

Sistema Basado en OpenWrt para el Monitoreo y Control de un Huerto en el Hogar

Gamboa Izquierdo Hammer Alfredo, ✉ hammergi@hotmail.com

Garzon Buitrago Brenda Lizeth, ✉ brenda_garzon17@hotmail.com

Garcia Delgado David Fernando, ✉ david_fernando_0524@yahoo.com

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Asesor: Erika Sarria Navarro, Magister en Ingeniería (M.Sc.) - Énfasis en Ingeniería Electrónica



Institución Universitaria Antonio José Camacho

Facultad de Ingenierías

Ingeniería Electrónica

Cali - Colombia

2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la
Institución Universitaria Antonio José Camacho para optar al título de Ingeniería Electrónica

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, 10 de febrero de 2020

Tabla de Contenido

Glosario	13
Resumen	16
Abstract.....	17
1 Planteamiento del Problema.	18
2 Justificación	20
3 Objetivos.....	22
3.1 Objetivo General.....	22
3.2 Objetivos Específicos	22
4 Marco de Referencia.....	23
4.1 Antecedentes.....	23
4.2 Marco Legal.....	27
4.2.1 Artículo 75 de la Constitución Política de Colombia.....	27
4.2.2 Resolución número 2544 de 2009 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.....	27
4.3 Marco Teórico y Conceptual	28
4.3.1 Cultivos de Lechuga.....	28
4.3.1.1 Características de los Suelos.....	28
4.3.1.2 Clima Recomendado.....	29

4.3.1.3	Humedad relativa.....	29
4.3.1.4	Luminosidad.....	29
4.3.1.5	Ciclo Vital del Cultivo.....	30
4.3.1.6	Sistemas Usados en los Cultivos de Lechuga.....	31
4.3.1.7	Sistema de producción de sustrato.....	31
4.3.1.8	Sistemas de cultivo en macetas.....	31
4.3.2	Definición y Medición de Variables.....	31
4.3.2.1	Humedad:.....	32
4.3.2.1.1	Humedad relativa.....	32
4.3.2.1.2	Humedad del suelo.....	34
4.3.2.2	Temperatura.....	35
4.3.3	Sistemas Embebidos.....	36
4.3.4	OpenWrt.....	37
4.3.5	Medios de transmisión inalámbrica.....	38
4.3.5.1	Bluetooth.....	39
4.3.5.2	Zigbee.....	40
4.3.5.3	Wi-fi.....	40
4.3.6	Bases de Datos.....	41
4.3.6.1	MySQL.....	41

4.3.6.2	PostgreSQL:.....	41
4.3.7	Desarrollo web.....	42
4.3.7.1	PHP	42
5	Selección de Tecnologías para el Proyecto.....	43
5.1	Selección del enrutador	43
5.2	Selección del sensor de humedad relativa y temperatura.	45
5.2.1	Selección de sensor de humedad de suelo	49
5.3	Selección del sistema embebido.....	51
6	Desarrollo del Proyecto.....	53
6.1	Sensor de Humedad y Temperatura Relativa BME280.....	53
6.1.1	Modo de funcionamiento normal.	55
6.1.2	Filtro IIR.....	57
6.1.3	Medición de humedad.	57
6.1.4	Medición de temperatura.....	58
6.2	Multiplexor TCA9548A.	58
6.2.1	Conexionado de los sensores BME280	59
6.3	Control de temperatura	60
6.3.1	Diagrama de conexión del ventilador.....	60
6.4	Sensor de Humedad de Suelo SEN0193.....	61

6.5	Multiplexor CD4052BE	62
6.5.1	Diagrama de conexión del sensor SEN0193	63
6.6	Bomba sumergible.....	63
6.6.1	Diagrama de conexión de la bomba sumergible con el NODEMCU.....	64
6.7	Iluminación del Huerto.....	65
6.7.1	Diagrama del conexionado de la bomba sumergible.....	66
6.8	Construcción de la cama para el sembrado	67
6.9	NODEMCU.....	68
6.9.1	Diagrama de conexiones de NODEMCU.....	70
6.9.2	Diagrama de bloques de la programación del NODEMCU	71
6.9.2.1	Inicialización de variables y librerías	72
6.9.2.2	Configuración de la conexión WiFi.....	72
6.9.2.3	Inicialización del servidor.....	73
6.9.2.4	Lectura e inicialización de puertos del multiplexor digital.....	73
6.9.2.5	Obtención de hora del servidor.....	73
6.9.2.6	Getdata.....	73
6.9.2.6.1	Aplicación de la ecuación de la recta al sensor SEN0193	75
6.9.2.7	Sistema de sensores	77
6.9.2.8	Sistema de riego.....	78

6.9.2.9	Sistema de iluminación.....	80
6.9.2.10	Sistema de ventilación.....	81
6.10	Enrutador.....	82
6.10.1	Expansión de memoria.....	82
6.10.2	Instalación de PHP.....	83
6.10.3	Postgresql.....	84
6.10.3.1	Instalación e inicialización de La base de Datos.....	85
6.10.4	Descripción de la tabla.....	86
6.10.5	Diagrama de la programación del PHP.....	87
6.10.5.1	Toma y envío de datos a la tabla general.....	87
6.10.5.2	Inicio de la página web.....	89
6.10.5.3	Código para seleccionar la fecha.....	89
6.10.5.4	Interacción con el usuario.....	91
6.10.5.5	Gráficos de variables.....	92
7	Pruebas y Resultados.....	95
7.1	Pruebas del sensor BME280 - Temperatura.....	96
7.2	Pruebas del sensor SEN0193 – Humedad de suelo.....	97
7.3	Conectividad del microcontrolador.....	100
7.4	Prueba del servidor web.....	101

7.5	Prueba del sistema de iluminación	104
7.6	Prueba del sistema de riego	105
7.7	Prueba del sistema de ventilación.....	106
8	Conclusiones.....	108
9	Recomendaciones y Trabajos Futuros.....	110
10	Referencias Bibliográficas.....	111
11	Anexos.....	118
11.1	Anexo 1: Script make_extroot.bat	118
11.2	Anexo 2: Archivo /etc/config/ fstab.....	118
11.3	Anexo 3: Fichero etc/php.ini.....	119
11.4	Anexo 4: Fichero /etc/config/uhttpd	120
11.5	Anexo 5: Archivo /etc/config/postgresql.....	121

Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades físicas de varios sustratos utilizados en la horticultura.....	32
Tabla 2 Características de Wi-fi	40
Tabla 3 Especificaciones de enrutadores preseleccionados	44
Tabla 4 Características de GL-AR150	45
Tabla 5 Comparación de los sensores Hs1101, BME280 y MLX90614	46
Tabla 6 Sensores de humedad relativa y temperatura	47
Tabla 7 Características de los sensores de humedad del suelo.....	50
Tabla 8 Tabla de los sistemas embebidos.....	51
Tabla 9 Tabla de verdad	62
Tabla 10 pines utilizados en el proyecto	69
Tabla 11 Comandos de instalación del paquete block-mount	83
Tabla 12 Comandos de ejecución del script make_extroot.bat	83
Tabla 13 Comandos de instalación de los paquetes de php.....	84
Tabla 14 Comando de reseteo del servidor http	84
Tabla 15 comandos de instalación de los paquetes postgresql-server y shadow-su	85
Tabla 16 Inicialización de la base de datos postgresQL	85
Tabla 17 Cita paráfrasis o no textual, dentro de paréntesis	97
Tabla 18 Cita paráfrasis o no textual, dentro de paréntesis	98

Lista de Figuras

Figura 1. Desarrollo del cultivo.....	30
Figura 2. Conexión a un enrutador OpenWrt a través de SSH.....	39
Figura 3. Diagrama de Bloques para el Desarrollo del Proyecto	53
Figura 4. Sensor BME280	54
Figura 5. Diagrama de Bloques del Sensor BME280.....	54
Figura 6. Diagrama de muestreo del modo normal	55
Figura 7. Diagrama de flujo del sensor.	56
Figura 8. Multiplexor TCA9548A.....	59
Figura 9. Conexión de los Sensores BME280.....	59
Figura 10. Ventilador de abanico	60
Figura 11. Conexión ventilador a NODEMCU	60
Figura 12. Sensor SEN0193	61
Figura 13. Multiplexor CD4052BE.....	62
Figura 14. Conexión de los Sensores SEN0193.....	63
Figura 15. Bomba sumergible	64
Figura 16. Conexión de bomba sumergible al módulo relé y NODEMCU	64
Figura 17. Tubo de led t5	66
Figura 18. Conexión de lámpara al NODEMCU	66
Figura 19. Parámetros de construcción del huerto	67
Figura 20. Lecho de siembra	68

Figura 21. NODEMCU	68
Figura 22. pines NODEMCU	69
Figura 23. Conexiones de NODEMCU.....	70
Figura 24. diagrama de bloque programación de microcontrolador	71
Figura 25. Diagrama de bloques de lectura de sensores.....	74
Figura 26. Límite de contacto de la sonda con el suelo.....	76
Figura 27. el diagrama de flujo del sistema de sensores	78
Figura 28. Diagrama de flujo del sistema de riego.....	79
Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de iluminación.....	80
Figura 30. Diagrama del sistema de ventilación	81
Figura 31. Partición de la memoria	82
Figura 32. Base de datos huerto	87
Figura 33. Diagrama de programación en PHP.....	88
Figura 34. Diagrama de la página web de inicio	89
Figura 35. diagrama del código para seleccionar fecha	90
Figura 36. Diagrama de flujo de interacción con el usuario.....	92
Figura 37. diagrama de flujo del grafico de las variables.....	93
Figura 38. Estructura de la grafica	94
Figura 39. Cama de sembrado	95
Figura 40. Multímetro digital DT-838H.....	96
Figura 41. Temperatura registrada por el sensor BME280 y la termocupla	97
Figura 42. Tester medir PH y humedad de suelo y luz	98

Figura 43. Humedad de suelo registrada por el sensor 1 y el sensor 2 y el tester medidor de PH humedad de suelo y luz	99
Figura 44. Ubicación de los sensores en el huerto	99
Figura 45. Variables censadas.....	100
Figura 46. Conectividad del sensor a la red y al servidor web correctos	101
Figura 47. Interfaz gráfica de la página web	102
Figura 48. Grafica de los valores de temperatura.....	102
Figura 49. Grafica de los valores de humedad de suelo	103
Figura 50. Grafica de los valores de humedad relativa	103
Figura 51. Grafica de los valores de las variables de humedad Relativa humedad del suelo y temperatura con la fecha y hora de envío.....	104
Figura 52. Sistema de iluminación	105
Figura 53. Sistema de riego	106
Figura 54. temperatura sin el sistema de ventilación	107
Figura 55. Comparación de la temperatura al activar el sistema de ventilación	107

Glosario

Acuaponía: “es un sistema sustentable de producción de comida que combina la acuicultura (cría de animales y plantas acuáticas) y la hidroponía (el cultivo de plantas en el agua) en un medio ambiente simbiótico” (Santinus, 2013).

Bus I²C: el bus I²C basa la comunicación en la transmisión de señales por dos hilos denominados SCL y SDA. SCL es la línea por donde se transmite la señal de reloj del sistema. Se utiliza para sincronizar la transferencia de datos a través del bus. SDA es la línea por la que se transmite la señal de datos” (NXP Semiconductors, 2014).

Bus SPI: “(del inglés Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos incluye una línea de reloj, dato entrante, dato saliente y un pin de chip selección, que conecta o desconecta la operación del dispositivo con el que uno desea comunicarse” (Aprendiendo Arduino, 2016).

Código Abierto: “este se basa en 4 derechos fundamentales de software libre, los cuales son: el derecho de usar software con cualquier propósito, La libertad de redistribuir el software con cuota o de manera gratuita, • tener acceso al código fuente completo del programa, El derecho a modificar cualquier parte del código o de tomar partes de éste en otros programas.

La idea básica de código abierto es permitir al usuario permita la evolución del software de manera en que los programadores mejoren, adapten y rectifiquen” (Guzmán Soriano & Zans, 2012)

Dirección IP: Una dirección IP consiste en 32 bits que se expresan de manera digital agrupados de 3 dígitos separados por un punto como por ejemplo: 167.216.245.249 cada número

tendrá valores entre 0 y 255 cada grupo separados por los puntos en una dirección IP se compone de 8 dígitos binarios (00000000 a 11111111); se les da un valor decimal para una mejor comprensión pero se tiene en cuenta que la red solo comprende valores binarios. (Arias Alvarez, 2010)

Material higroscópico: Son aquellos materiales que tiene afinidad en presencia de humedad. (Glaria & Kouro, 2001)

Enrutador: estos son dispositivos de red, suelen estar interconectados permitiendo el tráfico de datos entre redes físicamente separadas, informando sobre las rutas que se encuentran bloqueadas o saturación en envío de datos. (Rodriguez Marin & Velandia Valero, 2005)

Firmware: Es software (programas o datos) que se han escrito en la memoria ROM. El firmware es una combinación de hardware y software. (Felici Castell, 2019)

Histéresis: “diferencia entre valores de salida correspondientes a la misma entrada, según la trayectoria seguida por el sensor” (automatica, 2004).

HTML: “es un lenguaje que permite leer hipertexto, lo cual quiere decir textos estructurados y con enlaces que permiten conducir a otros documentos o fuentes que relacionan la información, con inserciones multimedia (gráficos y sonidos) (Echevarría, 2002)

Huerta: “Terreno de corta extensión, generalmente cercado, en que se cultivan verduras, legumbres y árboles frutales.” (Real Academia Española, s.f.)

Invernadero: es toda aquella estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas y fuera de temporada. (Ing. Agr. MSc. Miserendino & Ing. Agr. Astorquizaga., 2014)

JavaScript: es un lenguaje usado para múltiples propósitos, fue el desarrollo de nuevos motores de interpretación, pero solo usado actualmente como un complemento, creado para acelerar procesos de códigos (Gauchat , 2012)

Licencia GPL está pensada para asegurar la libertad del código en todo momento, ya que un programa publicado y licenciado bajo sus condiciones nunca podrá ser hecho privativo. Es más, ni ese programa ni modificaciones al mismo pueden ser publicadas con una licencia diferente a la propia GPL. (Gonzalez Barahona, Pascual., & Robles., 2004)

MySQL: Es un sistema de gestión de bases de datos relacional, fue creada por la empresa sueca MySQL AB, la cual tiene el copyright del código fuente del servidor SQL es un software de código abierto, licenciado bajo la GPL de la GNU (Maldonado, Enríquez , Ortega Yunko , & Toledo Goretty)

Servidor web: es un programa de aplicación que satisface solicitudes de HTTP, ofrece soportes a script y aplicaciones en los lenguajes más usados en aplicaciones de internet. (Medina, 2004-2005)

Sobre muestreo: Muestreo de una señal a una frecuencia muy superior al doble de la frecuencia máxima de dicha señal (Real Academia de Ingeniería, s.f.)

SSH: “Secure SHell es un protocolo que permite a los usuarios conectarse a un host remoto mediante la implementación de conexiones seguras entre dos máquinas utilizando una arquitectura cliente/servidor. Usando SSH, el cliente inicia una conexión TCP sobre el puerto 22 con el servidor mediante una sesión cifrada, impidiendo así que alguien pueda obtener la contraseña o cualquier otra información que se intercambia por la red” (Kanjaa, 2018)

Resumen

La realización de huertos caseros es motivada por el deseo de acceder a alimentos libres de químicos, control del proceso y tratamientos de la siembra. Debido a que esta actividad es realizada en espacios no muy amplios es necesario optimizar algunas actividades para obtener un mayor provecho.

El presente documento detalla los pasos que se realizaron para el diseño, construcción, programación y recopilación de datos de un huerto en el hogar que trabaja principalmente con OpenWrt, un sistema operativo libre instalado en un enrutador compatible que permitió la creación del servidor web para el monitoreo de las variables. Este servidor se conecta a un sistema embebido encargado de adquirir los datos de los sensores y enviarlos a la base de datos, además de establecer parámetros de control automático de riego, temperatura e iluminación que ayudan al desarrollo del cultivo cuando se estableció que el huerto lo requería.

Palabras clave: OpenWrt, Telemetría, Servidor, Huerto en el Hogar

Abstract

The realization of home gardens is motivated by the desire to access chemical-free food, process control and planting treatments. Because this activity is carried out in spaces that are not very wide, some activities are necessary to obtain a greater benefit.

This document details the steps that are configured for the design, construction, programming and data collection of a home garden that works primarily with OpenWrt, a free operating system installed on a compatible router that refers to the creation of the web server for the monitoring of the variables. This server is connected to an embedded system responsible for acquiring the sensor data and sending it to the database, in addition to establishing automatic control parameters for irrigation, temperature and lighting that help the development of the crop when the garden is controlled as required

Keywords: OpenWrt, Telemetry, Server, Home Garden.

1 Planteamiento del Problema.

Con el constante avance de la tecnología y la modernización en la forma de monitorear variables, cada día se hace más necesario la comunicación y el almacenamiento de las mediciones a través de redes inalámbricas y servidores de almacenamiento. Si se desea utilizar los recursos de internet, se requiere un enrutador personal, localizado en cada hogar y empresa. Esta herramienta no se aprovecha totalmente, ya que los alcances de su tecnología van más allá de un solo servicio.

El sistema operativo de red OpenWrt brinda una gran cantidad de opciones ya que, dependiendo de las necesidades, se le pueden instalar aplicaciones o paquetes de datos mejorando la comunicación por internet del enrutador. OpenWrt no solo ofrece la reducción de costos, sino confiabilidad y estabilidad del sistema durante largos periodos de tiempo, reduciendo el retraso en los envíos.

Una parte de la población construye sus propias huertas en sus hogares, procurando la mínima utilización de químicos para obtener cultivos frescos; en la mayoría de estos hogares se siembran hortalizas como la lechuga esta se consumen dentro del mismo círculo familiar o para brindarle a sus amigos y vecinos. En este cultivo, se deben seguir ciertas especificaciones para los procesos de siembra, crecimiento y cosecha; se involucran variables como: temperatura, humedad, iluminación, tipos de suelo y rangos de pH, estas son cruciales para obtener un cultivo exitoso.

Las ventajas de utilizar la comunicación inalámbrica (WiFi) en los invernaderos en el hogar, brinda la posibilidad de monitorear en tiempo real permitiendo analizar el estado del

cultivo enviando estas mediciones o datos por medio de un servidor. Es aquí, que un enrutador con OpenWrt permitiría un seguimiento robusto para aplicaciones de este tipo.

2 Justificación

La idea de un huerto controlado y monitoreado en casa ofrece múltiples beneficios como lo es generar una producción en un espacio reducido con la facilidad de controlar las variables que intervienen en el ciclo de desarrollo. Este ofrece un entorno favorable para el cultivo manteniendo las condiciones necesarias para el crecimiento.

Los cultivos de lechuga se convierten en un bien económico para el proveedor y en un bien comestible para el consumidor, requiriendo ambos un producto de alta calidad. Para lograrlo se deben tener en cuenta múltiples factores, ya que la producción de lechuga tiene requerimientos específicos en cuanto a su ciclo de crecimiento. De esta manera, la calidad del producto estará dada por el ambiente en el que es cultivado el producto y por ello es necesario generar espacios controlados con parámetros que proporcionen un buen ciclo de producción.

