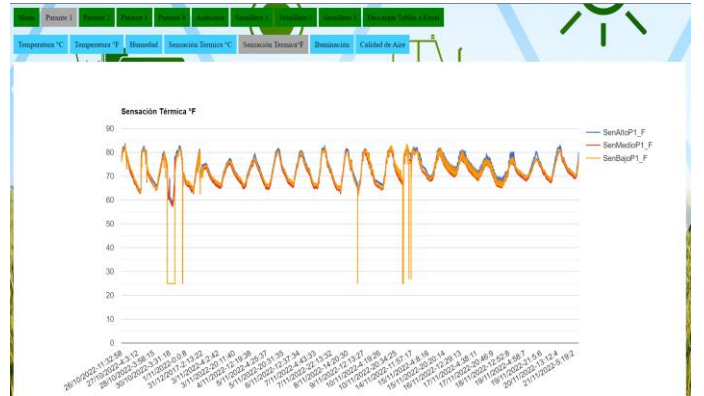


Figura 39. Sensación Térmica en °F

En la misma opción de Parante 1, ingresando a Humedad, se visualiza las gráficas en función del tiempo y hora (Figura 37). Al igual que la variable temperatura esta opción está dividida en Humedad Alta, Media y Baja. Con estas gráficas se pueden realizar análisis sobre cuanta cantidad de vapor de agua existe en el aire, además, tiene una relación directa con la temperatura, ya que, a una temperatura elevada da como consecuencia un aumento de vapor de agua y esto produce la disminución de humedad.

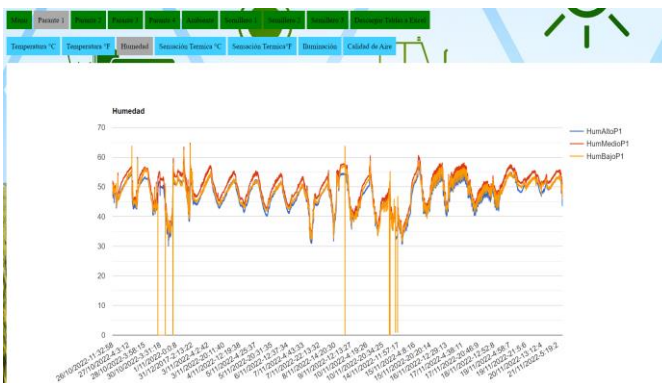


Figura 37. Gráfica de Humedad.

En Sensación Térmica °C y Sensación Térmica °F, se encuentra el mismo formato que las gráficas anteriores con una Sensación Alta, Media y Baja (Figura 38 y 39). Esta opción es de gran utilidad, puesto que, que determina que días son los que hace mayor cantidad de frio o calor en el sistema en estudio.

La iluminación se divide en tres gráficas, la primera está constituida por Clear (Figura 40) que permite la medición total sin filtrar, la segunda contiene Lux, R, G y B (Figura 41), esta ayuda a determinar la cantidad de luz que llega a los semilleros, así como, el color que esta predominando ese momento. Estas graficas son las de mejor apreciación, puesto que, se puede observar una variación en el transcurso del día, pero, al existir iluminación dentro del germinador siempre va a tener un patrón para que la simiente obtenga la luz óptima requerida.

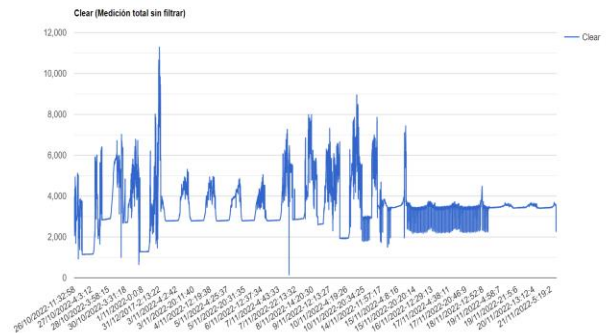


Figura 40. Grafica sobre el clear

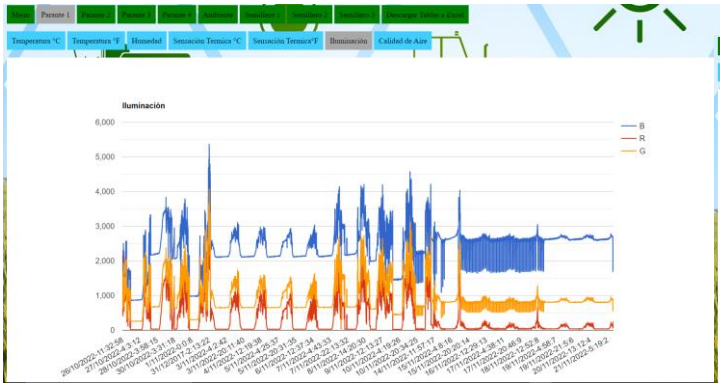


Figura 41. Gráfica de iluminación.

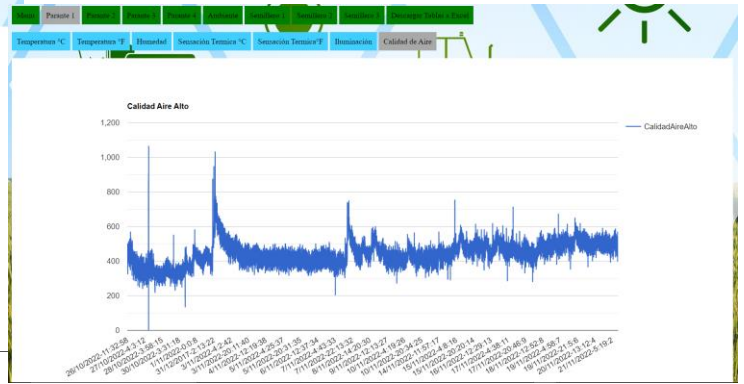


Figura 44. Calidad de Aire Alto

La siguiente grafica es la de color de temperatura (Figura 42) que se mide en grados Kelvin, esta grafica determina el color con la mayor cantidad de dominación en un área en específico, esta posee un rango como se observa en la Figura 43.