Las temperaturas extremas y los insectos, por ejemplo, afectan los cultivos de lechuga: el gusano gris se alimenta de las raíces y los tallos prefiriendo zonas frescas y húmedas, la mosca blanca, las larvas y los hongos descomponen las plantas. Estas plagas se propagan fácilmente al cultivo causa de los cambios climáticos extremos a los cuales se ven expuestos

Actualmente encontrar productos de buena calidad y con costos no tan elevados es complicado y aún más difícil para los pequeños agricultores cumplir con todo lo que demanda tener un huerto para producción a causa de esto se originaron los invernaderos a gran escala por esta razón se automatizan buscando que cumplan las funciones con la mínima intervención humana y el resultado sea rápido y óptimo. Con este proyecto se pretende desarrollar un invernadero en casa donde se puede monitorear y controlar de manera rápida y sencilla para

quienes no cuenten no terreno o un espacio para invernaderos de gran escala ya que el manejo será muy práctico

La realización del invernadero en casa se desarrolla por medio del sistema operativo OpenWrt que proporciona una conectividad total a internet sin exponer su enrutador o dispositivos a ataques, este nos brinda un sistema de archivos completamente grabables en este caso para tener un registro continuo del estado del cultivo y este nos permite tener control total sobre las funciones del enrutador.

3 Objetivos.

3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control inalámbrico centralizado en un enrutador con OpenWrt para las variables en un cultivo de lechuga de pequeñas dimensiones.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la investigación sobre las especificaciones requeridas en los cultivos de lechuga y el sistema de control y monitoreo centralizado en el enrutador con OpenWrt.
- Desarrollar el sistema de monitoreo inalámbrico y el control On-Off de las temperatura, humedad e iluminación.
- Implementar el sistema central en el enrutador con OpenWrt
- Diseñar una interfaz de usuario inalámbrica para la modificación y control de parámetros

4 Marco de Referencia

4.1 Antecedentes

A continuación, se describirán algunas investigaciones realizadas previamente sobre los temas de interés de este proyecto.

En la Universidad de Anhui, se desarrolló el proyecto: “Design of A Smart Monitoring and Control System for Aquaponics Based on OpenWrt”. Se resalta la arquitectura del sistema de supervisión y control que se divide en 7 partes: sistema de acuaponía, adquisición de datos, centro de control y gestión, módulo de Wi-Fi, servidor de procesamiento de datos de nube, plataforma de comunicación social y la aplicación móvil.

El centro de control y gestión consta de un Arduino y un WRTnode, cuyas funciones principales son: almacenar los datos de los nodos de recolección de datos, procesarlos y luego subirlos al servidor, además de descargar las instrucciones desde el servidor y ejecutarlas.

Para sembrar las plantas ornamentales se usó un sistema de acuaponía que es un cultivo sin suelo basado en que las raíces de las plantas crecen en una solución de nutrientes. (Wang, Zhao, Xu, & Huang, 2015)

En la Universidad Tecnológica de Panamá, se desarrolló una “Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros” en donde se presenta una plataforma para el monitoreo y control de invernaderos y huertos caseros. A través de un conjunto de sensores, una componente de control basado en una placa Arduino YUN, una aplicación web y una aplicación móvil se podrán monitorear variables de temperatura y humedad en el interior de las estructuras de cultivo, además, de controlar mecanismos de riego y climatización. La red nodal dentro del invernadero envía los datos al Arduino el cual manda

órdenes a los actuadores y envía los datos tanto a la aplicación móvil como al servidor y la página web. A su vez, la aplicación móvil y la página web reciben órdenes del usuario y se las envían al Arduino para que este accione los actuadores (Acosta & Aguilar, Julio 2015)

En el Sri Ramakrishna Engineering College (India), se desarrolló un “Sistema de automatización de invernadero basado en LabVIEW a través de protocolo inalámbrico”. Las variables que se miden son: temperatura, humedad, luz, humedad del suelo y CO₂. Esto se realiza a través de una plataforma Arduino y que envía a un computador con LABVIEW a través de Zigbee los datos en tiempo real con mayor eficiencia, bajo coste y un sistema fácil de usar que puede reducir la carga de trabajo en el ambiente del invernadero. El programa desarrollado LabVIEW funciona en tres modos diferentes, el modo 1 es el monitoreo, el modo 2 es el control y el modo 3 es el envío de SMS a través de GSM. (Ninam, Thirukkuralkani, & Kaushik, 2018)

En el Mepco Schlenk Engineering College se realizó el proyecto “IOT Based Crop-Field Monitoring and Irrigation Automation” En este trabajo, se desarrolla un sistema para supervisar los cultivos de campo utilizando sensores (humedad del suelo, temperatura, humedad, luz) y automatizar el sistema de riego. Del prototipo de resalta los sensores temperatura humedad y Resistor dependiente de la luz (LDR) supervisan continuamente el campo y enviando los datos al servidor web utilizando el transmisor y el receptor NRF24LO1 y luego se guardan en la base de datos MySQL servidor Web mediante la conexión Ethernet en los extremos receptor. La aplicación web está diseñada de tal manera para analizar los datos recibidos y comprobar con los valores de umbral de humedad, y la temperatura y luminosidad. La toma de decisiones se realiza en el servidor para automatizar el riego. La temperatura y la lectura de la humedad a menudo se notifican al usuario de modo que el usuario puede ser capaz de conocer las condiciones de campo desde cualquier lugar Los módulos de transmisor y receptor están conectados con la placa

Arduino. Para el sistema de riego y control de luces se utilizan los relés son accionados por el microcontrolador Arduino según los datos recibidos por el servidor web, La aplicación web está diseñado para controlar el campo y los cultivos desde cualquier lugar mediante conexión a Internet. La aplicación web se ha diseñado utilizando HTML y PHP (Rajalakshmi & Devi Mahalakshmi, 2016)

En el Institute of Science and Technology Information, Daejeon, Korea desarrollaron “Implementation of a Low Cost Home Energy Saver Based on OpenWrt” el sistema consiste en el ahorro energía en el hogar mediante la aplicación de un pequeño sistema incorporado a través del mando a distancia. del cual se resalta la conexión de un enrutador inalámbrico con un sistema operativo de OpenWrt y el paquete ACM instalados en el enrutador. La interfaz de usuario (UI) se aplicó al teléfono inteligente, operado para permitir la comunicación socket a través del protocolo TCP / IP programado OS SDK, Estableciendo la relación de transmisión del programa al servidor para la transferencia de datos de control por el puerto USB, la tarjeta de interfaz de Arduino reciben a través del puerto USB y se programa la placa de interfaz para entregar la señal de control al LED por el interruptor de MOSFET. (Park, Shin, Seo Kim, & Ghil Kim, 2012)

En el Lendi Institute Of Engineering And Technology en la India, desarrollaron “Iot Based Smart Crop-Field Monitoring And Automation Irrigation System” Este Proyecto es un Sistema automático implementado para supervisar un cultivo continuamente. El sistema mantiene los niveles de agua en el cultivo teniendo en cuenta los tiempos de sequía. El proyecto incorpora un sistema de energía solar para reducir el consumo de energía. Cabe resaltar del sistema la consideración de los datos obtenidos previamente por los sensores y el sistema de riego, con el fin de ajustar la cantidad de agua que se necesita. Los sensores de temperatura y el sensor de humedad del suelo esta ubicados en el cultivo obteniendo de este, los sensores trasmiten estos

datos de forma análoga de forma que estos se convierten a digitales por el IC3208 para que sean recibidos por la Raspberry-pi la cual los envía a la base de datos por medio del WiFi, dependiendo de la condición de la humedad provocada por las diferentes estaciones que fija el umbral que acciona el relé para darle paso al motor y regar el campo. La variación de temperatura es captada por el sensor de temperatura enviando los datos al motor para que se apague automáticamente, accionando el zumbador que indica la condición del motor, a través del teléfono móvil o el pc y la dirección ip se puede comprobar los estados del motor y las medidas de los sensores. (Nageswara Rao, & Sridhar, 2018).

En la Escuela de Ingeniería y Tecnología Avanzada de la Universidad de Massey se desarrolló el proyecto: “Garden Watering System Based onMoisture Sensing”. Se utilizó el microcontrolador teensy 2.0. para realizar un sistema de dosificación de plantas teniendo en cuenta la humedad del suelo, con el fin de sustituir los sistemas de dosificación en los que predomina el temporizador. La dosificación es realizada por un temporizador de doble salida del grifo. Aunque se reemplazó el circuito de temporización por un circuito especial que dependa principalmente de la humedad. (Al-Bahadly & Thompso, 2015)

En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona se desarrolló el proyecto “Sensors telemàtics a OpenWrt” este proyecto está basado en el diseño y desarrollo de una red inteligente de sensores inalámbricos para un entorno urbano, orientado especialmente al transporte público, concretamente, a los autobuses.

Se utilizaron los sensores de WiFi y GPS para conocer el número de personas y la frecuencia con la que utilizan el transporte público, además de un Access points funcionando sobre OpenWrt para el envío de los datos a un servidor en la nube recopilando y almacenando los datos.

Debido a la baja memoria flash del enrutador es necesaria la utilización de un servidor web además que el proceso de subida de datos tiene que ser constante y a tiempo real, ya que cualquier apagado o reinicio del dispositivo supondrá una pérdida completa de los datos captados, lo que disminuye la calidad del estudio posterior. (Vozmediano, 2018)

4.2 Marco Legal

Para el presente proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes artículos y resoluciones de la República de Colombia:

4.2.1 Artículo 75 de la Constitución Política de Colombia.

“Establece que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado, y garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Igualmente, dispone que, para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético.” (Bitajor, 2008-20019)

4.2.2 Resolución número 2544 de 2009 del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Esta resolución atribuyó unas bandas de frecuencia para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso y redes inalámbricos de área local que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia.

En su Artículo 2o. Bandas De Frecuencia De Libre Utilización, PARÁGRAFO 1o. se define: “La utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencia y bajo las

condiciones establecidas en la presente resolución no requiere el permiso de uso del espectro de que trata el inciso primero del artículo 11 de la Ley 1341 de 2009.” (Comunicaciones, 2009)

4.3 Marco Teórico y Conceptual

A continuación, se describen las características y recomendaciones necesarias que necesita un cultivo de lechuga para desarrollarse adecuadamente en un huerto

4.3.1 Cultivos de Lechuga.

La producción de este cultivo se remonta alrededor de unos 2500 años. Es originaria de Asia menor, de la costa sur del mediterráneo, aunque algunos autores afirman que viene de Egipto, Se dispersó rápidamente por la hoya del mediterráneo y posteriormente a Europa occidental. El relato más antiguo de este cultivo en América es de 1494. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2016).

4.3.1.1 Características de los Suelos.

Los cultivos de lechuga tienen una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos sin embargo los suelos que proporcionan el mejor desarrollo son los francos arenosos y los francos arcillosos, estos suelos deben tener suficiente materia orgánica, estar bien drenados y tener una buena retentiva de humedad. Estos cultivos son medianamente tolerantes a la salinidad y a la acidez. y es recomendable mantener el pH entre 6,5 y 7,5 ya que si este es más bajo de 5,5 genera un desarrollo pobre y si es más alto de 7,5 no se obtiene un buen crecimiento. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2016).

4.3.1.2 *Clima Recomendado.*

El mejor clima para un cultivo de lechuga está en alturas entre 1800 y 2400 m s. n. m. En la etapa de germanización la temperatura adecuada oscila entre los 20°C y los 26 °C. Bajo estas condiciones las plántulas emergen de 2 a 4 días. y durante la etapa de crecimiento se requieren temperaturas entre los 14°C y los 18°C con un máximo de 24°C y un mínimo de 7°C. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2016).

4.3.1.3 *Humedad relativa.*

La lechuga es muy sensible a la falta de humedad y no soporta bien los periodos de sequía, debido a que tiene un sistema radicular muy pequeño en comparación con su parte superior.

La humedad relativa conveniente radica entre un 60% y un 80% aunque los altos valores de humedad favorecen el ataque de enfermedades. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2016).

4.3.1.4 *Luminosidad.*

La siembra en épocas de invierno no es conveniente debido a la alta nubosidad, la poca radiación solar y la alta exigencia lumínica de este tipo de plantas. La luminosidad les proporciona un mejor desarrollo del follaje en volumen, peso y calidad, y la escasez de ésta, causa que las hojas sean delgadas y en varias ocasiones que las cabezas sean flojas. (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2016)

4.3.1.5 Ciclo Vital del Cultivo.

Esta puede ser cultivada durante todo el año debido a su corto ciclo de producción, de acuerdo con la variedad puede durar entre 40 días y 3 meses. La etapa de plantación oscila entre las 4 y las 5 semanas, y su periodo en campo varía entre 6 y 12 semanas. (Núcleo Ambiental S.A.S., 2015).

El ciclo de desarrollo de la lechuga se divide en:

- Etapa de plántula: desde su germinación hasta la aparición de la tercer o cuarta hoja.
- Etapa de roseta: formación de 12 a 14 hojas verdaderas.
- Etapa de formación de cabeza: encorvamiento de la nervadura central sobre el punto de crecimiento de la planta. Hay variedades que no forman cabeza.
- Etapa de madurez: formación de un cogollo firme.
- Etapa de floración: entre los 50 y los 70 días se forman las flores, de 12 a 14 días después del desarrollo de flor, esta se seca y se abre generando semillas.

En la Figura 1 se muestran las etapas de desarrollo del cultivo (Núcleo Ambiental S.A.S., 2015).



Figura 1. Desarrollo del cultivo

Nota: Fuente (Núcleo Ambiental S.A.S., 2015)

4.3.1.6 *Sistemas Usados en los Cultivos de Lechuga.*

En la actualidad existen diferentes tipos de sistema para sembrar hortalizas especialmente la lechuga, los sistemas que se emplean en este proyecto son: producción de sustrato y cultivo en macetas.

Estos dos sistemas benefician a la hortaliza brindándole un anclaje, una humedad constante, un sistema de drenaje fluido, una aireación y la facilidad de que absorba la mayor cantidad de nutrientes para que la lechuga no tenga ningún problema en su desarrollo.

4.3.1.7 *Sistema de producción de sustrato.*

Este sistema consiste en una mezcla de un material sólido natural o de síntesis que brindan a la planta la nutrición adecuada para su desarrollo, este sustrato suele ser utilizado en los cultivos sin suelo, como arena, lana de roca, fibra de coco entre otros. En la Tabla 1 se describen algunas características de los diferentes tipos de sustratos

4.3.1.8 *Sistemas de cultivo en macetas.*

Este sistema consiste en macetas con agujeros redondos donde se ajusta la altura donde van ubicadas las macetas y poder integrar los sistemas de riego calefacción y transporte de la hortaliza. (Debets Schalke Green House Projects, 2019)

4.3.2 Definición y Medición de Variables.

A continuación, se describirán las variables que se deben controlar en un cultivo como el planteado en este proyecto

Tabla 1 Propiedades físicas de varios sustratos utilizados en la horticultura

Propiedad (%)	Turba rubia	Lana de roca	Perlita B-12	Fibra de coco	Tezontle 1	Tezontle 2
DA¹	0.07	0.07	0.14	0.09	0.70	0.68
EPT²	96	97	86	94	72	71
CA³	41	36	29	30	35	32
AFD⁴	25	59	25	25	21	23
AR⁵	6.0	0.3	7.0	8.1	5.5	3.5

Nota: Fuente: <http://cort.as/-I6Pj>.

4.3.2.1 Humedad:

Esta variable se refiere a la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire, la cual cambia dependiendo la presión y la temperatura, es decir conforme el aire descienda su temperatura es menor la capacidad de albergar agua.

4.3.2.1.1 Humedad relativa

Se expresa en porcentaje (%) y se refiere a una relación entre el contenido de vapor aire y su capacidad de retenerla. Se obtiene del resultado de la división entre el contenido de vapor de la masa de aire y su capacidad máxima de almacenamiento multiplicado por 100. Esta variable se fija como un factor importante en la determinación de la evaporación de superficies húmedas y de las plantas (Creus Solé, 2005)

Existen diferentes métodos para la determinación de la humedad en el aire:

- Método de elemento de cabello o deformación: este tipo de medición consiste en aprovechar la expansión o contracción lineal que sufren ciertos tipos de materiales en

¹ DA: Densidad aparente

² EPT: Espacio Poroso Total.

³ CA: Capacidad De Aeración.

⁴ AFD: Agua Fácilmente Disponible.

⁵ AR: Agua De Reserva.

presencia de la humedad, como lo son las fibras orgánicas (cabello) y sintéticas (nylon).

El alargamiento de estos materiales corresponde al 2.5% cuando la humedad relativa pasa del 0 al 100%, su exactitud es del $\pm 3\%$ al $\pm 5\%$ y un campo de medida del 15% al 95% H.R.

- Sensores de bulbo húmedo y seco (Psicrómetros): estos instrumentos basan su funcionamiento en la captación de la temperatura ambiente o seca y de la temperatura húmeda a través de dos termómetros: uno seco y el otro con un bulbo constantemente húmedo. La humedad relativa se consigue a través de la intersección de las líneas correspondientes a cada termómetro. Este método tiene una exactitud de $\pm 1\%$ al $\pm 2\%$, su precisión es pobre porque el agua del bulbo húmedo se incorpora al ambiente y puede dar una lectura errónea.
- Célula de cloruro de litio: este método de medición usa una célula embebida en cloruro de litio con unas rejillas de láminas de oro. Cuando se aplica tensión en la rejilla el tejido de embebido de cloruro de litio aumenta su temperatura estableciendo un equilibrio entre la evaporación de agua en el tejido y la absorción de agua del ambiente por parte del cloruro de litio. Su exactitud es del $\pm 2\%$ al $\pm 3\%$ de H.R con un rango de medición de 5% al 95% de H.R
- Sensor polimérico: este tipo de sensor utiliza un condensador formado por polímero termoestable, base de silicio y electrodos de platino. El condensador varía su constante dieléctrica dependiendo de la humedad del ambiente de modo que proporciona una respuesta a la humedad relativa. La exactitud de este sensor es de $\pm 5\%$ si la temperatura absoluta es menor a 10°C , de $\pm 2\%$ si la temperatura absoluta es mayor a 10°C y menor a 20°C

- Sensores piezoeléctricos: estos sensores trabajan con un cristal de cuarzo que experimenta una variación de 2kHz en su frecuencia de oscilación por cada microgramo de aumento de material sobre la superficie, por tanto, basta con cubrirlos de un material higroscópico para que aumente la cantidad de agua sobre el cristal en proporción a la humedad presente. Este sistema puede detectar variaciones de ± 0.1 Hz que es equivalente a 0.1 PPM.

4.3.2.1.2 *Humedad del suelo.*

La humedad del suelo es la cantidad de agua por volumen de tierra que tiene un terreno.

Para la medición de esta variable se emplean diferentes métodos como lo son:

(PortalFrutícula.com, 2018)

- Método gravimétrico: este es el único método directo para la medición del suelo, consiste en obtener una muestra del suelo, registrando su peso antes y después del secado y de esta forma calcular su nivel de humedad. La tierra se considera seca cuando mantiene constante su peso a una temperatura de 105°C. Este es el método más exacto, pero no se puede utilizar para tener un registro continuo del estado de humedad del terreno.
- Método de atenuación rayos gamma: este método consiste en la atenuación en la intensidad de los rayos gamma en el momento que atraviesa una sección del suelo dado a causa del agua contenida en él. Los equipos que se utilizan para emplear este método son principalmente usados en laboratorios y no sobre el terreno.
- Métodos dieléctricos: la constante dieléctrica de un volumen del terreno varía dependiendo la humedad contenida en él. Esta varía entre 2 y 7, mientras que las

permisividades del aire y agua son de 0 a 80. Uno de los instrumentos más usados son los sensores de capacitancia, compuestos de electrodos, un oscilador electrónico y un frecuencímetro. Los electrodos y su suelo adyacente forman un condensador cuya capacitancia es función de la constante dieléctrica del suelo.