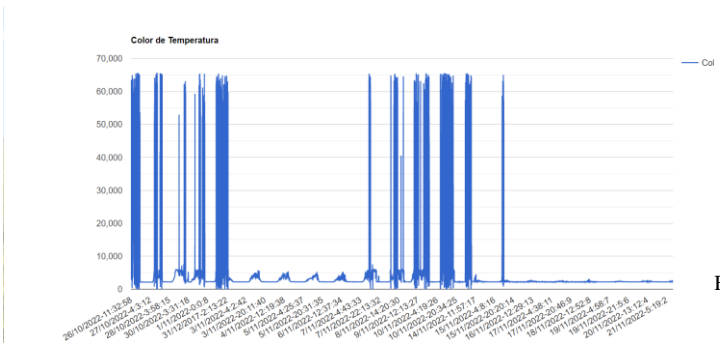


Figura 42. Color de temperatura

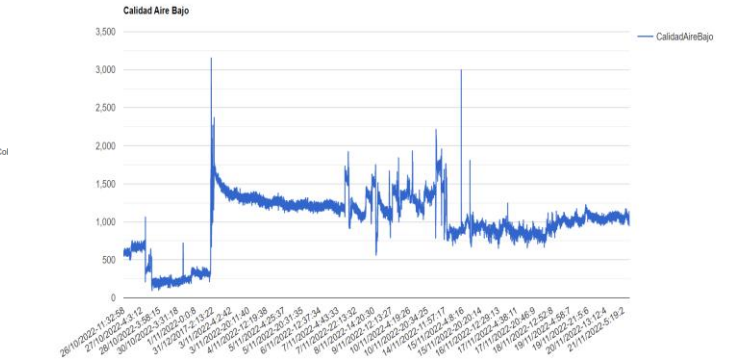


Figura 45. Calidad de Aire Bajo

El Parante 2, Parante 3 y Parante 4 siguen la misma lógica que el Parante 1, con la diferencia de que las gráficas van a variar. En las imágenes se observará como las gráficas se modifican en función de la ubicación de cada parante.

Las gráficas de temperatura en los postes siguientes, muestran una secuencia similar a la del Parante 1 (Figura 46 y 47), con pequeñas variaciones que no son significativas, dado que, todas alcanzan el punto máximo y mínimo por las mismas horas.



Figura 43. Rango del color de temperatura

Las gráficas de calidad de aire se miden en ppm y se clasifica en Calidad de Aire Alto y Calidad de Aire Bajo (Figura 44 y 45). Hay que recalcar que, los sensores utilizados para esta medición es el MQ135, pero, esta no es la mejor opción, ya que, no es un sensor que muestre una gráfica constante, es decir, con el paso del tiempo va cambiando de manera considerable. Sin embargo, los resultados son bastante aceptables.

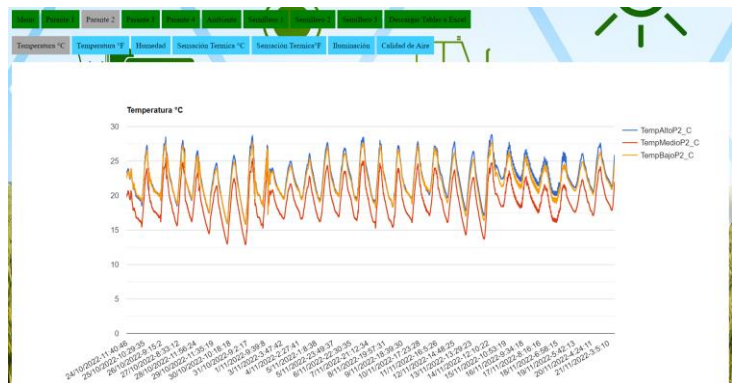


Figura 46. Gráfica de la Temperatura en °C del Parante 2

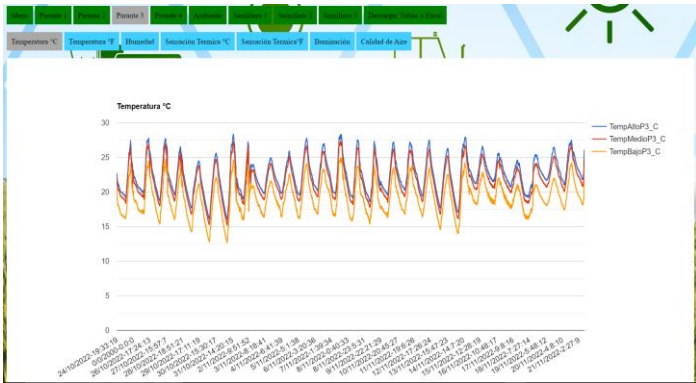


Figura 47. Gráfica de la Temperatura en °C del Parante 3

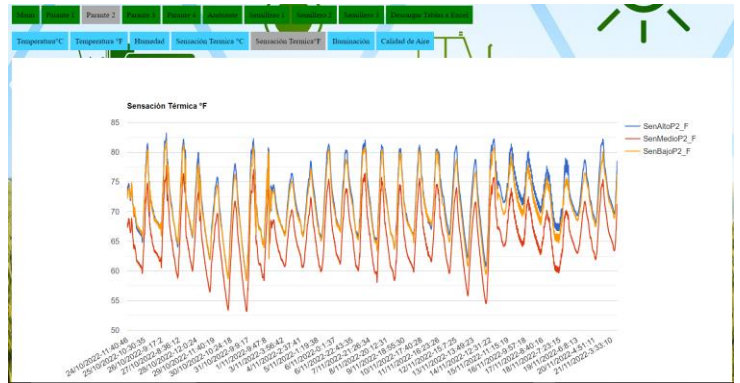


Figura 50. Sensación Térmica en °F del Parante 2

En la humedad se pueden apreciar picos más distorsionados (Figura 48 y 49) en función de cada poste, esto, se debe a que el Parante 1 y Parante 2 están ubicados al lado exterior mientras que el Parante 3 y Parante 4 están ubicados en el interior. Las gráficas presentan pequeños cambios con respecto a cada parante, no obstante, son cambios que no afectan en lo absoluto para la germinación.

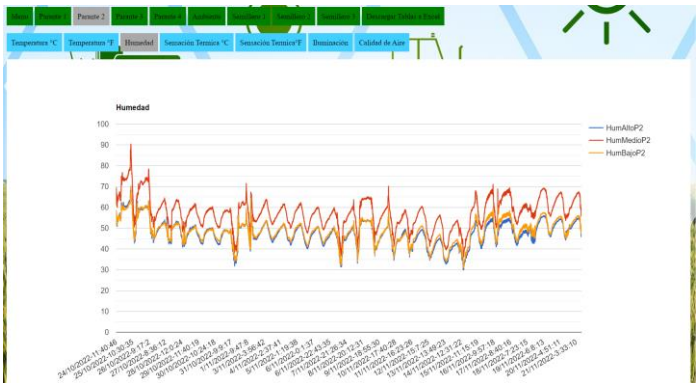


Figura 48. Gráfica de la Humedad en el Parante 2

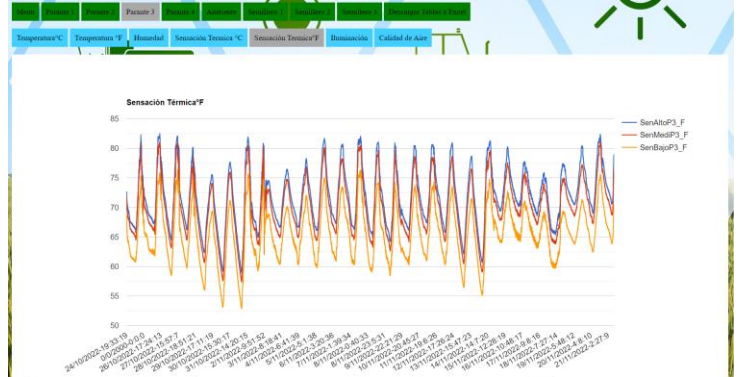


Figura 51. Sensación Térmica en °F del Parante 3

La iluminación como se explicó en el Parante 1, es una de las gráficas que mejor entendimiento genera a simple vista (Figura 52 y 53). Los sensores están ubicados en la parte baja del germinador; a todos les llega la misma cantidad de iluminación, por ello, es que las gráficas de los siguientes parantes son muy similares en todos los sentidos ya sea de Lux o clear.

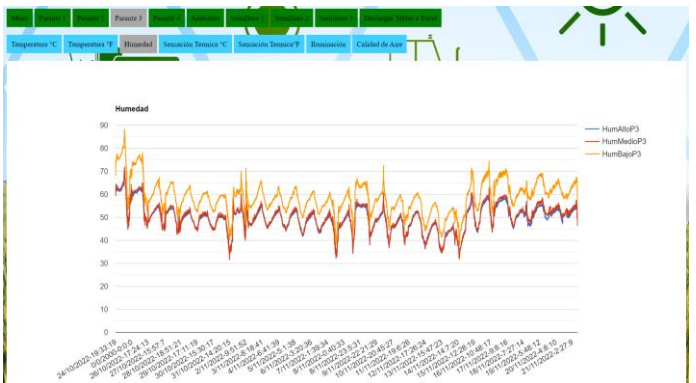


Figura 49. Gráfica de la Humedad en el Parante 3

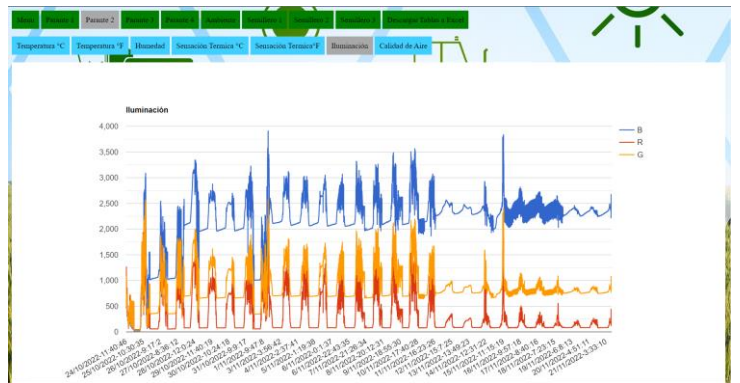


Figura 52. Gráfica de iluminación en el Parante 2

La sensación térmica muestra el mismo patrón de grafica que la variable humedad (Figura 50 y 51), por lo que sus bocetos son bastante similares, dando un resultado positivo, puesto que, se encuentran dentro del rango establecido.

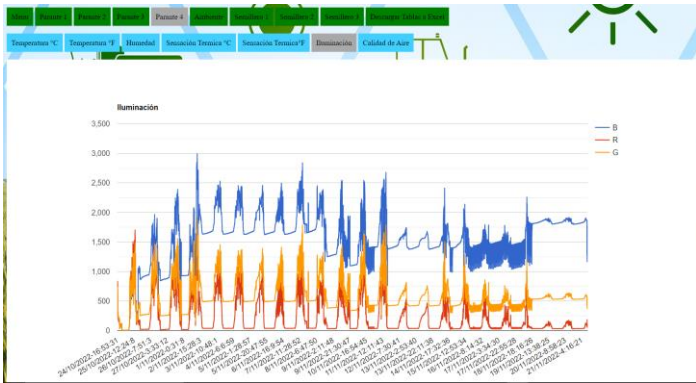


Figura 53. Gráfica de iluminación en el Parante 4

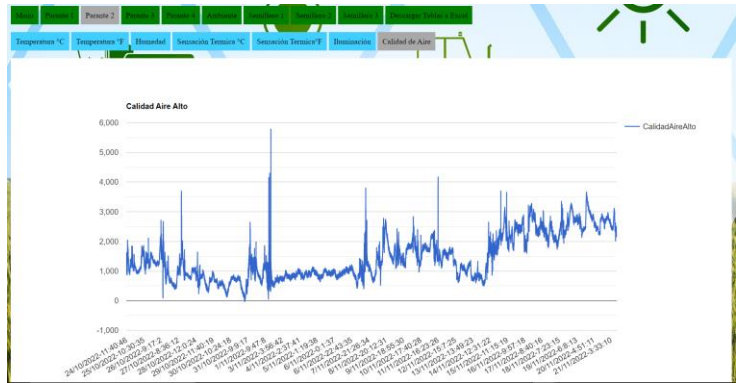


Figura 56. Calidad de Aire Alto del Parante 2

El color de temperatura (Figura 54 y 55) actúa de la misma manera que la graficas de Lux, R, G, B y Clear, por ello, los esquemas van a seguir el mismo patrón, haciendo referencia en los cambios que esta va produciendo con el paso de las horas.