- **Método tensiómetro:** este método consiste en una taza porosa conectada a través de un tubo a un manómetro. Este aparato se llena de agua y al ingresar en la taza se establece un equilibrio con la humedad del suelo. Al momento en que el terreno se seca, el agua fluye de la taza generando una tensión mayor o inversamente, al aumentar la humedad del suelo disminuye la tensión entre el agua y la taza. Estas variaciones de tensión se envían a un dispositivo de medición, cuyos datos suministran el valor del potencial hídrico del terreno.

4.3.2.2 *Temperatura.*

Es la propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico y se deriva de la idea de medir el grado de caliente o frío relativo, Los sensores de temperatura se clasifican según su tecnología. (Inzunza, 2006)

Los dispositivos usados más comunes para medir la temperatura en los procesos industriales son: (Lab-Volt (Quebec) Ltda. , 2005)

- **Termómetros:** estos proveen una lectura visual directa a la temperatura basándose la variación generada en la presión de un fluido, otros como son los termómetros bimetalicos proveen la medida basados en la contracción y expansión debido a la temperatura de dos piezas metálicas. Los termómetros están limitados ya que no pueden usarse comúnmente para el control PID en lazo cerrado.

- Termopares: esta forma de medición consiste dos alambres unidos a un extremo para formar una junta, los dos extremos no están conectados de los alambres generan la tensión proporcional a la temperatura de la junta
- Resistivos: este método consiste en sensores sensibles a la temperatura el cual produce un cambio en el valor de la resistencia eléctrica con respecto a la temperatura, como por ejemplo un detector de temperatura de rodamiento (DTR) el valor de sus resistencia aumentara a medida que lo haga el valor de la temperatura, pero los termistores son inversamente proporcionales, lo que quiere decir que a medida que aumenta la temperatura el valor resistivo disminuye
- Pirómetro de radiación: este método mide la temperatura basándose en la cantidad de energía electromagnética que emana un cuerpo y no requiere contacto directo con el mismo:

4.3.3 Sistemas Embebidos.

Son sistemas de cómputo diseñados para realizar algunas funciones, La mayoría de sus componentes se encuentran incluidos en la placa base y Al contrario de los ordenadores estos están proyectados para cubrir necesidades específicas, frecuentemente en sistemas de tiempo real. El cerebro del sistema consta de una computadora especial conocida como microcontrolador. Este es básicamente un microprocesador que en su chip incluye interfaces de entrada y salida, además de que normalmente tiene una interfaz externa para realizar el monitoreo y diagnóstico del estado del sistema. Estos pueden ser programados directamente en el lenguaje ensamblador del microprocesador o con los compiladores especiales empleados en el lenguaje C o C++, las

principales características de estos son el bajo consumo de potencia y su bajo costo. (Roman Bueno & Gonzalez Mantilla).

Algunos de los sistemas embebidos que existen en el mercado son:

- **Arduino:** Es una plataforma de código abierto basada en hardware y software flexible y fácil de usar, Está basado en microcontrolador ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel y puede ser programado usando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing) (Enríquez Herrador, 2009)
- **NODEMCU:** Utiliza el microcontrolador ESP8266 diseñado por Espressif Systems, en si mismo es una solución de red WIFI autónomo el cual ofrece una conexión entre el microcontrolador y el WiFi. además de poder ejecutar aplicaciones de manera independiente. (Ubach Granados, 2017)
- **Esp32:** utiliza el microcontrolador Xtensa 32-bit LX6, este chip combina wifi y bluetooth de 2.4 GHz, además de estar diseñado con tecnología TSMC de ultra baja potencia (Espressif Systems, 2019).
- **Psoc:** Es una arquitectura de plataforma es escalable y reconfigurable utiliza el controlador ARM Cortex –M0, combina bloques análogos y digitales programables y reconfigurable (Cypress Embedde Tomorrow, 2017)

4.3.4 OpenWrt.

Es una distribución GNU Linux altamente extensible para dispositivos integrados, está construido desde cero para ser un sistema operativo completo y fácil de modificar para

dispositivos de red y home-router, en la Figura 2 se muestra una conexión a través de consola SSH. (Chmielewski, Szyszkowski, & Piechowiak, 2012)

En lugar de intentar crear un firmware único y estático, OpenWrt ofrece un sistema de archivos completamente grabable con administración de paquetes opcional. Esto lo libera de las restricciones de selección y configuración de las aplicaciones provistas por el proveedor y le permite usar paquetes para personalizar un dispositivo incorporado que se adapte a cualquier aplicación. Para los desarrolladores facilita un marco para construir una aplicación sin tener que crear una imagen de firmware completa y distribución a su alrededor. Para los usuarios, esto significa la libertad de personalización completa.

Algunas características de este son: la versión actual es la 18.06.2, proporciona más de 3000 paquetes para ampliar la funcionalidad del dispositivo, ofrece alta estabilidad durante largos periodos de tiempo, un aumento del rendimiento de la red y la capacidad de soportar mayores velocidades de transmisión de datos. Además, en cuanto a la seguridad es muy conservador lo cual evita exponer el enrutador a ataques durante la conexión a internet (OpenWrt Wireless Freedom, 2019).

4.3.5 Medios de transmisión inalámbrica.

Los medios de transmisión inalámbrica son aquellos que tienen la transmisión y recepción de información llevada a cabo por antenas, a la hora de transmitir la antena irradia energía electromagnética, Y en el momento de la recepción la antena es aquella que capta las ondas electromagnéticas que le rodean. (Salazar, 2016)

4.3.5.2 Zigbee.

Este es una tecnología inalámbrica de bajo consumo de energía y baja tasa de transferencia, este crea una topología de red jerárquica que permite a un número de dispositivos conectarse entre sí.

Una de las principales características de zigbee es que posee un interfaz USB que permite la programación de los dispositivos un microcontrolador msp430 de Ultra bajo consumo a 16 megahertz un transceiver cc2500 a 2.4 gigahertz 18 pines disponibles 2 leds uno rojo y verde para indicar de forma visual el desarrollo de la comunicación. (Vera Romero , Barbosa Jaimés, & Pabon Gonzales, 2017)

4.3.5.3 Wi-fi.

Es una de las tecnologías inalámbricas más extendidas se conoce como WLAN o como IEEE 802.11, opera en la banda de los 2.4 GHz dependiendo de los sub-estándares puede alcanzar velocidades desde 11Mb/s hasta 54 Mb/s. (Jimenez, 2005)

Tabla 2 Características de Wi-fi

<i>Estandar Wi-Fi</i>	<i>Velocidad teórica</i>	<i>Velocidad practica</i>	<i>frecuencia</i>	<i>Ancho de banda</i>	<i>Alcance</i>	<i>Año de implementación</i>	<i>Tecnología de acceso</i>
802.11	2 Mbits/s	1 Mbits/s	2.4Ghz	22 Mhz	330 metros	1997	FHSS/DSS S
802.11^a	54 Mbits/s	22 Mbits/s	5.4 Ghz	20 Mhz	390 metros	1999	OFDM
802.11b	11 Mbits/g	6 Mbits/s	2.4 Ghz	22 Mhz	460 metros	1999	DSSS
802.11n	600 Mbits/s	100 Mbits/s	(2.4/5.4) Ghz	20/40 Mhz	820 metros	2009	MIMO/OF DM
802.11ac	6.93 Gbps	100 Mbits/s	5.4 Ghz	(80-160) Mhz	-	2013	OFDM
802.11ad	7.13 Gbits/s	6 Gbits/s	60 Ghz	2 Mhz	300 metros	2012	OFDM

<i>Estandar Wi-Fi</i>	<i>Velocidad teórica</i>	<i>Velocidad practica</i>	<i>frecuencia</i>	<i>Ancho de banda</i>	<i>Alcance</i>	<i>Año de implementación</i>	<i>Tecnología de acceso</i>
802.11ah	0.9 Ghz	2 Mhz	-	-	1000 metros	2016	-
802.11n	600 Mbits/s	100 Mbits/s	(2.4/5.4) Ghz	20/40 Mhz	820 metros	2009	MIMO/OFDM

Nota: Fuente <https://cutt.ly/EwtD7cE>

4.3.6 Bases de Datos

El objetivo de las bases de datos es conservar información y mantenerla disponible para el usuario de una forma eficaz, siendo base fundamental para la toma de decisiones. Constan de cuatro principales componentes: programas, datos, dispositivos de almacenamiento y usuarios, una de las principales ventajas es poder compartir dicha información y ser accesible por varios usuarios de forma simultánea y con propósitos diferentes. (Alonso Martinez, 2011)

4.3.6.1 MySQL

Es un sistema de gestión de base de datos (SGBD) desarrollado en un lenguaje C/C+, esta optimizado para equipos de múltiples procesadores, tolera diferentes métodos de almacenamiento de tablas, cuenta con gran velocidad de respuesta, la administración que maneja está basada en sus usuarios y privilegio, en las versiones posteriores a las 5.0 tiene limitaciones en cuanto a que no incluye disparadores ni características de objetos como tipos de datos estructurados definidos por el usuario, herencia, etc. (Casillas Santillan , y otros, 2007)

4.3.6.2 PostgreSQL:

PostgreSQL es un SGBS general y relacional. PostgreSQL fue desarrollado para ejecutarse en plataformas similares a UNIX, aunque también para ser portátil y ejecutarse en Mac

OS X, Solaris y Windows. Tiene como base POSTGRES 4.2 en el Departamento de Informática de Berkeley, Universidad de California.

Es un software gratuito y de código abierto lo que permite usarla, modificarla y distribuirla de cualquier forma. Esta desarrollado en un lenguaje C y cuenta con un amplio conjunto de tipos datos permitiendo extensiones que el usuario puede programar y definir. (PostgreSQL Tutorial Website, s.f.)

4.3.7 Desarrollo web

Se refiere a la construcción de sitios web, básicamente permite que estos tenga una apariencia impecable un buen desempeño y rápido funcionamiento y generar una mejor experiencia al usuario, esta construcción se hace atreves de diferentes tipos de lenguaje de programación, el desarrollo web se divide en dos partes que son: frontend (cliente) este es el encargado de mostrar todo lo que ves y lo que usas como por ejemplo el aspecto visual del página web, el backend (servidor) es aquello que no se ve y se almacenan los datos para esto se utilizan diferentes lenguajes como lo son : PHP, Python y Java. (OpenClassrooms , 2017)

4.3.7.1 PHP

Es un lenguaje que está diseñado para crear contenido HTML que se puede ejecutar de tres formas diferentes: mediante líneas de comando, servidor web y cliente GUI, el lenguaje PHP es de uso general para el desarrollo web, actualmente incluye una interfaz de línea de comando que se puede usar en aplicaciones graficas independientes, soporta una gran variedad de bases de datos. Este puede ser usado en la mayoría de los servidores puede ser usado al igual que en plataformas y casi todos los sistemas operativos. (Arce, 2018)

5 Selección de Tecnologías para el Proyecto

En el siguiente capítulo se presentan los diferentes componentes y tecnologías que se preseleccionaron para el desarrollo del proyecto, se mostraran las cotizaciones, especificaciones, características y la razón del porque será ese el componente/tecnología a utilizar en comparación a los otros y la función que este cumplirá en el desarrollo del proyecto.

5.1 Selección del enrutador

Un enrutador es un dispositivo que permite la conexión entre otros enrutadores y se encarga de manejar el tráfico de información seleccionando la ruta más adecuada. Estos funcionan utilizando direcciones IP para conocer el lugar donde debe ser asignado los paquetes de datos. Una de las funciones más comunes que puede realizar un enrutador en un espacio pequeño como una casa u oficina es aprovechar la misma conexión a internet, también son utilizados para la manipulación de datos que circulan para pasarlos de un tipo de red a otra.

Para la selección del enrutador que se utilizará en este proyecto se tuvieron en cuenta tres enrutadores que cumplieran con las especificaciones que el proyecto necesita, los cuales se muestran en la tabla.3. De los tres enrutadores preseleccionados, el GL.inet GL-AR150 es el más económico, cumple con los requerimientos básicos y cuenta con dos funciones extra como lo es la pre instalación OpenWRT y la función PoE, (Cisco Systems, Inc, 2012)

Tabla 3 Especificaciones de enrutadores preseleccionados

Marca	Modelo	PU MHz	RAM MB	Hardware WLAN	WLAN 2.4	WLAN 5.0	Puertos	Tipo USB	OpenWRT preinstalado	Precio
D-Link	 DIR-860L	880	128	Mediatek MT7602EN	b/g/n	a/n/ac	5 gbit ethernet	1x 3.0	No	\$544.250
GL.iNet	 GL-AR150	400	16	Atheros AR9331	b/g/n	-	2 fast ethernet	1x2.0, 1xUSB (potencial)	Si	\$174.900
TP-Link	 Archer C7 AC1750	720	128	Qualcomm Atheros QCA9558, Qualcomm Atheros QCA9880-BR4A	b/g/n	a/n/ac	5 gbit ethernet	2x 2.0	No	\$387.900

Nota: Fuente <https://cutt.ly/uwtFgd6> .

Las especificaciones del enrutador seleccionado se presentan en la Tabla 4

Tabla 4 Características de GL-AR150

UPC	QCA9331, 400MHz
Memoria	DDRII 64MB
Almacenamiento	Flash de 16MB
Interfaces	1 WAN, 1 LAN, 1 USB 2.0, 1 micro USB (alimentación), 1 botón de reinicio, UART
Frecuencia	2.4GHz
Velocidad de transmisión	150 Mbps
Max Tx Power	18dBm
Protocolo	802.11 b / g / n
Soporte de almacenamiento externo	FAT32 / EXFAT / EXT4 / EXT3 / EXT2 / NTFS
Soporte de webcam	MJPEG, YUV
Características de bricolaje	Puerto de alimentación UART, GPIO, 3.3V y 5V
Soporte de antena externa	Sí
Apoyo de PoE	Sí
Entrada de alimentación	5V / 1ª
El consumo de energía	<1.5W
Dimensión, peso	58 * 58 * 25 mm, 39 g

Nota: Fuente <https://cutt.ly/uwtFgd6>

5.2 Selección del sensor de humedad relativa y temperatura.

Después de realizar una investigación exhaustiva entre los fabricantes de sensores de las dichas variables, se decidió utilizar un mismo sensor para medir la humedad relativa y la temperatura, comparando las características de los dos sensores por separado y en conjunto se denotan valores muy similares. En la Tabla 5 se ejemplifica lo mencionado mostrando las características de un sensor de humedad (Hs1101), un sensor de temperatura (MLX90614) y un sensor con las dos variables conjuntas (BME280).

Los rangos que manejan son iguales, en la exactitud de los sensores separados se puede notar un mejor valor con respecto al conjunto, pero no es realmente significativa y las variables de histéresis de humedad y periodo de reacción se ver un mejor rendimiento en el sensor conjunto.

Tabla 5 Comparación de los sensores Hs1101, BME280 y MLX90614

Referencia	Rango	Exactitud	Histéresis de humedad	Periodo de detección promedio	Fuente
Hs1101  Nota:Fuente: http://cort.as/-N1da	0 ~ 100% RH	$\pm 2 \% RH$	$\pm 1.5\% RH$	5 s	(Humirel, 2002)
BME280  Nota Fuente: http://cort.as/-MgTf	0 ~ 100% RH -40 ~ +85 °C	$\pm 3\% RH \pm 1$ °C	$\pm 1\% RH$	1s	(Bosch Sensortec, 2014)
MLX90614  Nota Fuente: http://cort.as/-N1dL	-40 ~ 85 °C	0,5 °C			(Melexis, 2007)

En la *Tabla 6* se describen varios sensores con sus características más importantes para determinar cuál sensor de humedad relativa y la temperatura es el adecuado para este proyecto

Tabla 6 Sensores de humedad relativa y temperatura

	Entrada	Exactitud	Rango	Repetitividad	Histéresis de humedad	Periodo de detección promedio	Interfaz de comunicación	Precio	Fuente
<p>DHT22</p>  <p>Nota: https://cutt.ly/2e7meb0</p>	3.3 – 6 VDC	2% ~ 5% RH ± 0.5 °C	0 ~ 100% RH - 40 ~ 80 °C	± 1% RH; ± 0.2 °C	± 0.3% RH	2s	wire protocol	\$ 12.000 ~ \$ 17.000 Mercado libre	(Aosong Electronics Co.,Ltd)
<p>BME280</p>  <p>Nota: http://cort.as/-MgTf</p>	1.71~3.6 interno 1.2~3.6 I/O	±3% RH ±1 °C ± 1 Pa	0 ~ 100% RH; -40 ~ +85 °C; 300 ~1100 hPa	No se especifica	±1% RH	1s	I ² C y SPI	\$ 15.000 ~ \$ 25000 Mercado libre	(Bosch Sensortec, 2014)
<p>SHT15</p>  <p>Nota: https://www.adafruit.com/product/1638</p>	2.4~5.5 VDC	± 2.0% RH ± 0.3 °C	0 ~ 100% RH; -40 ~123.8 °C	±0.1 % RH ±0.1 °C	±1 % RH	4s humedad 5 ~ 30 s Temperatura	Comunicación digital por medio de 2 cables (no es I ² C, pero es similar)	\$ 25.000 Vistronica	(SENSORION, 2004)

	Entrada	Exactitud	Rango	Repetitividad	Histéresis de humedad	Periodo detección promedio	Interfaz de comunicación	Precio	Fuente
 <p>Htu21d Nota: http://cort.as/-MgVO</p>	3.8 VDC	± 2% RH ± 0.3 °C	0 ~ 100% RH -40 ~ 125 °C	No se especifica	±1%RH	5s humedad 10s Temperatura	I²C	\$20.000 mercado libre	(TE CONNECTIVITY SENSORS, 2017)
 <p>Sht31 Nota: http://cort.as/-MgVD</p>	2.4~5.5 VDC	± 2%RH ± 0.3	0 ~ 100% RH -40 ~ 125 °C	0.015 % RH	±8%RH	8s humedad 2s Temperatura	I²C	\$27.000 mercado libre	(SENSIRION, 2016)

Se eligió el sensor BME280 por las opciones que este proporciona teniendo en cuenta:

- Entre los sensores preseleccionados se observó que valores muy similares en las variables de rango y histéresis de humedad.
- Al seleccionar este sensor se tuvo en cuenta que tiene el mejor tiempo de respuesta, ofrece variantes en cuanto a la interfaz de comunicación, proporciona la variable de presión y tiene un buen precio comercial.
- Se notó que no tiene la mejor exactitud, pero por el costo que tiene es bastante bueno.

5.2.1 Selección de sensor de humedad de suelo

En la Tabla 7 se describen varios sensores con sus características más importantes para la determinación del sensor de humedad del suelo que más se acople a las funciones requeridas de este proyecto

Se eligió el sensor SKU: SEN0193 debido a que en el mercado sensores que cumplan la función de medir la humedad de suelo existen varios la mayoría de ellos industriales los cuales sobre pasan en el precio para la utilización de este proyecto también el sensor SKU: SEN0193 sus niveles de alimentación a la exactitud que brinda el sensor, y a sus componentes físicos que no se oxidan con el pasar del tiempo en la tierra.