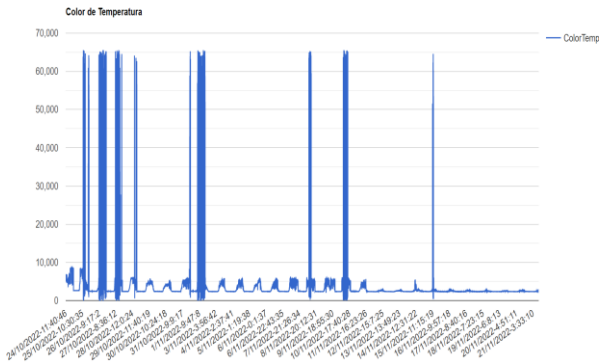


Figura 54. Color de temperatura en el Parante 2

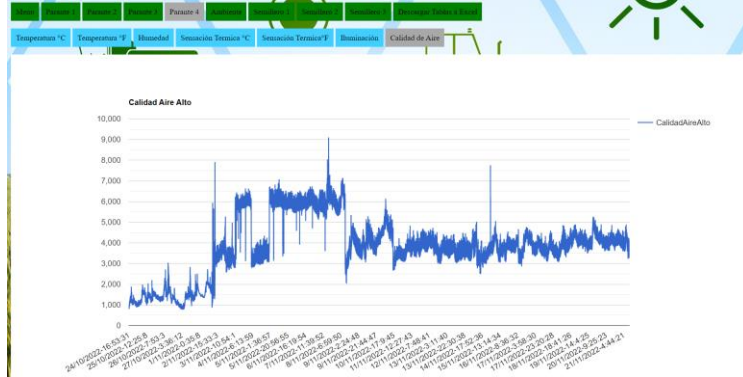


Figura 57. Calidad de Aire Alto del Parante 4

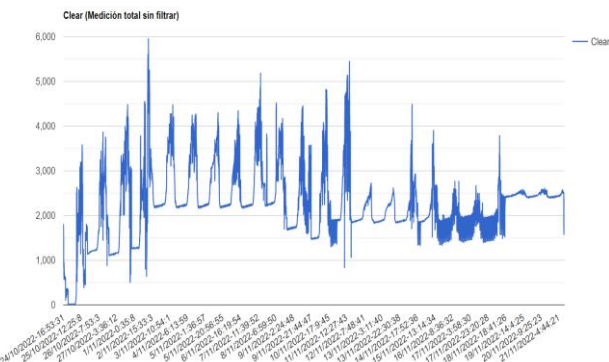


Figura 55. Clear en el Parante 4

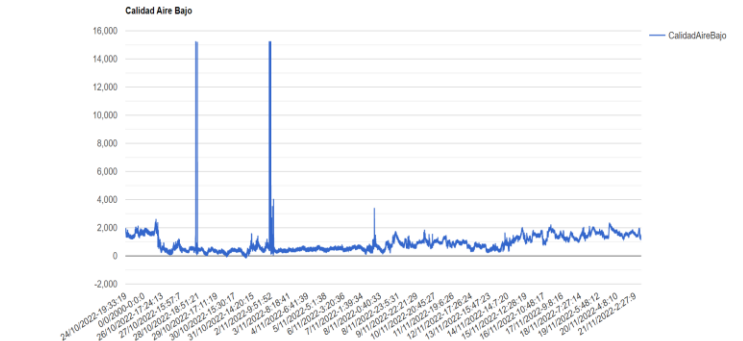


Figura 58. Calidad de Aire Bajo del Parante 3

Los gráficos de calidad de aire son los que menor similitud tienen relacionando los cuatro parantes (Figura 56, 57, 58 y 59), esto se debe al sensor, al no ser el mejor del mercado este es demasiado sensible, y reacciona ante cualquier sensación de viento, por lo que, se puede observar en las figuras como en ciertas horas este produce cambios bruscos.

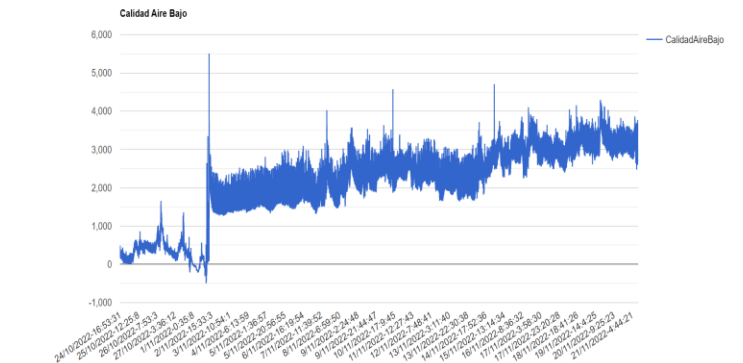


Figura 59. Calidad de Aire Bajo del Parante 4

Al visualizar los datos de las gráficas de los sensores que están ubicados en los parantes, se puede analizar que se sigue una lógica mayoritariamente constante con pequeñas variaciones esto se debe a, la ubicación de los postes en lugares diferentes.

Sin embargo, no produce cambios que afecte en lo absoluto a la simiente. Observando los bocetos de temperatura y sensación térmica, en los 4 parantes, la temperatura más alta se da de 12:00 a 15:00, y alcanza las temperaturas más bajas de 5:00 a 6:00. Las gráficas de humedad se manejan en sentido inverso en comparación a las de temperatura, debido a que, los picos más altos son alcanzados de 5:00 a 6:00 y los picos más bajos se encuentran desde las 12:00 a 15:00. La iluminación en el germinador sigue una secuencia lógica, las gráficas muestran mayor crecimiento al amanecer, es decir, desde las 6:00 en adelante, y comienza a decrecer al momento de oscurecer, como este es un germinador de laboratorio y se encuentra en el interior de una habitación las luces generalmente se apagan a las 22:00 horas, por lo que queda únicamente con los leds del germinador encendido, y, por último, la calidad de aire son las gráficas que mayor distorsión producen.