Tabla 7 Características de los sensores de humedad del suelo

Referencia	Alimentación	Rango	Exactitud	Repetibilidad	Respuesta	Histéresis	Interfaz de comunicación	Costos	Fuente
SM150T  Nota http://cort.as/-McpZ	5-14V	0 a 1.0 mm ³ (100%)	± 3%RH	No especifica	No especifica	No especifica	salida análoga de 0-1 V	Alpha omega electronics 215.00€	(SM150T Soil Moisture and Temperature Sensor)
SKU: SEN0193  Nota: http://cort.as/-McpL	3.3 ~ 5.5 VDC	0-100 %RH	±0.3%RH	No especifica	No especifica	No especifica	PH2.0-3P	3570 en sigma electronica	(Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193, 2017)

5.3 Selección del sistema embebido

En la Tabla 8 se comparan tres sistemas embebidos que cuentan con el Wi-fi integrado, presentando sus características más representativas.

Tabla 8 Tabla de los sistemas embebidos

Referencia	Características
<p>NODEMCU v3</p>  <p>Nota: fuente http://cort.as/-Mcp</p>	<p>Microcontrolador: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit) Voltaje De Entrada: 3.3 V DC Pins: 30 Pwm Channels: 17 Flash Memory: 4MB Sram: 64KB Ram: DATOS:80KB, INSTRUCCIONES:32KB Velocidad De Reloj: 80MHz/160MHz WiFi: 802.11 b/g/n/e/i Valor: \$17000 a \$34000 en mercado libre, \$30000 por sigma electrónica, \$26672 a \$15241 Nota: https://bit.ly/2z2KNpO</p>
<p>ESP32</p>  <p>Nota: fuente http://cort.as/-Mcoa</p>	<p>Microcontrolador Xtensa® Dual-Core LX6 de 32 bits, hasta 600 DMIPS Voltaje De Entrada: 5 VDC Pins: 49 Pwm Channels: 16 Flash Memory: 4MB Sram: 520 Kbyte, 16 KByte SRAM en RTC Ram: 520 Kbyte Velocidad De Reloj: 240 Mhz WiFi: Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP Valor: \$33000 a \$47000 en mercado libre, \$50000 por sigma electrónica, \$27312 a \$34943 Amazon Nota: https://bit.ly/2N787LA</p>
<p>ARDUINO YUN</p>  <p>Nota: fuente http://cort.as/-McoE</p>	<p>Microcontrolador: ATmega32u4 Voltaje De Entrada: 5 VDC Pins: 32 Pwm Channels: 77 Flash Memory: 32 KB (de los cuales 4 KB utilizados por el gestor de arranque) Sram: 2.5 KB Ram: 16 MB Velocidad De Reloj: 16 MHz WiFi: IEEE 802.11b/g/n Valor: \$54000 a \$79000 en mercado libre, \$169144 en Amazon Nota: fuente http://store.arduino.cc/usa/arduino-yun</p>

Se eligió el NODEMCU debido a que ofrece la capacidad de conexión a cualquier red local, internet o dispositivos compatibles con Wi-Fi, este cuenta con un procesador de 80 MHz, 9 pines GPIO con I2C y SPI, una entrada analógica y una entrada de alimentación externa (máximo 20V). Entre los sistemas embebidos que se preseleccionaron este no solo cumplía con los requerimientos del proyecto, sino que también contaba con el menor costo entre las opciones consideradas.

6 Desarrollo del Proyecto

En el siguiente capítulo se detallará cada componente involucrado en el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta las características y el uso de cada uno de estos componentes. En la Figura 3 se ilustra el diagrama de bloques del sistema construido.

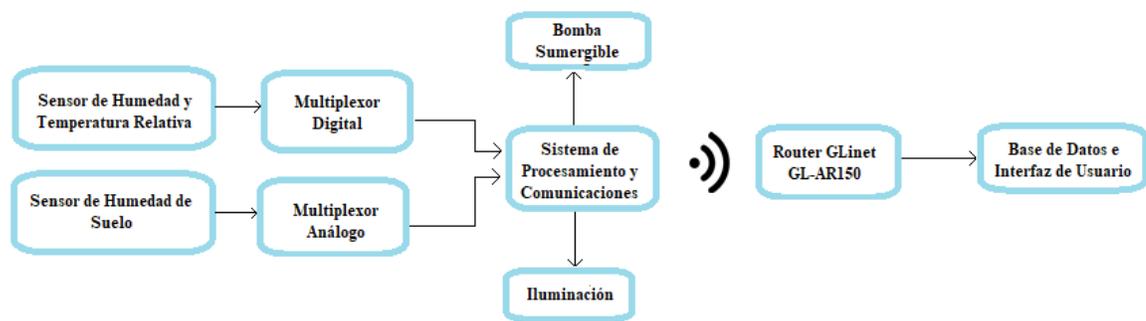


Figura 3. Diagrama de Bloques para el Desarrollo del Proyecto

6.1 Sensor de Humedad y Temperatura Relativa BME280

El sensor BME280 proviene de una generación de sensores de Bosch, es la actualización de los sensores BMP085, BMP180 y BMP183. Tiene la capacidad de medir tres variables usando el mismo encapsulado: Temperatura, Humedad Relativa, y Presión Barométrica, las cuales se envían mediante el bus I²C o SPI, ofreciendo una alta precisión, linealidad, estabilidad a largo plazo y bajo consumo energético. Su alimentación puede ser de 5V o 3.3V (Bosch Sensortec, 2015). En la Figura 4 se ilustra la parte física del BME280.



Figura 4. Sensor BME280

Nota: Fuente <http://cort.as/-MgTf>

En la siguiente Figura 5 se muestra el diagrama de bloques simplificado del sensor BME280.

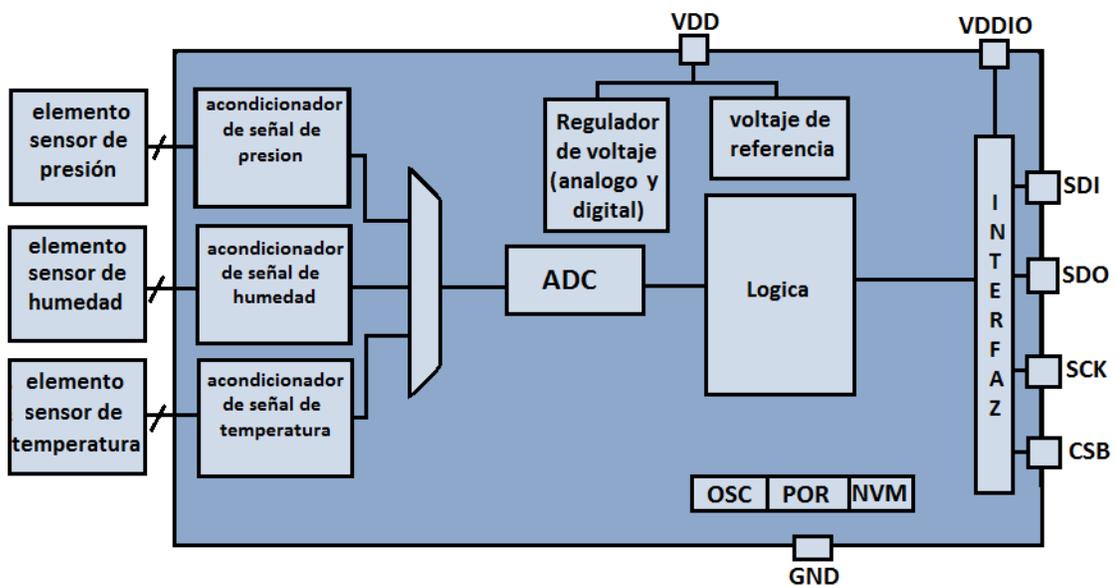


Figura 5. Diagrama de Bloques del Sensor BME280

Nota: fuente: (Bosch Sensortec, 2015)

El sensor BME280 tiene 3 modos de funcionamiento: el modo suspensión, el modo forzado, y modo normal. En este proyecto solo se utilizará el modo normal.

6.1.1 Modo de funcionamiento normal.

Este modo comprende un ciclo perpetuo automatizado entre un periodo de medición donde los últimos resultados de medición siempre se pueden obtener en los registros de datos sin la necesidad de más accesos de escritura. (Bosch Sensortec, 2015)

En la Figura 6 se muestra el diagrama de tiempos de muestreo.

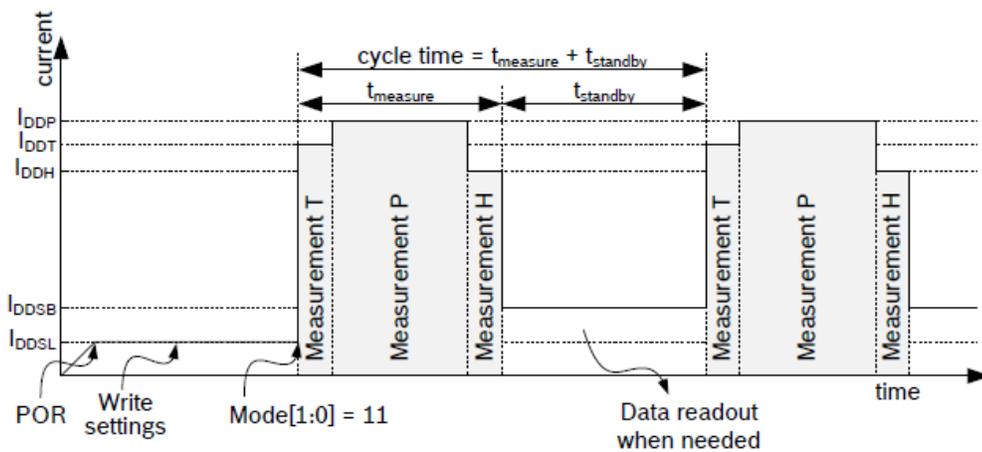


Figura 6. Diagrama de muestreo del modo normal

Nota: Fuente (Bosch Sensortec, 2014)

En la Figura 7 se representa el diagrama de flujo de medición.

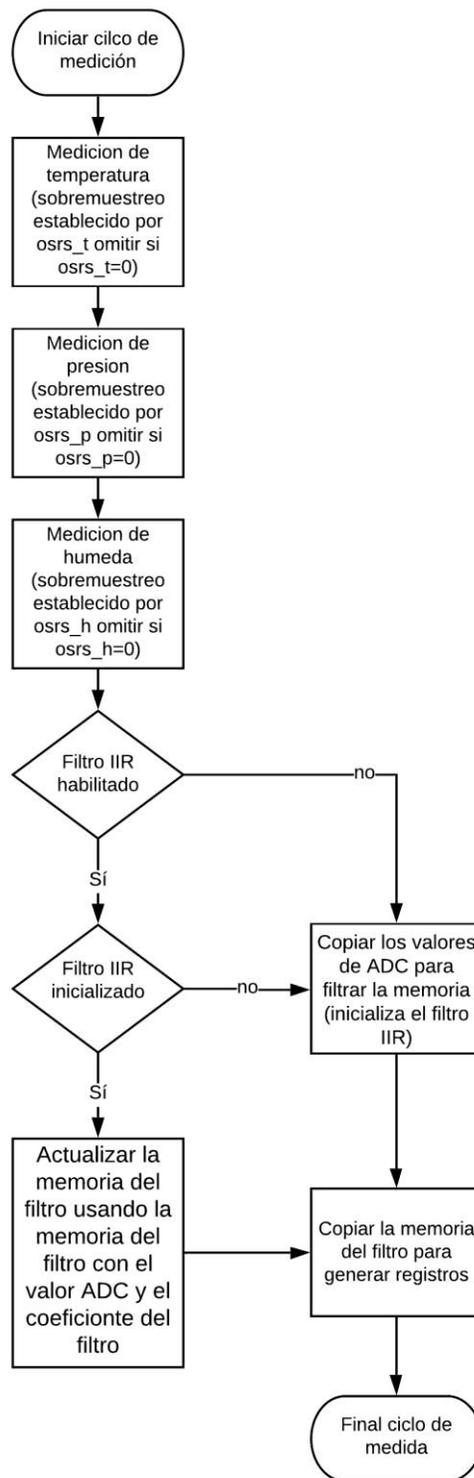


Figura 7. Diagrama de flujo del sensor.

Nota: Fuente (Bosch Sensortec, 2014)

6.1.2 Filtro IIR

El valor de humedad dentro del sensor no maneja una rápida fluctuación y no requiere filtrado paso bajo. Sin embargo, la presión ambiental está sujeta a muchos cambios a corto plazo, dichas alteraciones pueden ser generadas por el golpe de una puerta, ventana, o corrientes de viento sobre el sensor. Para suprimir estas perturbaciones y problemas como el tráfico de interfaz adicional y carga de trabajo en el procesador en los datos de salida, el BME280 presenta un filtro interno IIR que reduce eficazmente el ancho de banda de las señales de temperatura y presión, y también aumenta la resolución de los datos de salida de temperatura y presión a 20 bits. La salida de la medición se filtra utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Datos filtrados} = \frac{\text{datos filtrados antiguos} * (\text{coeficiente de filtrado} - 1) + \text{datos del ADC}}{\text{coeficiente del filtrado}}$$

- Los datos filtrados antiguos son los datos que provienen de la memoria del filtro actual
- Los datos ADC son los datos que provienen de la adquisición actual de ADC.
- Los nuevos valores que tomará la memoria del filtro son aquellos datos que son filtrados y que serán enviados a los registros de salida. (Bosch Sensortec, 2014)

6.1.3 Medición de humedad.

Por medio de programación se habilita la acción de toma de datos por parte del sensor ofreciendo varias opciones de sobre-muestreo configuradas en el registro OSRS-H con el objetivo de reducir el ruido, de esta manera se elimina la necesidad de que estos datos pasen por el filtro IIR. La resolución de la medición se fija en una salida ADC de 16 bits.

6.1.4 Medición de temperatura.

La medición de temperatura es controlada mediante la configuración en el registro OSRS_T y es posible realizar un sobre-muestreo permitiéndole reducir el ruido.

La resolución de los datos depende del filtro IIR y la configuración de sobre-muestreo. Cuando el filtro IIR está habilitado la resolución de temperatura es de 20 bits y cuando el filtro esta desactivado la resolución es de 18 bits.

Un inconveniente encontrado en esta sección es que un solo sensor BME280 no cubre toda la superficie del proyecto para medir la temperatura y la humedad relativa por lo cual se deben implementar dos sensores BME280, estos sensores manejan una interfaz I²C pero el NODEMCU no cuenta con la capacidad de puertos suficientes. Por esta razón se incorporó el multiplexor TCA9548A el cual cuenta con 8 puertos para I²C.

6.2 Multiplexor TCA9548A.

El multiplexor TCA9548A permite conectar varios dispositivos a un mismo puerto I2C de un sistema de procesamiento, Para lograrlo cambia la dirección I2C de los dispositivos conectados a una dirección entre 0x70 y 0x77, con lo cual puede tener de uno a ocho dispositivos conectados simultáneamente. El multiplexor maneja rangos de voltaje operativos de 1.65 v a 5.5v, una frecuencia de 0 a 400Khz y entradas de voltaje tolerantes a 5v. En la Figura 8 se ilustra el PCB del multiplexor TCA9548A.

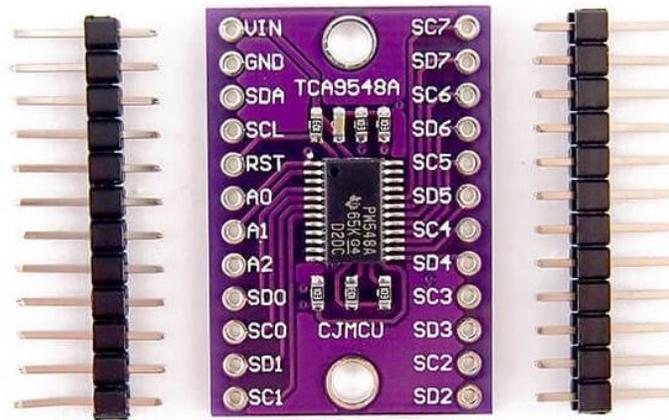


Figura 8. Multiplexor TCA9548A

Nota: Fuente <https://cutt.ly/brx1SLp>

6.2.1 Conexión de los sensores BME280

En la Figura 9 se presenta la conexión de los dos sensores BME280 con el NODEMCU:

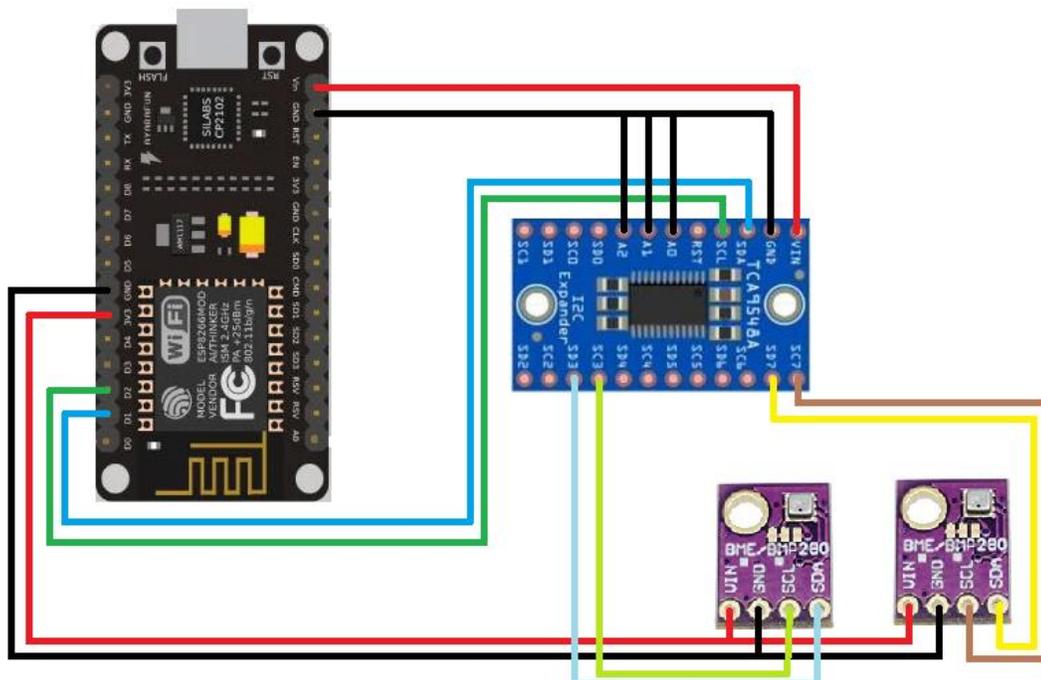


Figura 9. Conexión de los Sensores BME280

6.3 Control de temperatura

Se utilizó un ventilador tipo abanico de alta velocidad 8 pulgadas (como el mostrado en la Figura 10) que trabaja a una tensión nominal de 110 V y una potencia de 28W, tiene una cabeza de inclinación de hasta 90 grados, el cual es activado en horas específicas donde se presentan altas temperaturas y de esta forma aplicar un control de esta variable en el huerto.



Figura 10. Ventilador de abanico

Nota: fuente: <https://cutt.ly/BrS23oq>

6.3.1 Diagrama de conexión del ventilador

En la Figura 11 se representa el conexionado para el control de la temperatura

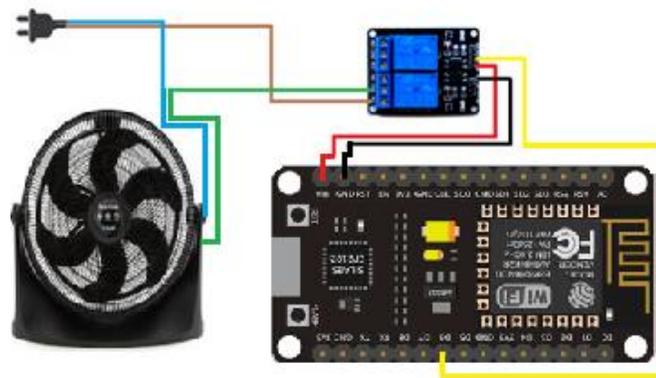


Figura 11. Conexión ventilador a NODEMCU

6.4 Sensor de Humedad de Suelo SEN0193.

El sensor SEN0193 integra una sonda para medir la humedad en el suelo por medio de la variación de capacitancia. Este sensor está hecho de un material anticorrosivo que garantiza un largo periodo de vida útil en contacto con el agua e incluye un regulador de voltaje en la tarjeta que le permite tener un rango de operación entre 3.3V y 5V con un rango de salida de 0 a 3V DC. En la Figura 12 se ilustra el sensor SEN0193.



Figura 12. Sensor SEN0193

Nota: fuente: <http://cort.as/-McpL>

El sensor devuelve una tensión análoga proporcional al nivel de humedad medido. Para configurarlo se realizan dos pruebas: la prueba inicial consiste en tomar el nivel máximo de humedad sumergiéndolo en un vaso con agua, para luego tomar el valor de la humedad mínima en el aire o en arena seca según se desee la comparación. De esta manera se genera un margen para conocer cuál es el estado de humedad en que se encuentra el suelo.

Teniendo en cuenta que el NODEMCU presenta una limitación en cuanto a sus entradas análogas, puesto que solo tiene una, y teniendo en cuenta que se requieren varias para realizar la conexión con los sensores se agregó un multiplexor CD el cual tiene 8 entradas análogas que nos permite suplir dicha limitación al momento en que se realizó la conexión del censado.

6.5 Multiplexor CD4052BE

El multiplexor CD4052BE es un interruptor análogo controlado digitalmente que tiene baja impedancia y corriente de fuga. Este integrado cuenta con dos entradas de control binario, A, B, y una entrada de inhibición. Las señales de entrada binarias seleccionan 1 de 4 pares de canales para ser encendido y conectar las entradas analógicas a las salidas. (Semiconductor, 2003). En la Figura 13 representa la parte física y en la Tabla 9 se muestra la tabla de verdad del multiplexor



Figura 13. Multiplexor CD4052BE

Nota: fuente <http://censa.mx/imgs/prods/20500960/imgs/img1.JPG>

Tabla 9 Tabla de verdad

CD4052B			
INHIBIT	B	A	
0	0	0	0x,0y
0	0	1	1x, 1y
0	1	0	2x, 2y
0	1	1	3x, 3y
1	X	X	None

Nota: (<https://cutt.ly/TrrXod8>)

6.5.1 Diagrama de conexión del sensor SEN0193

En la Figura 14 se presenta la conexión del sensor SEN0193 con el NODEMCU

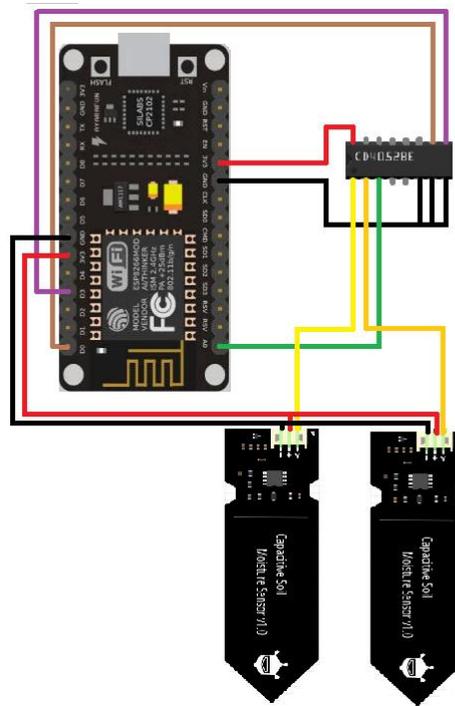


Figura 14. Conexión de los Sensores SEN0193

6.6 Bomba sumergible

La función de esta bomba radica en impulsar parte del líquido en el que se encuentra sumergida hacia el exterior. La ventaja de esta bomba es que no depende de la presión del aire externo para permitir ascender el líquido, es utilizada para el sistema de riego donde es activada por medio de un módulo relé doble que recibe una señal digital del NODEMCU el cual está programado para permitir el paso de agua de acuerdo con las lecturas del sensor SEN0193. En la Figura 15 se observa la bomba sumergible utilizada en el proyecto.



Figura 15. Bomba sumergible

Nota: Fuente: <https://cutt.ly/3rdz3IU>

6.6.1 Diagrama de conexión de la bomba sumergible con el NODEMCU

En la siguiente Figura 16 se ilustra la forma en la cual se conectó la bomba sumergible al microcontrolador

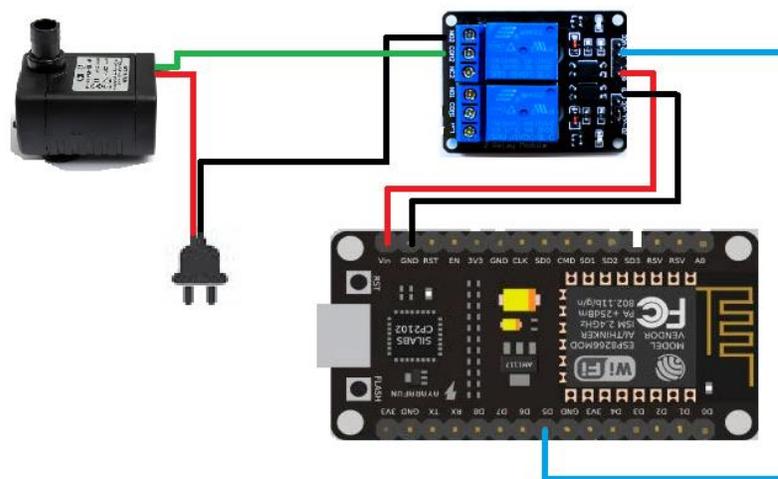


Figura 16. Conexión de bomba sumergible al módulo relé y NODEMCU

6.7 Iluminación del Huerto

Se tiene en cuenta que para un correcto desarrollo y un buen crecimiento de las plantas es necesaria la luz solar, aunque también podemos contar con luz artificial, pero para utilizar esta se deben tener en cuenta tres aspectos importantes, que es el color de la luz, las horas de luz y la distancia de separación de la fuente de luz.

- Color de la luz: el responsable del crecimiento vegetativo que se da tras germinar la plántula pertenece a la franja de 380-500 nm del espectro visible el cual corresponde a la luz azul.
- Horas de luz: la luz juega un papel importante en el desarrollo de la planta, especialmente si el cultivo se encuentra en el interior de una casa, dado que normalmente las plantas como la lechuga es un cultivo de día largo, requieren aproximadamente entre 18 horas de luz y 6 horas de descanso.
- Distancia recomendada de lámpara led: teniendo en cuenta la potencia real de la lámpara se recomienda una altura adecuada para evitar la quema del follaje y garantizar que reciba la cantidad de luz necesaria.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, en la construcción del huerto se utilizaron lámparas led de color azul, a una distancia de 40 cm de altura en su etapa de crecimiento y etapa de floración puesto que la potencia real de las lámparas es de 144 W. En la Figura 17 se muestra la lámpara seleccionada para la construcción del huerto: un tubo de led T5.



Figura 17. Tubo de led t5

Nota: Fuente: <https://cutt.ly/xrxVaUG>

6.7.1 Diagrama del conexionado de la bomba sumergible

Las lámparas se conectaron a un módulo relé doble y seguidamente a un microcontrolador que es el encargado de enviar la señal de activación para encenderlas durante el tiempo establecido para simular la luz del día, en la Figura 18 se muestra la conexión de las lámparas al NODEMCU.

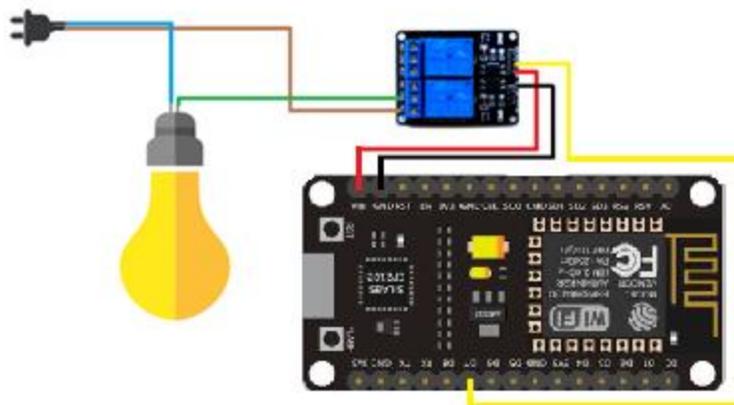


Figura 18. Conexión de lámpara al NODEMCU

6.8 Construcción de la cama para el sembrado

Para la siembra del cultivo de lechuga se deben cumplir ciertas condiciones como son:

- 30 cm de separación por hilera
- En cada hilera por semilla debe haber un radio de 25 cm de separación entre ellas, esto para buscar obtener un mejor desarrollo en el follaje
- La profundidad requerida para la construcción del huerto fue de 30 cm, teniendo en cuenta que las raíces crecen en promedio de 25 cm.

El huerto fue construido con madera de pino y bajo las especificaciones mostradas en la

Figura 19.

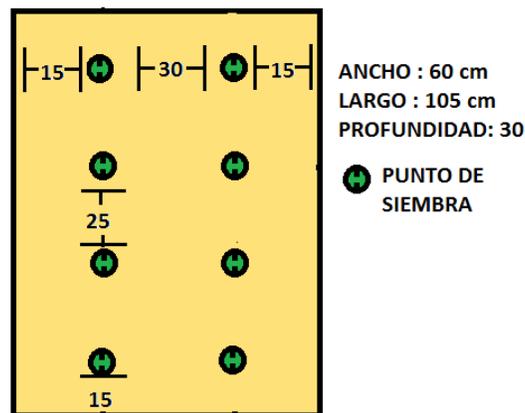


Figura 19. Parámetros de construcción del huerto

En la Figura 20 se muestra el lecho construido donde se realizó la siembra



Figura 20. Lecho de siembra

6.9 NODEMCU

El NODEMCU es una plataforma de código abierto que se ejecuta en un microcontrolador SoC Wi-Fi *ESP8266* de Espressif Systems. Utiliza un voltaje de operación 3.3v y su conectividad inalámbrica utiliza el protocolo 802.11b/g/n. Tiene 12 pines GPIO, un conversor ADC y conexión I²C y SPI. (CEJA, 2017)

En la Figura 21 se ilustra la parte física del NODEMCU



Figura 21. NODEMCU

Nota: Fuente: <https://cutt.ly/Zrxn4d4>

En la Figura 22 se muestra el esquema de pines del NODEMCU.

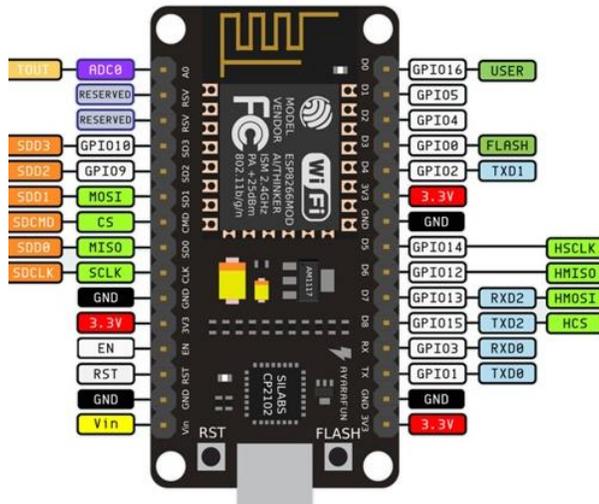


Figura 22. pines NODEMCU

Nota: fuente <https://cutt.ly/RrP8ex8>

En la Tabla 10 se explican los pines que se usan en el proyecto:

Tabla 10 pines utilizados en el proyecto

Nº de pin en la board	Nº de pin en el diagrama de pines	Una breve descripción del uso del pin
A0	ADC0	Entrada del multiplexor CD4052BE con la señal de los sensores SEN0193
D0	GPIO16	Salidas para el control de A en el multiplexor análogo CD4052BE
D1	GPIO5	Entrada de la señal SCL del multiplexor TCA9548A el cual multiplexa la señal del sensor BME280
D2	GPIO4	Entrada de la señal SDA del multiplexor TCA9548A el cual multiplexa la señal del sensor BME280
D3	GPIO0	Salidas para el control de B en el multiplexor análogo CD4052BE

Nº de pin en la board	Nº de pin en el diagrama de pines	Una breve descripción del uso del pin
D7	GPIO13	Señal de control para modulo relé doble el cual acciona de la bomba sumergible
D8	GPIO15	Señal de control para modulo relé doble el cual acciona las luces

6.9.1 Diagrama de conexiones de NODEMCU

En la Figura 23 se ilustra la conexión del NODEMCU con los demás componentes

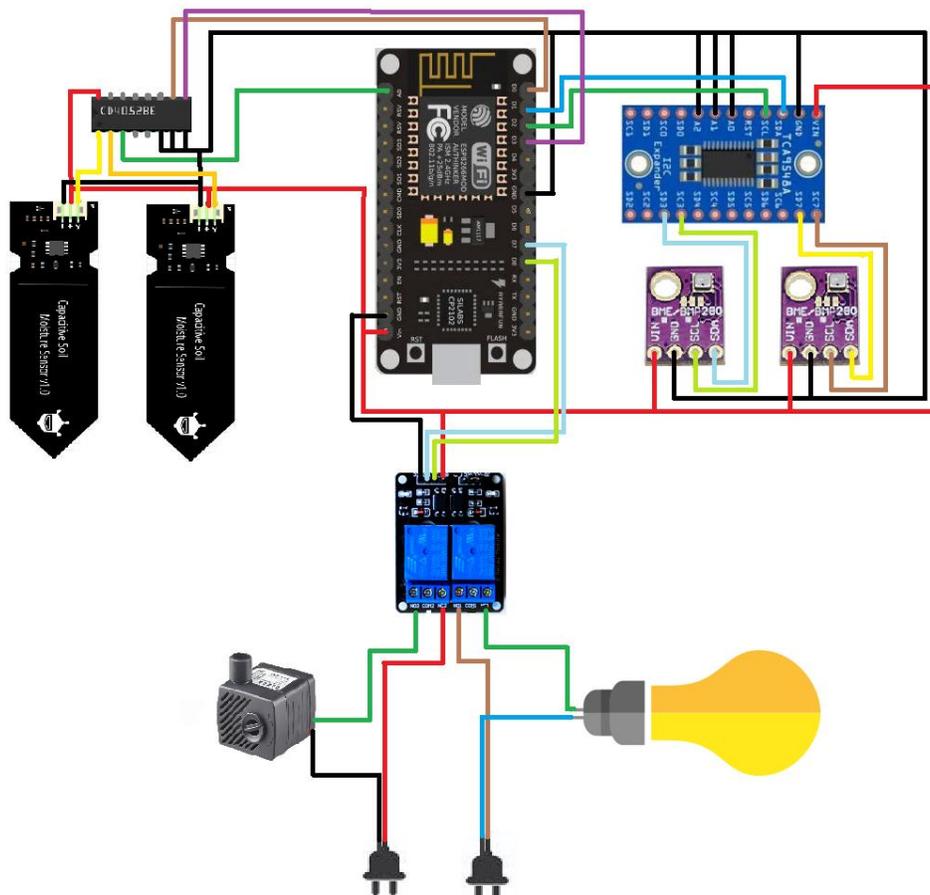


Figura 23. Conexiones de NODEMCU

6.9.2 Diagrama de bloques de la programación del NODEMCU

En la Figura 24 se representa la programación realizada en el microcontrolador NODEMCU

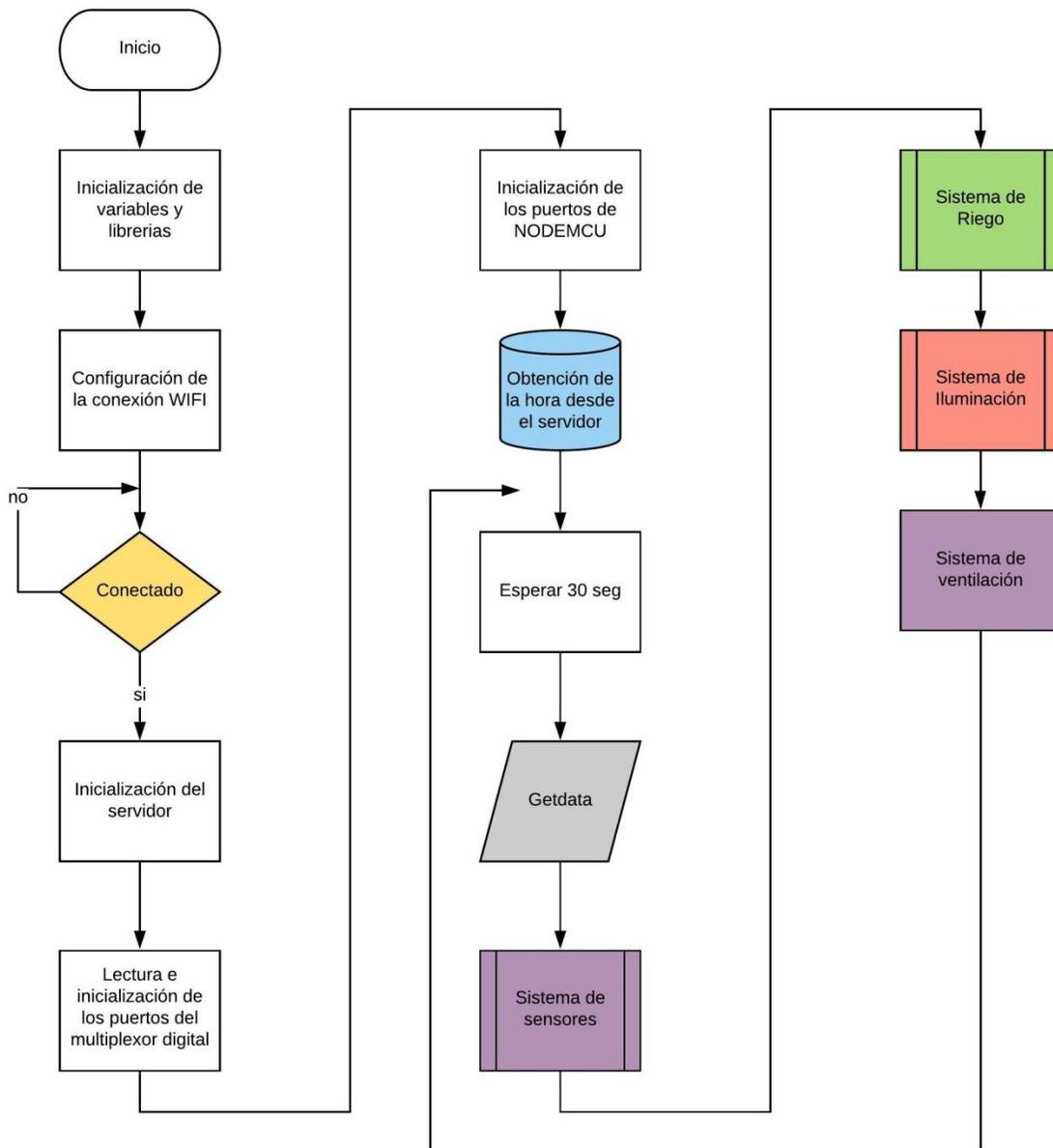


Figura 24. diagrama de bloque programación de microcontrolador

6.9.2.1 Inicialización de variables y librerías

En este bloque se declaran librerías para el funcionamiento del WIFI del módulo NODEMCU y el chip ESP8266 (ESP8266WiFi), para crear un cliente que se pueda conectar a una dirección IP (WiFiClient.h), para la creación de un servidor web (ESP8266WebServer.h), para realizar consultas DNS o multidifusión (ESP8266mDNS), para conectarse a un servidor NTP (NTPClient) y para el funcionamiento del sensor BME280 (Adafruit_Sensor.h) y (Adafruit_BME280.h).