Se realiza una media de temperatura de los 12 sensores DTH22, dando como resultado las gráficas que se encuentran en Ambiente. Se puede visualizar el promedio total, alto, medio y bajo (Figura 60). A partir de esto, se realiza un análisis, el cual, es enviado a la base de datos y descargado en el microcontrolador encargado de activar los distintos actuadores.



Figura 60. Información del promedio de temperatura en ese instante.

La Figura 61, demuestra como esta el comportamiento del ambiente dentro del germinador, esta gráfica permite un análisis más preciso en el comportamiento de la temperatura que siempre tiene que estar en un rango de 20°C a 27°C. Se puede decir que este comportamiento actua como un control on/off. Ese rango es el requerido para la semilla utilizada, ya que, si se desea implementar otro tipo de semilla se tendria que realizar el análisis necesario para su germinación.

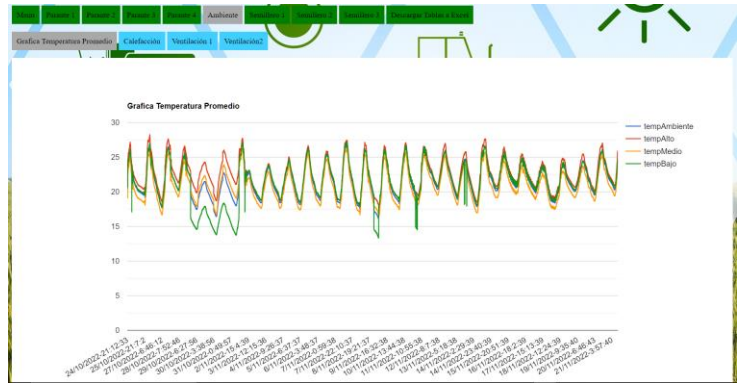


Figura 61. Promedio de temperatura de los sensores DTH22

Las gráficas tanto de calefacción, como de ventilador1 (Figura 62) y ventilador2 (Figura 63), dependen de la temperatura promedio, por lo que, entran en funcionamiento cuando no estén dentro de su rango correspondiente, es decir, en las gráficas se puede observar como los ventiladores se activan hasta llegar a su punto máximo, permitiendo con esto el enfriamiento del interior del germinador. El calefactor actúa igual que el ventilador, permitiendo que caliente el interior del germinador.

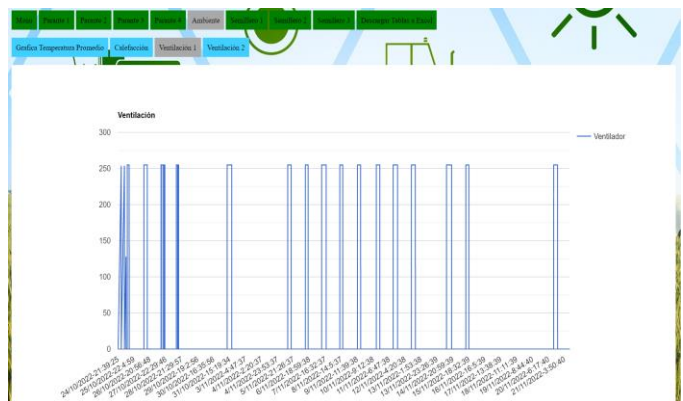


Figura 62. Ventilación 1



Figura 63. Ventilación 2

Los sensores para la humedad del suelo, entregan distintos tipos de gráficas, ya que, los tres semilleros donde se encuentran las simientes están constituidos por tierras de distinto tipo.

El semillero 1, relleno en su totalidad por un material orgánico, tiene de nombre tierra turba con una capacidad de

estancar agua, control de malezas y creando buen transporte de líquido en las raíces, ayudando a que el agua mantenga húmedo el suelo en donde se encuentre la semilla [2]. En las gráficas de los sensores de humedad (Figura 64) se verifica que la humedad de la tierra se mantiene por un periodo de tiempo considerable y las variaciones son casi nulas.

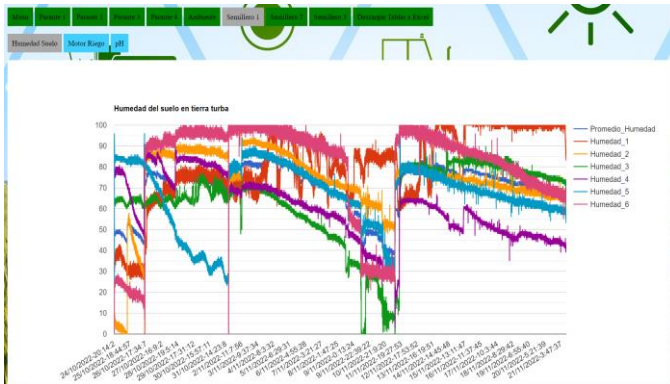


Figura 64. Comportamiento de los sensores de humedad en el semillero 1 con tierra turba.

En el semillero 2 que cuenta con una mezcla de suelos, en la parte inferior está constituida por tierra humus y en la superficie por tierra turba, como ya se explicó el suelo con turba permite un mejor control de malezas, así como un transporte óptimo del líquido, mientras que, el suelo humus contiene nutrientes orgánicos y su textura permite la retención de líquido por una cantidad de tiempo larga [2]. En la gráfica (Figura 65) donde se encuentran los 6 sensores distribuidos por cada bandeja, se puede observar que, al momento del riego esta tierra toma un tiempo para absorber todo el líquido, pero, al instante que logra ingresar el agua a su interior los sensores automáticamente aumentan su porcentaje de humedad, la retención del líquido es mucho más duradera que la del semillero 1 y esto se debe a la mezcla de las tierras, debido a que, el suelo inferior es la que retiene el líquido por una mayor cantidad de tiempo.

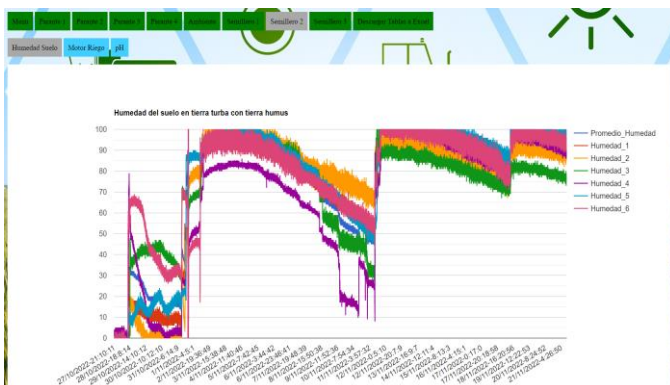


Figura 65. Comportamiento de los sensores de humedad en el semillero 2 con una mezcla de humus y turba.

En el semillero 3, las simientes se plantaron en tierra negra que muestra partes más grandes y pesadas, así como, en su interior se encuentra hojas y ramas secas, pero a pesar de estos inconvenientes este tipo de suelo es el que mayor cantidad de nutrientes posee en comparación con los otros dos tipos de tierra. Las gráficas (Figura 66) exponen cómo se comporta el

suelo con el transcurrir de las horas, llegando a la conclusión de que este tipo de suelo es el más rápido en absorción de líquido y su retención es mucho mayor que en las otras bandejas, esto se debe a que, esta tierra está constituida por partes más brutas y rollizas permitiendo con ello que el líquido no se desfogue al instante.



Figura 66. Comportamiento de los sensores de humedad en el semillero 3 con tierra negra.

Se encuentran tres motores de riego para cada semillero, estos se activarán al momento que el promedio de humedad del suelo sea inferior al 40%. Las gráficas de su comportamiento se dividen para los tres semilleros, al no ser el mismo tipo de suelo estos se activan en diferentes momentos, debido a que, depende de la necesidad que ese momento presente la semilla. En los bocetos (Figura 67) se visualiza como se produce la activación del riego en comparación con el promedio general de humedad de la tierra. El momento de analizar los tipos de suelos se explicó que tipo era el que almacenaba más líquido y que suelo iba a necesitar mayor cantidad de riego y en las gráficas se puede comprobar que esa teoría es cierta.



Figura 67. Activación de riego para el semillero con tierra turba.

Los resultados de la germinación de semilla se clasificaron por bandejas como se muestra a continuación:

La primera bandeja que está constituida por tierra turba, a los 9 días de sembrada la semilla se alcanzó 3 de 6 brotes logrando un porcentaje de factibilidad del 50% como se puede observar en la Figura 68.



Figura 68. Brotes de las semillas en la bandeja 1.

La segunda bandeja que cuenta con una mezcla de tierra turba y humus obtuvo 5 de 6 brotes, en los mismos 9 nueve días, consiguiendo un porcentaje de rendimiento del 83.333% como se puede observar en la Figura 69.

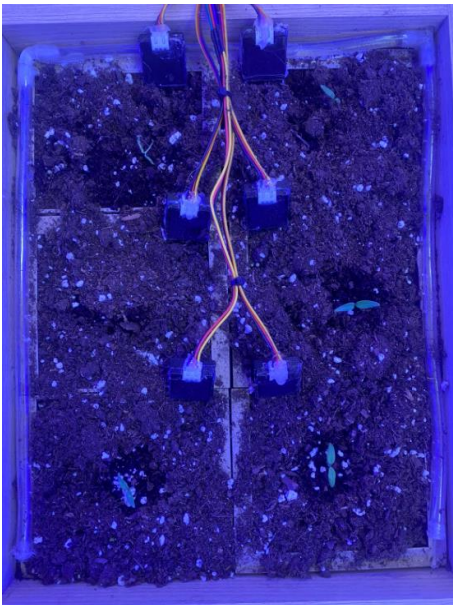


Figura 69. Brotes de las semillas en la bandeja 2.

En la bandeja tres, que está constituida por tierra negra se obtuvo 3 de 6 brotes en 7 días y a los 13 días ya se encontraban 6 de 6 brotes, con un porcentaje de rendimiento del 100%, como se observa en la Figura 70. Sin embargo, en esta bandeja los brotes son mucho más grandes que en las otras bandejas y esto se debe a que la retención de líquido es mucho mayor.



Figura 70. Brotes de las semillas en la bandeja 3.

Los datos para la obtención del pH, se realizaron en 18 posición distintas, que en conjunto con el robot cartesiano realiza los movimientos por cada división que se encuentra en la bandeja, al momento que el robot ingresa en su lugar destinado este recolecta datos durante 3 minutos (Figura 71) y realiza un promedio enviando a la base de datos los resultados.

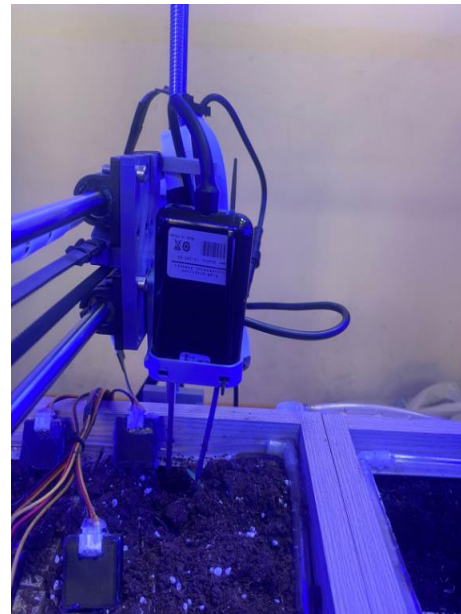


Figura 71. Recolección de datos del sensor de pH junto con el robot cartesiano.

Al estar distribuidas las bandejas con distintos tipos de tierras, el pH va a dar resultados diferentes. En la bandeja número 1, al estar constituida por una tierra turba el pH se encuentra en un rango de entre 6.6 a 8, teniendo como resultado un suelo Neutro o Básico Medio. En la Figura 72 se puede observar cómo estas líneas van conformando distintas variaciones con el paso del tiempo, van a ir variando conforme el suelo presente menor cantidad de humedad, es por ello la

Otro trabajo futuro, sería el de implementar un segundo piso al germinador, dado que, este ayudaría a aumentar la cantidad de semillas y se aprovecharía al máximo el uso del robot cartesiano, teniendo en cuenta que se debería realizar un análisis para la resistencia del material donde se van a ubicar las bandejas.