Las variables declaradas son:

- Tiempo (Hora, Minuto, Segundo),
- Dirección IP del servidor web,
- Temperatura 1 y 2,
- Humedad relativa 1 y 2
- Humedad de suelo 1 y 2,
- Punto máximo (Pmax), y mínimo (Pmin) del valor se sensado del sensor SEN0193
- Pendiente de la recta de calibración (m),
- Punto corte con el eje Y (b),
- Activación de actuadores (BOMBA, LUZ, Habilitación, b, ventilador)

6.9.2.2 Configuración de la conexión WiFi

En este bloque se realiza la conexión al enrutador.

- Sondeo de las redes locales de internet
- Búsqueda del nombre de la red designada para conectarse y verificación de la contraseña de ingreso

- Verificación del estado de la conexión

6.9.2.3 *Inicialización del servidor*

Se indica la dirección IP donde está situado el servidor web, se accede a esa dirección y si se logra acceder imprime un mensaje de *servidor inicializado* seguido de *servidor conectado*.

6.9.2.4 *Lectura e inicialización de puertos del multiplexor digital*

Este bloque consta de un ciclo de repetición que busca los puertos del multiplexor TCA9548A. Con los puertos del multiplexor identificados selecciona uno por uno los puertos que posee el multiplexor, evaluando si el puerto seleccionado está activo o no. En caso afirmativo el sensor está conectado a ese puerto, por lo cual imprime el nombre del puerto, el valor que está leyendo y los almacena en los vectores de humedad y temperatura. De lo contrario si el puerto no está activo imprime *no se detectó el puerto*, el nombre del puerto e inicializa estos puertos en falso.

6.9.2.5 *Obtención de hora del servidor*

En este bloque, se solicita la hora del servidor y se almacena en el NODEMCU. Para ser usada en la activación de los actuadores y el envío de los datos de los sensores con el respectivo tiempo de sensado. Se espera un tiempo 30 segundos para entrar al sistema de getdata.

6.9.2.6 *Getdata*

En la Figura 25 se detalla el sistema de lectura de los sensores BME280 y para el sensor SEN0193.

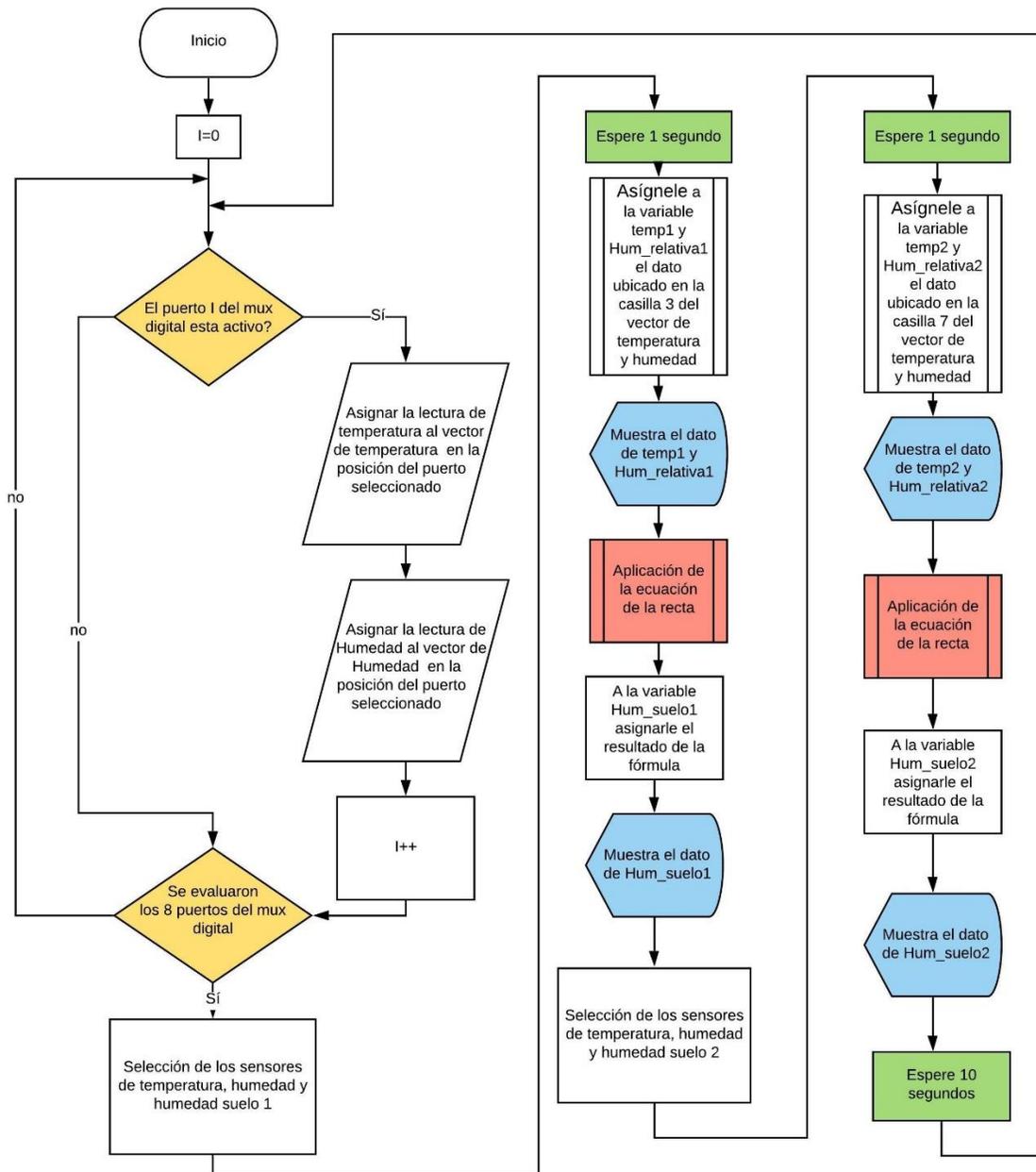


Figura 25. Diagrama de bloques de lectura de sensores

Con base en la matriz de puertos determinados al comienzo se evalúa si existen puertos activos y, en caso afirmativo, se selecciona uno de estos puertos. Luego se leen los datos de

temperatura y humedad relativa por el puerto seleccionado y se asignan estos datos a los vectores correspondientes. Este paso se realiza 8 veces para evaluar cada puerto del multiplexor digital.

Después de evaluar todos los puertos del multiplexor se modifican de estado lógico las salidas correspondientes a las variables de control del multiplexor análogo CD4052BE las cuales son A (OutputA en alto) y B (OutputB en bajo), seleccionando los sensores de temperatura, humedad y humedad de suelo 1. Se espera un tiempo y se asignan a las variables de temp1 y Hum_relativa1 el dato correspondiente a puerto 3 del vector de temperatura y humedad, imprimiendo los datos asignados a las variables de temp1 y Hum_relativa1.

6.9.2.6.1 Aplicación de la ecuación de la recta al sensor SEN0193

El sensor de humedad de suelo SEN0193 necesita ser calibrado previamente para poder que los valores obtenidos estén de acuerdo con el valor real de humedad. Por tanto, cada valor debe modificarse al aplicarle la ecuación de la recta obtenida a partir de los puntos máximos y mínimos obtenidos en la calibración.

La calibración de este sensor comprende dos partes:

- En la primera parte se prueba la sonda en el aire libre, estableciendo la medida obtenida como "Valor seco", éste es el valor límite del suelo seco que correspondería a "Humedad: 0% HR". En la prueba realizada la medición del sensor obtenida en este primer paso de la calibración fue de 475 para el sensor 1 y para el sensor 2 fue de 482. Este valor se toma como punto máximo (Pmax).
- En la segunda parte se sumerge la sonda en agua (teniendo en cuenta no sumergir la sonda más allá de la línea roja indicada en la Figura 26 estableciendo la medida obtenida como "Valor agua", éste es el valor límite del suelo húmedo que correspondería a

"Humedad:100% HR". En la prueba realizada la medición del sensor obtenida en este segundo paso de la calibración fue de 260 para el sensor 1 y para el sensor 2 fue de. 260. Este valor se toma como punto mínimo (Pmin).

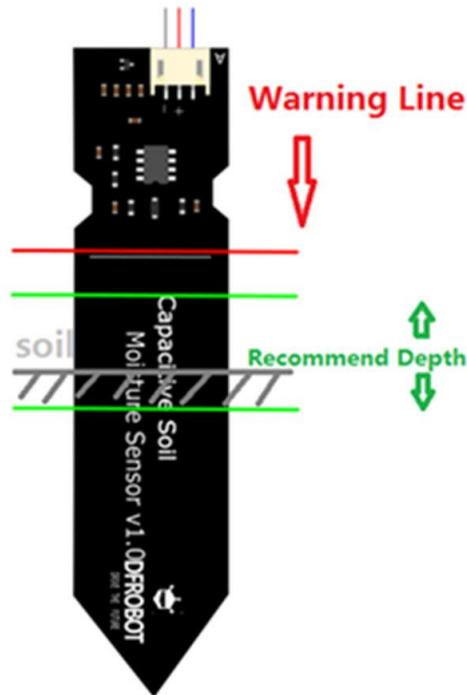


Figura 26. Límite de contacto de la sonda con el suelo

Nota: fuente <https://cutt.ly/PrxmUs4>

Con los puntos anteriores se procede a calcular la ecuación de la pendiente para el sensor 1 y para el sensor 2:

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

Teniendo en cuenta el punto máximo como X2, punto mínimo como X1, el 0%HR como Y2 y el 100%HR como Y1. Despejando los valores obtenidos, se obtiene:

- Para el sensor 1: $m = -0.46$
- Para el sensor 2: $m = -0.45$

Con el valor de las pendientes se calcula el punto de corte con el eje Y (b) teniendo en cuenta el punto máximo arrojado por la calibración de cada sensor.

$$b = m * P_{max}$$

Despejando los valores obtenidos, se obtiene:

- Para el sensor 1: $b = 218.5$
- Para el sensor 2: $b = 216$

Los valores anteriores se remplazan en la fórmula de la ecuación de la recta

$$Y = mX + b$$

Despejando los valores obtenidos, se obtiene:

- Para el sensor 1: $Y = -0.46X + 211$
- Para el sensor 2: $Y = -0.45X + 216$

Donde X es el valor que el sensor de humedad de suelo arroja por el pin asignado (3) para el sensor 1 y el pin (7) para el sensor 2.

6.9.2.7 Sistema de sensores

En la Figura 27 se ilustra el diagrama de flujo del sistema de sensores. En este bloque el NODEMCU se conecta por el puerto 80 a la Dirección IP correspondiente del servidor declarada anteriormente. Si el módulo no se conecta al servidor imprime un mensaje de conexión fallida.

De lo contrario busca una carpeta dentro del servidor con la dirección:

“/huertocode/sensor_write.php?temp1=”. a la cual se envían las variables de temperatura,

humedad relativa y humedad suelo para los sensores 1 y 2 al servidor y se guardan a las variables,

después se envían los datos de tiempo en el cual fueron tomados estos valores y desconecta la

conexión al servidor. Este sistema se repite cada 10 minutos.

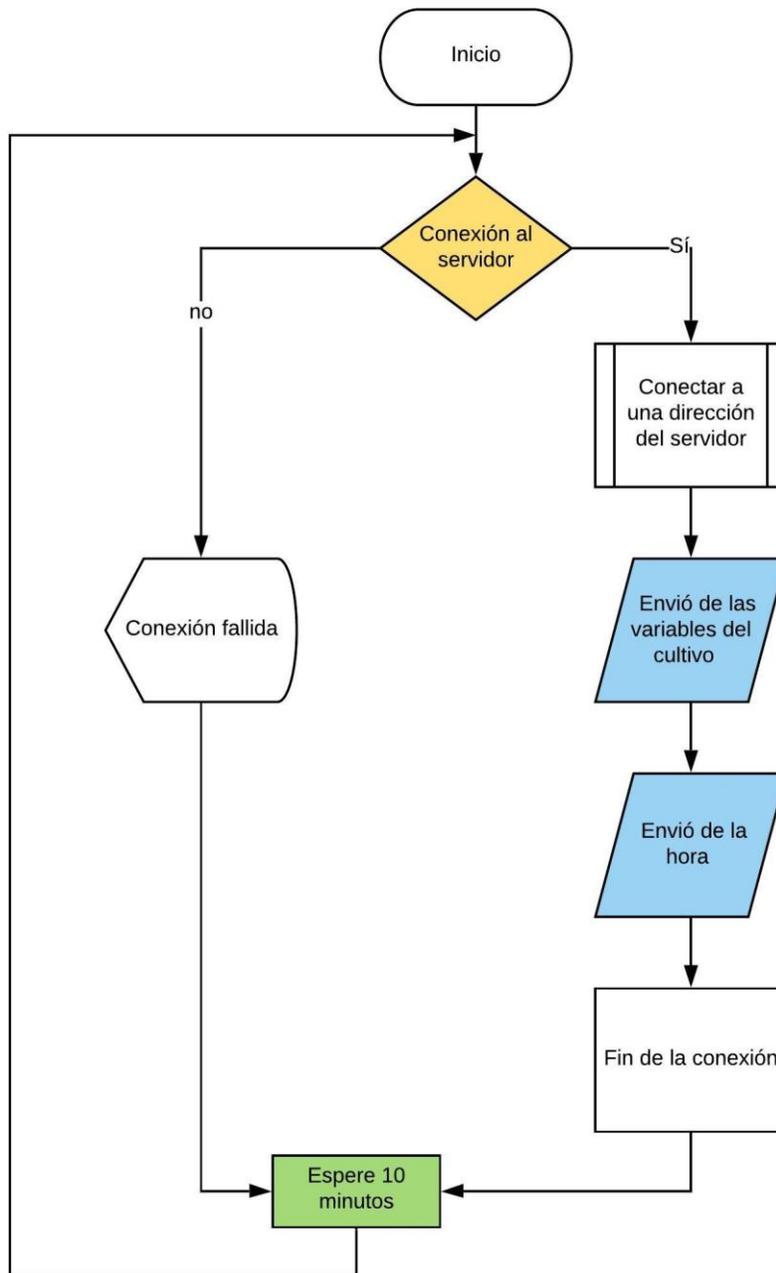


Figura 27. el diagrama de flujo del sistema de sensores

6.9.2.8 Sistema de riego

En la Figura 28 se ilustra el diagrama de flujo del sistema de riego.

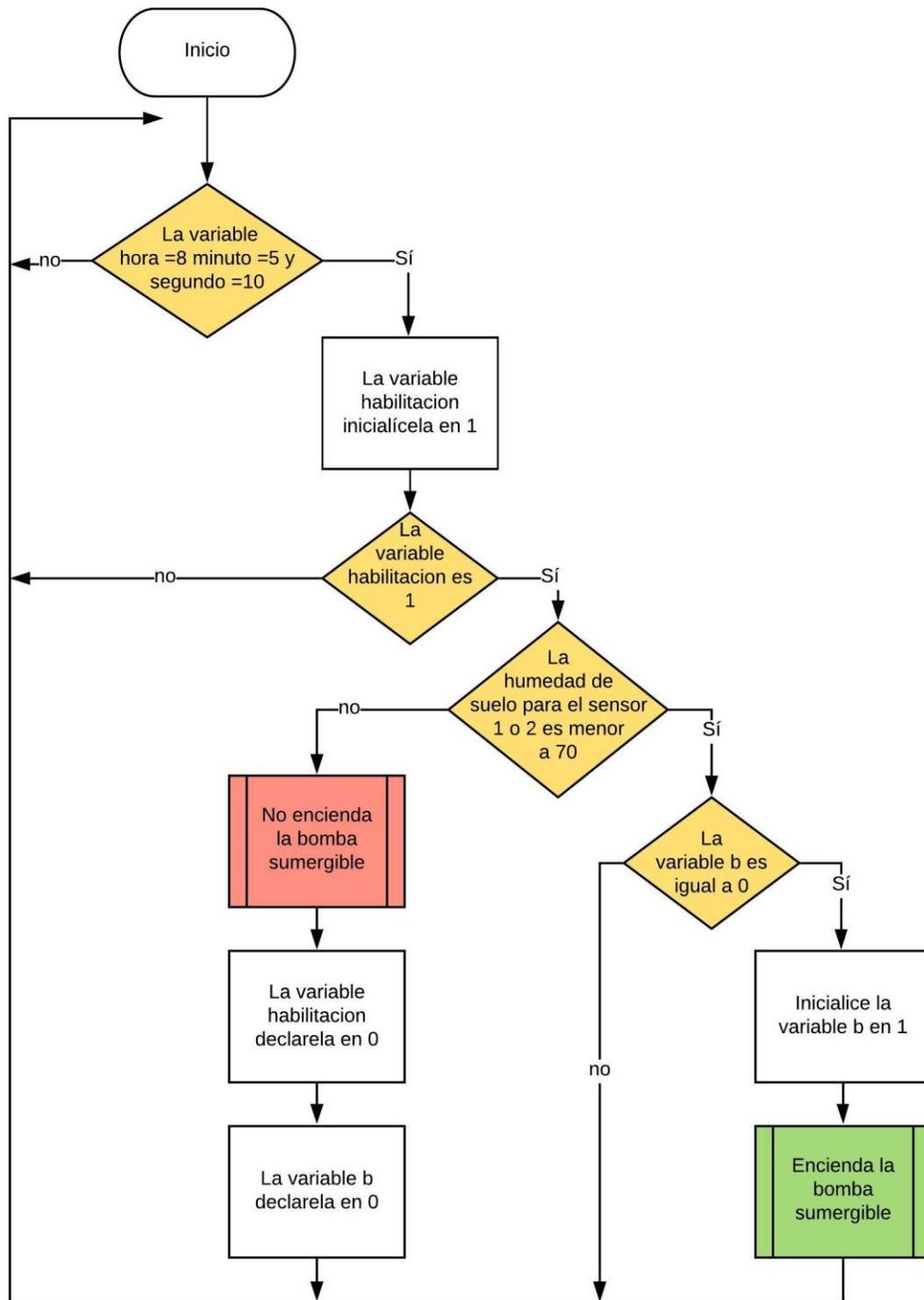


Figura 28. Diagrama de flujo del sistema de riego

Para el sistema de riego se tiene programado una habilitación del control a las 8:05 am, si los sensores de humedad tienen un valor menor al 60% se encenderán la bomba sumergible desplazando el agua a través de unos tubos por los sectores donde se realizó la siembra , esta permanecerá encendida durante 14 segundos y después se apaga, se espera diez segundos para que el sensor pueda realizar una lectura más exacta y en caso de que la humedad continúe siendo menor a 60 se repetirá el proceso, de lo contrario la bomba permanecerá apagada y se desactivara la habilitación finalizando el proceso