Posteriormente, se plantea el análisis a profundidad sobre la cantidad de agua que es utilizada desde el momento de la siembra hasta la germinación de la semilla, esto ayudaría al ahorro de líquido y determinar cuanta cantidad de agua es la necesaria durante todo el proceso. En este mismo punto se podría utilizar un sensor de pH de líquido en el desfogue del agua, para analizar cómo está el comportamiento de la tierra que contiene la semilla.

Adicional, se propone el uso de una pinza mecánica en el robot cartesiano la cual entre en funcionamiento, y por medio de la inteligencia artificial se determine que la semilla es óptima para ser trasladada a un terreno con mayores dimensiones.

VIII. REFERENCIAS

- [1] L. K. Carpio Santos, «El uso de la tecnología en la agricultura,» Pro-Sciences, 2018.
- [2] I. A. Cordero Mera, «Implementación de un ambiente controlado para germinación de semillas de tomate riñon utilizando visión por computadora y técnicas de inteligencia artificial.» UDA, Cuenca, 2021.
- [3] S. I. Ossa Duque , «Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos,» VectoR, Caldas, 2017.
- [4] W. López Báez, L. H. Urbina Hernández, R. Reynoso Santos y J. Martínez Sánchez , «Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (Coffea arabica L.) en la reserva de la biósfera el triunfo,» Instituto Nancional de Investigaciones Forestales, Chiapas, 2018.
- [5] E. M. Dominguez y J. C. Pino López, «Sistema de bajo coste para la monitorización del consumo eléctrico en instalaciones eléctricas monofásicas.,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019.
- [6] I. F. Velastegui Jaramillo y D. Fernández de Córdoba, «Diseño e Implementación de la Arquitectura del Internet Industrial de las Cosas para la Recolección de Datos en un Proceso de Manufactura,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2020.
- [7] R. Casado Vara, «Introducción HTML,» Salamanca, 2019.
- [8] G. P. Castaño Esquivel, «Monitoreo de la temperatura superficial de la lechuga en un cultivo urbano empleando el sensor AMG8833,» Los Libertadores Fundación Universitaria , Bogotá, 2018.
- [9] X. Sierra Canto y M. J. Espinosa Trujillo, «Sistema de adquisición de datos en colmenas basado en raspberry,» ResearchGate, 2020.
- [10] A. Shehu Muhammed y D. Ucuz, «Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives,» 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), 2020.
- [11] F. J. Lara Cardeñas, «Utilizacion de Google Cloud para el almacenamiento y procesado de datos monitorizados romotamente,» Universidad de Jaén, 2020.
- [12] V. Pineda Casas, H. A. Méndez Guzmán , J. J. Martínez Nolasco, J. A. Padilla Medina y M. G. Bravo Sánchez , «Diseño de sensor IoT para variables climáticas en cultivo aeropónico aplicado a lechuga,» Tecnológico Nacional de México , Celaya, 2021.
- [13] M. Á. Arias, «Aprende Programación Web con PHP y MySQL,» IT campus Academy, 2017.
- [14] G. Galio Molina , D. L. Albuja Quiñonez y G. G. Castillo Jaramillo, «Sistemas de gestión de control de bienes y servicios basadas en PHP y MySQL,» Espol, 2017.
- [15] Á. Gonzáles Santillán , V. M. Evaristo Salinas, C. Torres y V. M. Pérez Reyes, «Verificación de caducidad de participantes a un congreso en php y MySQL.»
- [16] P. Apaza Paricahua, «“Desarrollo de un sistema basado en la Ingeniería Web para la Gestión Académica del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Juliaca - 2017”»,» UANCV-Institucional, Juliaca, 2017.
- [17] G. A. Silva Megeto, A. Graciano da Silva, R. F. Bulgarelli, C. F. Bublitz, A. C. Valente y D. A. Guerra da Costa, «Artificial intelligence applications in the agriculture 4.0,» Revista Ciência Agronómica , Ceará, 2020.
- [18] A. Oliveira da Silva, B. A. da Silva, C. F. Souza, B. M. de Azevado, L. H. Bassoi, D. V. Vasconcelos, G. V. do Bonfim, J. M. Juarez, . A. F. dos Santo y M. F. Carneiro, «Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision,» Artigo Científico, Fortaleza, 2020.
- [19] J. A. Laverde Mena y C. . G. Laverde Mena, «Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego,» Toluca, 2021.
- [20] G. Correa Lima, F. Lira Figueiredo, A. . E. Barbieri y J. Seki, «Enabling agriculture digital transformation through IoT,» Revista Ciencia Agronomica , 2021.
- [21] E. A. Quiroga Montoya, S. F. Jaramillo Colorado, W. . Y. Campo Muñoz y G. E. Chanchí Golondrino, «Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT,» Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Inromacao, 2017.
- [22] C. Gonzalez-Amarillo, J. C. Corrales-Muñoz, M. Mendoza-Moreno, A. Amarillo, G. Maria, A. F. Hussein, N. Arunkumar y G. Ramírez-Gonzáles, «An IoT-Based Traceability System for Greenhouse Seedling Crops,» IEEE Access, 2018.
- [23] Arvind, Athira, Haripriya, Akshaya Rani y Aravind, «Automated irrigation with advanced seed germination and pest control,» IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT, 2017.