6.9.2.9 Sistema de iluminación

En la Figura 29 se ilustra el diagrama de flujo del sistema de iluminación

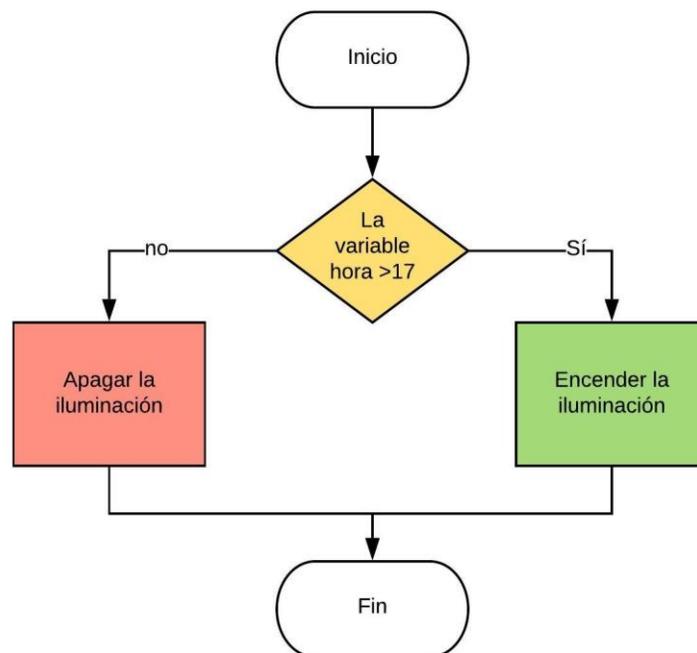


Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de iluminación

En la programación de la variable de luminosidad se fijó el encendido de las lámparas de 6:00 pm a 12:00 am. Teniendo en cuenta que, la lechuga es un cultivo de día largo se establecieron 6 horas más de iluminación artificial y se garantizaron las 6 horas de descanso que requiere la planta

6.9.2.10 Sistema de ventilación

En la Figura 30 se ilustra el diagrama de flujo del sistema de ventilación

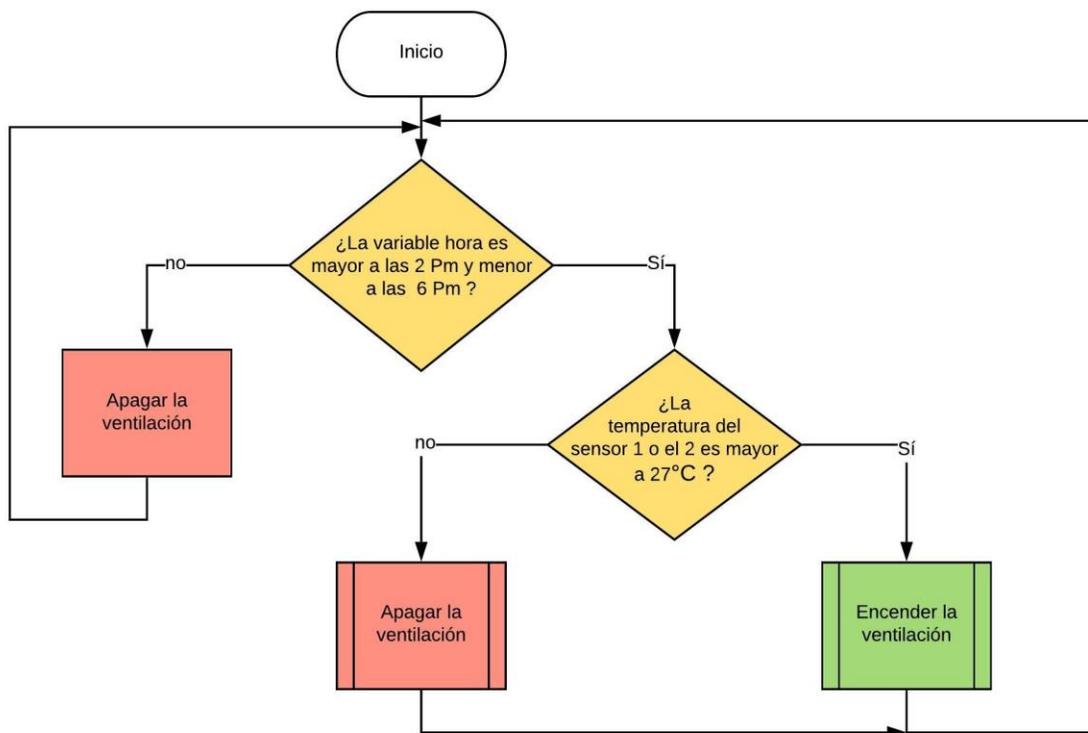


Figura 30. Diagrama del sistema de ventilación

Para el sistema de ventilación se programó un tiempo de encendido que corresponde a los momentos donde se genera la más alta temperatura de acuerdo con los valores registrados por el

sensor, una vez dentro de este rango de tiempo se observara si los sensores BME280 registran valores mayores a 27 grados, de ser así se encenderá un ventilador para disminuir la temperatura

6.10 Enrutador

A continuación, se describirá todo el proceso efectuado en el enrutador GL.inet GL-AR150 durante este proyecto.

6.10.1 Expansión de memoria

El enrutador tiene una memoria insuficiente para poder instalar y ejecutar las aplicaciones requeridas para el funcionamiento del sistema por lo cual con este proceso se incrementa el almacenamiento utilizando una memoria USB.

En la memoria USB se generaron tres particiones, dos de 1G para el extroot y Swap, y una con el espacio sobrante para almacenamiento auxiliar. En la Figura 31 se muestra la partición que se realizó en la memoria.

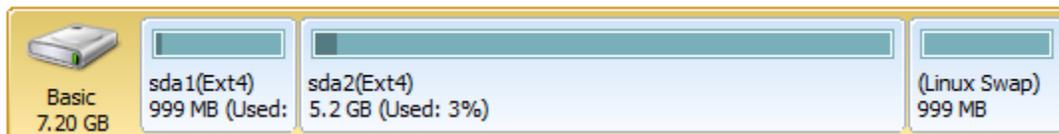


Figura 31. Partición de la memoria

Inicialmente se requiere la instalación el paquete Block-mount, este permitirá montar y verificar los dispositivos en el enrutador. En la Tabla 11 se muestran los comandos correspondientes a su instalación.

Tabla 11 Comandos de instalación del paquete block-mount

Comandos	Descripción
<i>Opkg update</i>	Actualiza los paquetes en el sistema
<i>Opkg install Block-mount</i>	Instala el paquete Block-mount

Para montar el dispositivo de almacenamiento se creó el script `make_extroot.bat` en el directorio `etc`. en el anexo 1 se muestra el contenido de este. Y en la Tabla 12 se muestran los comandos para ejecutarlo.

Tabla 12 Comandos de ejecución del script `make_extroot.bat`

Comandas	Descripción
<i>chmod +x /etc/make_extroot.bat</i>	Concede permiso de ejecución al script <code>make_extroot.bat</code>
<i>/etc/make_extroot.bat</i>	Ejecuta el script <code>make_extroot.bat</code>

Para habilitar la memoria de la USB con el enrutador se editó el archivo `fstab` ubicado en `/etc/config/` como se presenta en el anexo 2. Una vez modificado se debe reiniciar el enrutador para finalizar este proceso.

6.10.2 Instalación de PHP

En la Tabla 13 se muestran los comandos necesarios para la instalación del lenguaje de programación PHP.

Tabla 13 Comandos de instalación de los paquetes de php

Comandos	Descripción
<code>opkg install update</code>	Actualiza la lista de paquetes disponibles
<code>opkg install Php7</code>	Estos paquetes contienen los archivos de configuración de PHP
<code>opkg install Php7-cgi</code>	
<code>opkg install Php7-mod-gd</code>	
<code>opkg install Php7-mod-mbstring</code>	
<code>opkg install Php7-mod-session</code>	
<code>opkg install php7-mod-pdo-pgsql</code>	
<code>opkg install php7-mod-pgsql</code>	
<code>opkg install Zoneinfo-southamerica</code>	

Nota: (OpenWrt, 2020).

Para terminar la instalación se editó el fichero `php.ini` ubicado en el directorio `etc` y el fichero `uhttpd` ubicado en `/etc/config/`. En el anexo 3 y anexo 4 respectivamente se muestran los cambios realizados a estos. Para finalizar el proceso se reinicia el servidor `http` con el comando mostrado en la Tabla 14.

Tabla 14 Comando de reseteo del servidor http

Comando	Descripción
<code>/etc/init.d/uhttpd restart</code>	Resetea el servidor http

6.10.3 Postgresql

Es un sistema de gestión de bases de datos objeto-relacional, es distribuida bajo la licencia de BSD, y utiliza un modelo cliente/servidor. Este utiliza multiprocesos lo que proporciona una

mayor estabilidad al sistema. y los datos que se almacenan en estas tablas pueden relacionarse unas con otras (Zes Ordoñez, Molina Rios, & Redrovan Castillo, 2017).

6.10.3.1 Instalación e inicialización de La base de Datos

Para realizar la instalación y configuración de la base de datos PostgreSQL inicialmente se instalaron los paquetes `pgsql-server` y `shadow-su`. En la Tabla 15 se muestran los comandos correspondientes.

Tabla 15 comandos de instalación de los paquetes `pgsql-server` y `shadow-su`

Comando	Descripción
<code>Opkg install update</code>	Actualiza la lista de paquetes disponibles
<code>Opkg install postgresql-server</code>	Instala los paquetes para la base de datos
<code>Opkg install shadow-su</code>	Instala el paquete <code>shadow-su</code> . Permite el cambio entre usuarios y superusuarios

Posteriormente se deben configurar las rutas para guardar los datos y enviar los mensajes de error. Para esto se editó el archivo `postgresql` en la dirección `/etc/config` como se muestra en el Anexo 5: Archivo `/etc/config/postgresql`. Y finalmente utilizan los comandos en la Tabla 16 se inicializa la base de datos PostgreSQL.

Tabla 16 Inicialización de la base de datos PostgreSQL

Comando	Descripción
<code>mkdir -p /mnt/data/postgresql/data.</code>	creará el directorio donde se guardará la información de la base de datos
<code>chown postgres /mnt/data/postgresql/data/</code>	Hace ejecutable el directorio <code>data</code>

Comando	Descripción
<code>sed -i "s /var/run/postgres:/bin/false /var/run/postgres:/bin/sh " /etc/passwd</code>	Designa una carpeta temporal Para la inicialización de la base de datos
<code>mkdir -p /var/run/postgres</code>	Crea una carpeta temporal para la inicialización de la base de datos
<code>su - postgres</code>	Realiza el Cambio al superusuario postgres. El cuál es el usuario definido para utilizar la base de datos
En este punto debe aparecer los siguiente en pantalla: <code>postgres@OpenWrt:/tmp/run/postgres\$ LC_COLLATE="C" initdb --pwprompt -D /mnt/data/pgsql/data/</code> . Se da enter para empezar el proceso de inicialización de la base de datos, durante este pedirá una contraseña para el superusuario postgres.	
<code>/etc/init.d/postgresql start</code>	Inicia la base de datos postgresQL

6.10.4 Descripción de la tabla

Para realizar el guardado de los datos del sistema se creó la base de datos `huertodb`, el usuario `hebd` y la tabla `t_sensores`, esta tabla tendrá 9 columnas las cuales corresponden a:

- `Id`: Identificar de los datos
- `Temp1`: Muestreo del valor de temperatura del primer sensor BME280.
- `Temp2`: Muestreo del valor de temperatura del segundo sensor BME280.
- `Hum_relativa1`: Muestreo del valor de humedad relativa del primer sensor BME280.
- `Hum_relativa2`: Muestreo del valor de humedad relativa del segundo sensor BME280.
- `Hum_suelo1`: Muestreo del valor de humedad de suelo del primer sensor sku: `sen0193`

- Hum_suelo2: Muestreo del valor de humedad de suelo del segundo sensor sku: sen0193.
- Fecha: Corresponde a la fecha que tenga el enrutador cuando el dato fue recibido.
- Hora: Corresponde a la hora en la que el dato es tomado.
- Minuto: Corresponde al minuto en la que el dato es tomado.

En la Figura 32 se muestra la estructura de la tabla.

id	templ	temp2	hum_relativa1	hum_relativa2	hum_suelo1	hum_suelo2	fecha	hora	minuto
1	27.98	28.17	60.87	62.87	62.56	73.75	2020-01-29	10	50
2	27.78	28.02	61.35	61.07	57.5	65.7	2020-01-29	23	0
3	27.89	28.09	60.65	61.15	57.5	65.25	2020-01-29	23	10
4	27.82	28.02	60.74	60.97	55.2	61.2	2020-01-29	23	20
5	27.71	27.93	59.75	61.34	62.56	68.85	2020-01-29	23	30
6	27.65	27.85	62.49	60.94	60.72	65.7	2020-01-29	23	40
7	27.66	27.86	60.5	61.35	58.42	63.45	2020-01-29	23	50
8	27.63	27.83	61.26	60.96	60.26	65.7	2020-01-30	0	0
9	27.16	27.34	61.68	62.91	57.96	63.9	2020-01-30	0	10
10	27.01	27.19	62.67	63	58.42	64.8	2020-01-30	0	20
11	27.06	27.21	63.11	64.69	57.96	63.9	2020-01-30	0	30
12	26.9	26.99	62.52	63.57	63.02	65.7	2020-01-30	0	40
13	26.82	26.93	62.4	64.44	59.34	64.35	2020-01-30	0	50
42	25.73	25.83	63.82	64.49	51.06	57.6	2020-01-30	5	40
43	25.68	25.79	64.06	64.51	50.6	57.6	2020-01-30	5	50
44	25.68	25.76	64.63	64.7	51.52	59.4	2020-01-30	6	0
45	25.64	25.74	63.98	64.61	51.98	58.5	2020-01-30	6	10
46	25.75	25.84	64.02	64.7	50.6	56.7	2020-01-30	6	20
47	25.78	25.85	64.69	65.66	51.98	59.4	2020-01-30	6	30
48	25.66	25.73	64.61	66.07	51.98	59.4	2020-01-30	6	40
49	25.56	25.65	65.32	65.92	50.6	57.6	2020-01-30	6	50

Figura 32. Base de datos huerto

6.10.5 Diagrama de la programación del PHP

6.10.5.1 Toma y envío de datos a la tabla general

La Figura 33 muestra el proceso correspondiente a la toma y envío de datos a la tabla general. En el proceso definido como Conexión al microcontrolador, se reciben los datos de las variables de temperatura, humedad relativa y humedad de suelo de los sensores conectados al NODEMCU, inicialmente se revisa si los datos recibidos no están vacíos, de no ser así se asignan a variables propias del lenguaje PHP, para evitar datos erróneos por la desconexión de algún sensor se observa si los valores son correspondientes a sus respectivas variables, una ves

corroborado esto se realiza la revisión de la fecha de llegada del dato antes de guardar estos en la tabla t_sensores.

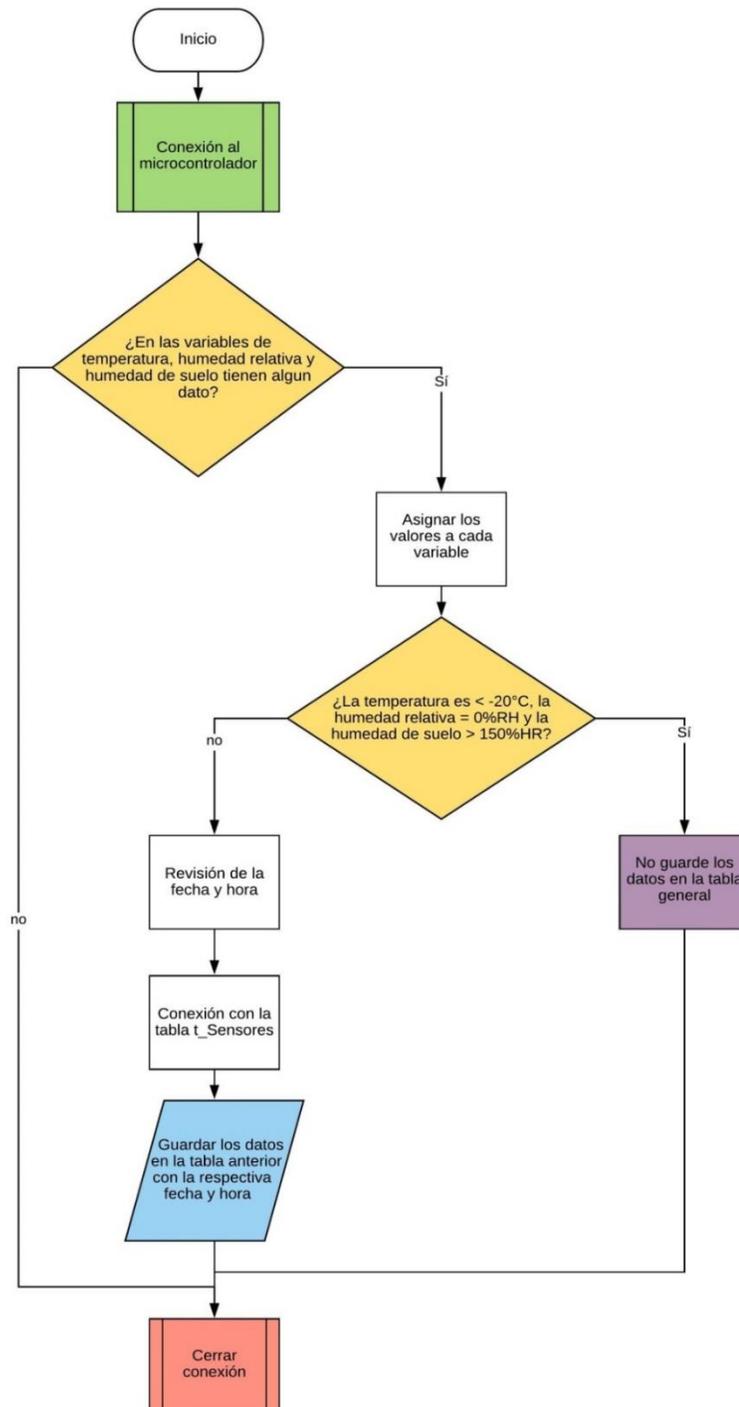


Figura 33. Diagrama de programación en PHP

6.10.5.2 Inicio de la página web

En la Figura 34 se ilustrará el diagrama de flujo correspondiente a la página de inicio del servidor web.



Figura 34. Diagrama de la página web de inicio

En la página de inicio del servidor web se muestran 4 imágenes correspondientes a la tabla general o a las gráficas de temperatura, humedad de suelo o humedad relativa. Cada imagen tiene un hipervínculo que conecta al usuario con las páginas para observar las gráficas o la tabla general.

6.10.5.3 Código para seleccionar la fecha

En la Figura 35 se ilustra el diagrama de flujo correspondiente a los menús de selección de la fecha.