- [24] J. P. Lemos Escola, R. C. Guido, I. Nunes da Silva y L. . E. Soares, «Análise de Área de Cobertura de Dispositivo IoT para Monitoramento em Smart Farm,» risti, 2021.
- [25] J. Doria, «A general information on seeds: Its production, preservation and storage,» Cultivos Tropicales, 2010.
- [26] R. Bidwell, Fisiología vegetal, Mexico : AGT México, 1983.
- [27] J. M. Pita Villamil y F. Perez Garcia, Germinacion de Semillas, Madrid: Biología Vegetal, E.U. Ingeniería Técnica Agrícola, UPM 28040 Madrid.
- [28] E. Lorenzo, E. Camejo, L. Duarte, J. Companioni y P. Paneque, «Irrigation and fertirrigation technology in controlled environment,» Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, San José, 2010.
- [29] J. E. Mendoza-Paredes, A. . M. Castillo-González, E. Avitia-García, L. . A. Valdéz y M. d. R. García-Mateos, «Efecto de diferentes proporciones de luz LED azul:roja en plantas de chile habanero (Capsicum chinense Jacq.),» Bio tecnica , 2021.
- [30] J. Gonzalez, V. Villareal , L. Muñoz y M. Nielsen , «Cultivation Chamber for Remote Management of Environmental Parameters of Horticultural Seedbeds,» Iberian Conference , 2021.
- [31] F. Ulloa-Vásquez, D. Carrizo y L. García-Santander, «Alternativas de comunicación para redes de sensores AMI en Internet de las cosas para escenario energético en ciudades inteligentes,» Revista chilena de ingeniería, 2020.
- [32] Báez Pérez, Ochoa Echeverria y Vargas Ermúdez, «Redes inalámbricas de sensores en ambiente GRID,» Universidad de Boyacá, 2018.
- [33] UIT, «La coordinación mundial es la clave del éxito de la IoT».
- [34] P. González Llana, Seguridad y responsabilidad en la internet de las cosas IoT, España: Wolters Kluwer , 2018.
- [35] W. López Garzón y J. Cárdenas López, «Tecnología internet of things (IoT) y el big data,» Fundación Universitaria San Mateo., 2019.
- [36] D. J. Bliznakoff del Valle, «Tecnologías, usos, tendencias y desarrollo futuro,» 2014.
- [37] G. C. Oficial, «Ajuste de escala automático global de un servicio web en Compute Engine,» [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/tutorials/globally-autoscaling-a-web-service-on-compute-engine?hl=es-41>. [Último acceso: 05 10 2022].
- [38] C. Peña, Domina la programación y controla la placa, RedUsers, 2020.
- [39] A. D. Santos Galán, «“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS IDE’S DE DESARROLLO XAMARIN VISUAL STUDIO VS ANDROID STUDIO APLICADO AL SISTEMA DE NOTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE LA UNACH, 2017”», UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2018.
- [40] A. Martínez y F. Gudiño, «Diseño e implementación de reconocimiento facial en un sistema domótico utilizando Arduino y Visual Studio,» Universidad Nacional Autónoma de México, 2018.
- [41] F. . K. BRIONES CHAUCA , «Desarrollo de una página web para automatizar el sistema de ventas y soporte técnico mediante chat en tiempo real para la empresa FACETI S.A. de la ciudad de Guayaquil,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [42] R. del Pozo Barajas y M. M. Maestre, «Creación de una web para una empresa pequeña y su posterior analítica,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019.
- [43] A. Méndez , «Instalación y Uso de PuTTY,» 2015.
- [44] S. d. J. Gil Ramos, G. Xicoténcatl Ramírez, M. Muñoz Mandujano y S. R. González Serrano, «Implementación de un modelo de datos para el almacenamiento de información climatológica en el estado de Querétaro,» Revista NTHE, 2018.
- [45] A. Garrido, Y. Borja López y G. Gutiérrez Constante , «Rendimiento MariaDB y PostgreSQL,» Revista Científica y Tecnológica UPSE, 2021.
- [46] E. Rivera, M. Sánchez y H. Domínguez, «pH como factor de crecimiento en plantas,» Universidad Tecnológica de Panamá, Colón, 2018.
- [47] N. W. Osorio, «pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES,» Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín-Laboratorio de suelos, Medellín, 2012.
- [48] R. Modbus, «3001-PH-RS,» Released, 2020.
- [49] S. E. Román Dueñas, «Diseño de subsistemas de alimentación y control de un sistema de iluminación exterior basado en tecnología de leds de potencia del logo PUCP en el edificio McGregor,» Creative Commons, Perú.
- [50] F. F. Saravia Juárez, *Diseño de un sistema de comunicación industrial multicapa modbus TCP-RS485 wireless que permita enlazar estaciones remotas*, Piura: Universidad Nacional de Piura, 2020.
- [51] S. González-Serrud, A. Bernal, A. Chung y N. Marín, «Fabricación de láminas construidas a base de fibras naturales que absorben humedad relativa del entorno,» RIC, 2022.
- [52] M. Marinelli y R. Urquijo, «Sistemas de control de una cámara de germinación hidropónica con IoT,» XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, 2017.
- [53] H. R. Reyes Ordóñez y J. I. Ortiz Torres, «Evaluación de la degradación de materia orgánica mediante técnicas de visión artificial y sensores,» Universidad Católica de Cuenca , Cuenca, 2019.
- [54] C. Á. García, «Dissert i construcció d’un instrument portàtil detector dels components RGB de llum incident i enregistrament al núvol dels components detectats,» Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2018.
- [55] J. M. Dominguéz Niño, «Characterization of capacitance soil moisture sensors for the automated scheduling of drip irrigation in orchards,» Universidad de Lleida, 2020.

- [56] J. A. Loza Alvarado y C. A. Rosero Loor, «Diseño de un sistema de iluminación led para la germinación de semillas de la costa,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil+, 2021.
- [57] «Programa de diversificación hortícola proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola,» Chemonics, Nicaragua, 2008.
- [58] J. Martinez, «Google Charts for Institutional Research Websites,» University of Houston, Houston, 2018.
- [59] E. Reyes Rosas, «Sistema de mantenimiento a edificaciones de trabajo y equipo de computó,» Universidad Tecnológica del centro de Veracruz, Veracruz, 2016.
- [60] T. KERIBAYEVA, Z. AINAKULOV, R. YERGALIYEV, A. ANAYATOVA, I. FEDOROV y G. KURMANKULOVA, «Experience of connecting sensors to the controller based on the arduino board for use on multicopters,» ISSN, 2022.
- [61] I. Nurul Afiqah y J. Nur Anida , «Leg flexibility classification using AutoML tables,» Penerbit UTHM, Malasia, 2020.
- [62] T. Arun, B. Varun, P. Moshe, K. Vasanth, P. Marish Kumar y S. K S, «Garbage collection robot and monitoring system using wireless communication,» European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 2020.