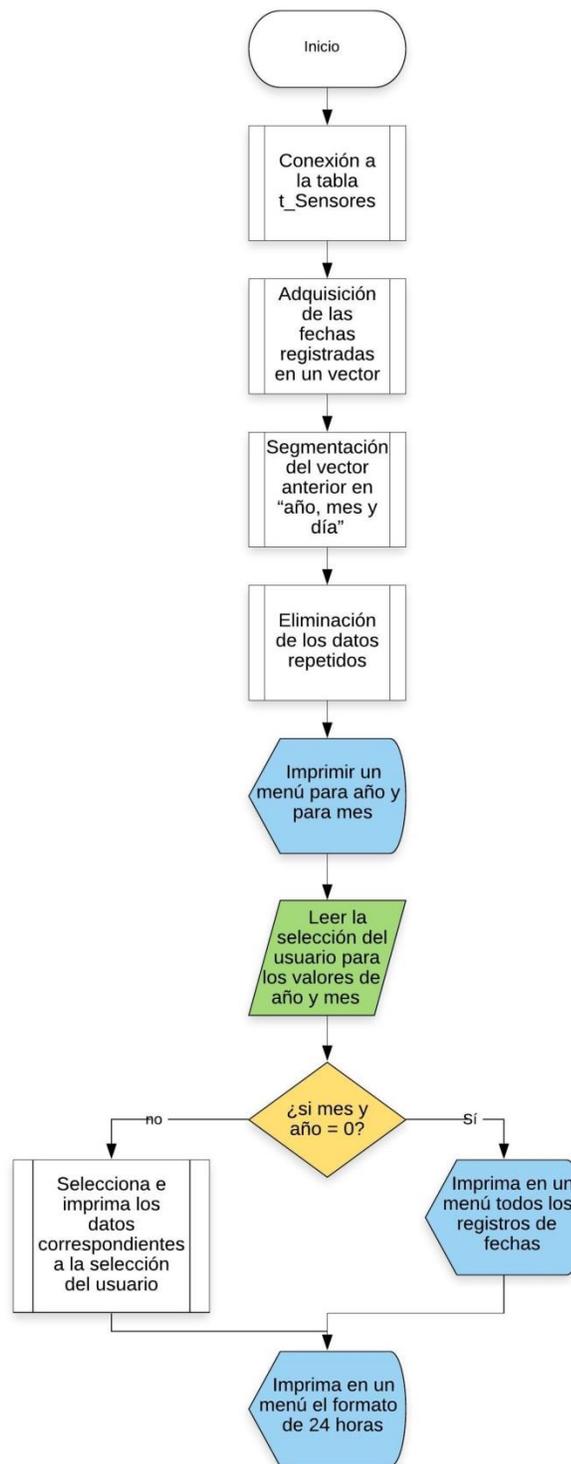


Figura 35. diagrama del código para seleccionar fecha

Para la observación de los datos se generaron 4 menús correspondientes al año, mes, fecha y hora, para llenar estos menús se realiza una conexión con la tabla `t_sensores` para guardar todas las fechas registradas en un vector, Inicialmente se eliminan los datos repetidos, después se divide este vector en tres vectores correspondientes a los datos de día, mes y año. El menú de año se llena automáticamente con los valores del vector de año y el de mes se llenó manualmente con los doce meses, de acuerdo a la selección que realice el usuario el menú de fecha se llenara automáticamente con los valores coincidentes a los seleccionados en mes y año, para el menú de hora el llenado se realizó manualmente con un formato de 24 horas.

6.10.5.4 Interacción con el usuario

En la Figura 36 se ilustra el diagrama de flujo correspondiente a la impresión de los datos de la tabla general.

Inicialmente se observa la elección del usuario en el menú de la fecha y hora, estos valores son guardados en variables del lenguaje PHP para compararlas con todos los datos en la tabla `t_sensores`, se seleccionan e imprimen en la tabla los coincidentes.

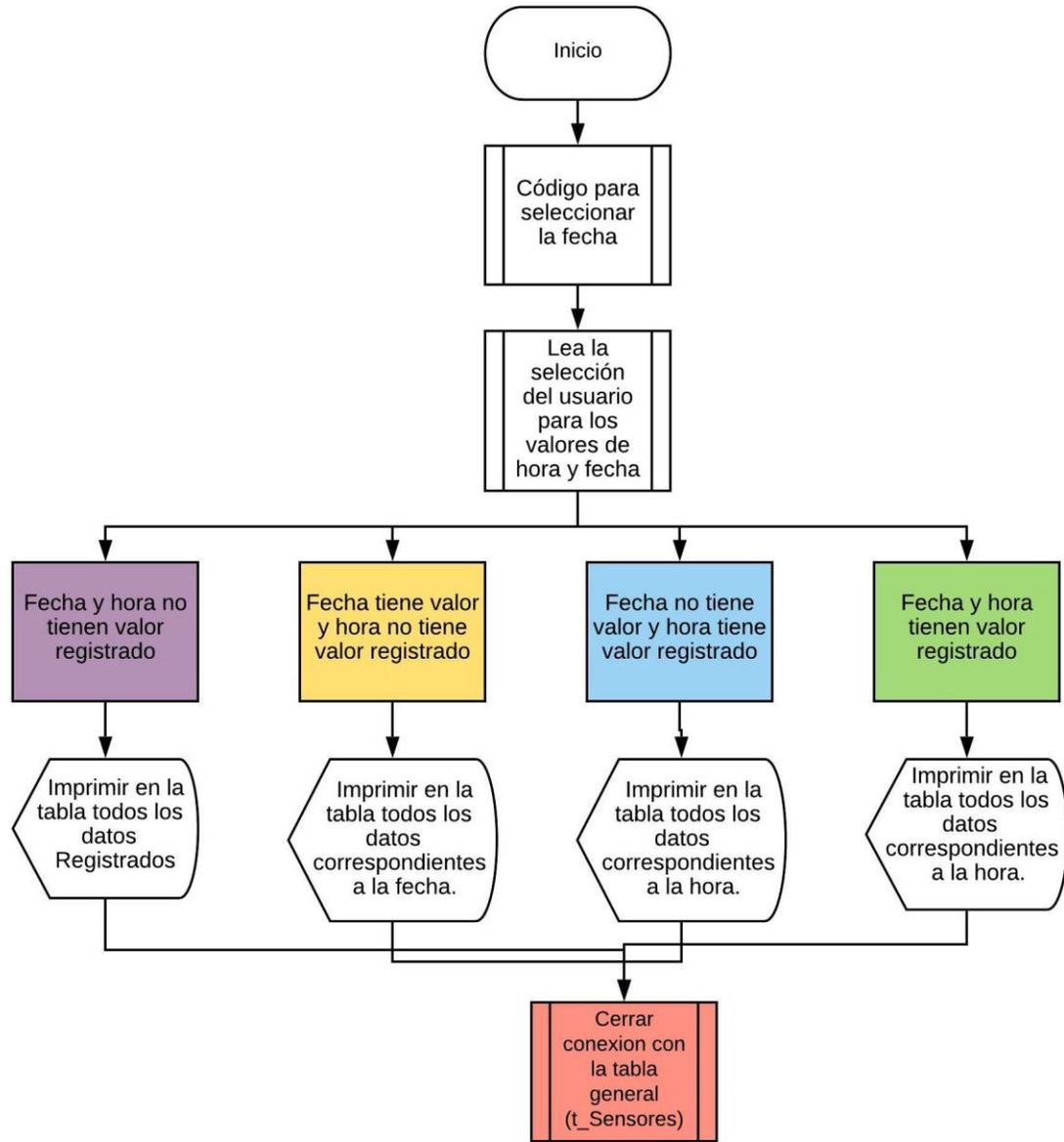


Figura 36. Diagrama de flujo de interacción con el usuario

6.10.5.5 Gráficos de variables

En la Figura 37 se ilustra el diagrama de flujo correspondiente a la visualización de las graficas

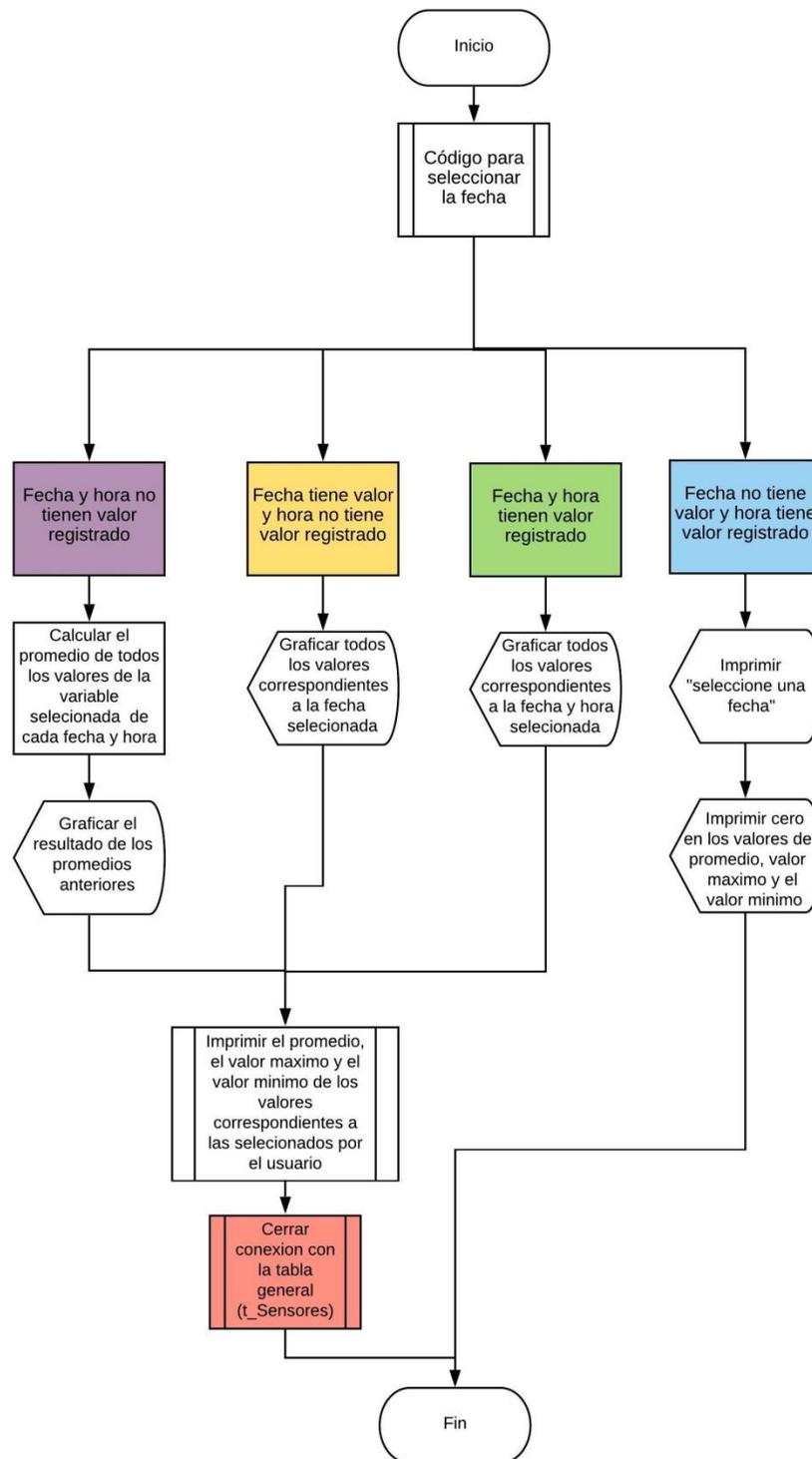


Figura 37. diagrama de flujo del grafico de las variables

La visualización de la gráfica dependerá de la variable del sensor que se desea monitorear y de los menús de fecha y hora, Inicialmente se observa la elección del usuario en estos menús guardando los valores en variables del lenguaje PHP, si en la variable correspondiente a la fecha no hay selección, pero en la de hora si, se imprimirá un mensaje solicitándole al usuario que seleccione una fecha. De lo contrario se compararán con los datos de la variable fecha con las fechas registradas en la tabla `t_sensores`, en las fechas coincidentes se extraerán los datos de la variable a monitorear. Y finalmente se procederá realizar el grafico. En la Figura 38 se mostrará el diseño de la gráfica

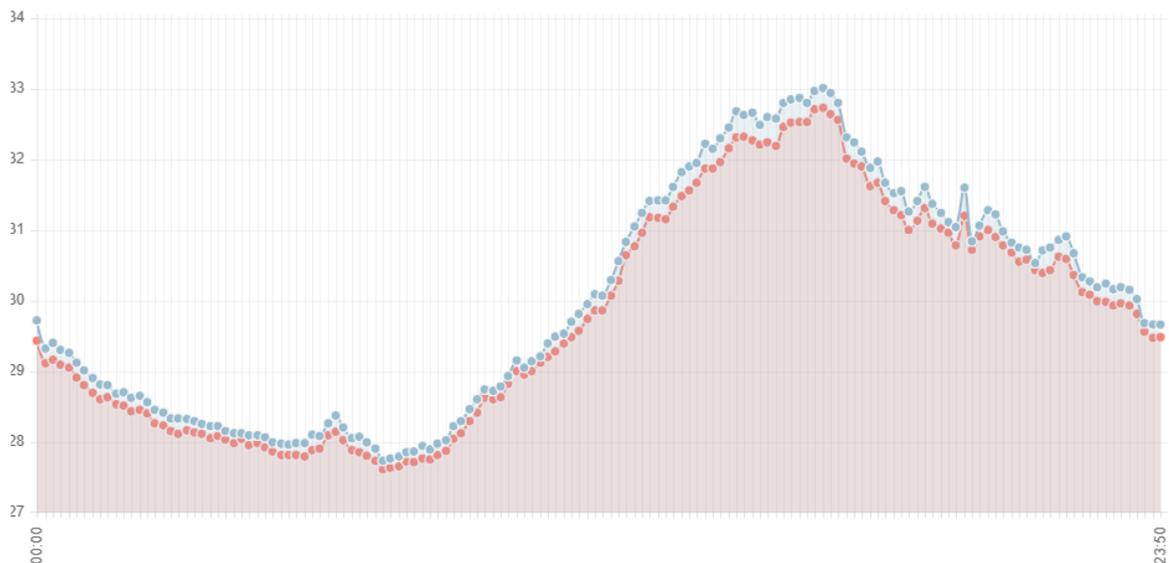


Figura 38. Estructura de la grafica

7 Pruebas y Resultados

Para verificar el funcionamiento del sistema, se comparan las mediciones de los sensores con sensores base, la marcha de la bomba sumergible y de la iluminación con respecto a la programación.

En la cama de siembra se distribuyeron los sensores en dos áreas para que cada sensor cubra los parámetros en la totalidad de la cama de sembrado. Estos sensores se conectan a un microcontrolador el cual recibe la señal y los trasmite al servidor web, desde el microcontrolador se organiza la activación y desactivación de los actuadores. En la Figura 39 se ilustra la cama de sembrado



Figura 39. Cama de sembrado

7.1 Pruebas del sensor BME280 - Temperatura

Antes de implementar en el proyecto, se verificó el funcionamiento de este sensor en cuanto a su desempeño para diferentes temperaturas, comparándolo con la termocupla tipo K del multímetro digital DT-838H que se observa en la Figura 40.



Figura 40. Multímetro digital DT-838H

Las especificaciones de la termocupla son:

- Tipo K
- Rangos de -40°C a 150°C
- Resolución de 1°C
- Exactitud de $\pm (1\%+4)$ (Hi-tronic)

En la Tabla 17 presentan los datos tomados tanto para el sensor 1 como para el sensor 2.

Tabla 17 Cita paráfrasis o no textual, dentro de paréntesis

# de datos tomados	Temperatura sensor 1 °C	Temperatura sensor 2 °C	Termocupla	Error sensor 1	Error sensor 2
1	20,5	20,51	21	2,38	2,33
2	25,27	25,86	24	5,29	7,75
3	24,79	25,04	25	0,84	0,16
4	26,77	28,12	26	2,96	8,15
5	26,95	26,93	28	3,75	3,82
6	29,52	29,7	31	4,77	4,19
7	30,53	30,45	32	4,59	4,84
8	32,9	32,8	33	0,30	0,61
9	31,29	31,27	34	7,97	8,03
10	35,14	35,14	37	5,03	5,03

En la Figura 41 se ilustra la comparación entre los dos sensores BME280y la termocupla

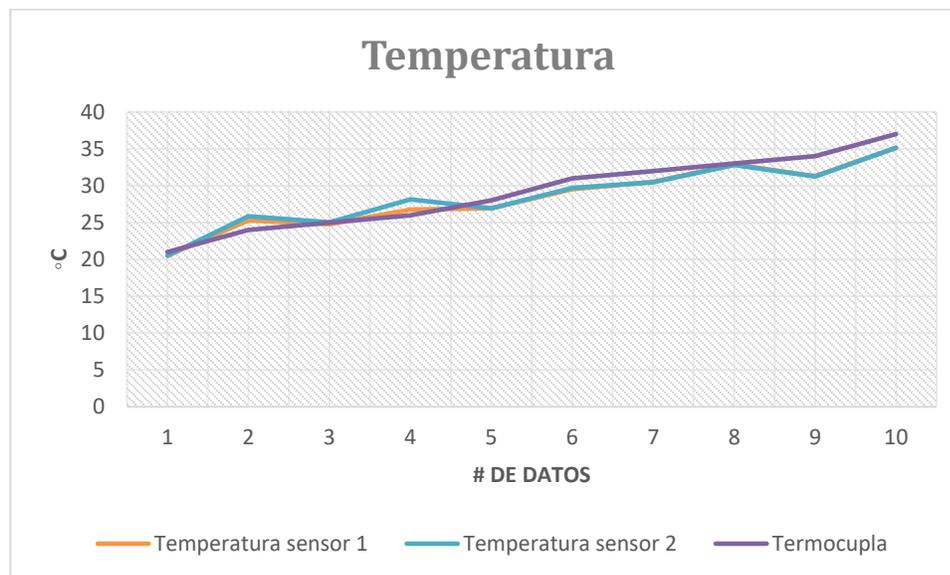


Figura 41. Temperatura registrada por el sensor BME280 y la termocupla

7.2 Pruebas del sensor SEN0193 – Humedad de suelo

Antes de implementar en el proyecto, se verificó el funcionamiento de este sensor en cuanto a su desempeño para diferentes Humedades de suelo, comparándolo con el dispositivo Tester medir PH y humedad de suelo y luz que se observa en la Figura 42



Figura 42. Tester medir PH y humedad de suelo y luz

Nota: Fuente: <https://cutt.ly/CrObsXM>

Las especificaciones del Tester medir PH y humedad de suelo y luz son:

- Rangos 0-100%HR
- Resolución 1%HR

En la Tabla 18 se presentan los datos tomados tanto para el sensor 1 como para el sensor 2.

Tabla 18 Cita paráfrasis o no textual, dentro de paréntesis

# de datos tomados	Humedad suelo 1 (%HR)	Humedad suelo 2 (%HR)	Tester medidor de humedad de suelo (%HR)	Error sensor 1 (%)	Error sensor 2 (%)
1	26,1	27,52	23	13,48	19,65
2	44,16	43,1	42	5,14	2,62
3	64,1	64,8	61	5,08	6,23
4	83,1	83,11	88	5,57	5,56
5	91,63	89,35	91	0,69	1,81

En Figura 43 se ilustra la comparación entre los dos sensores SEN0193 y el Tester medir PH y humedad de suelo y luz

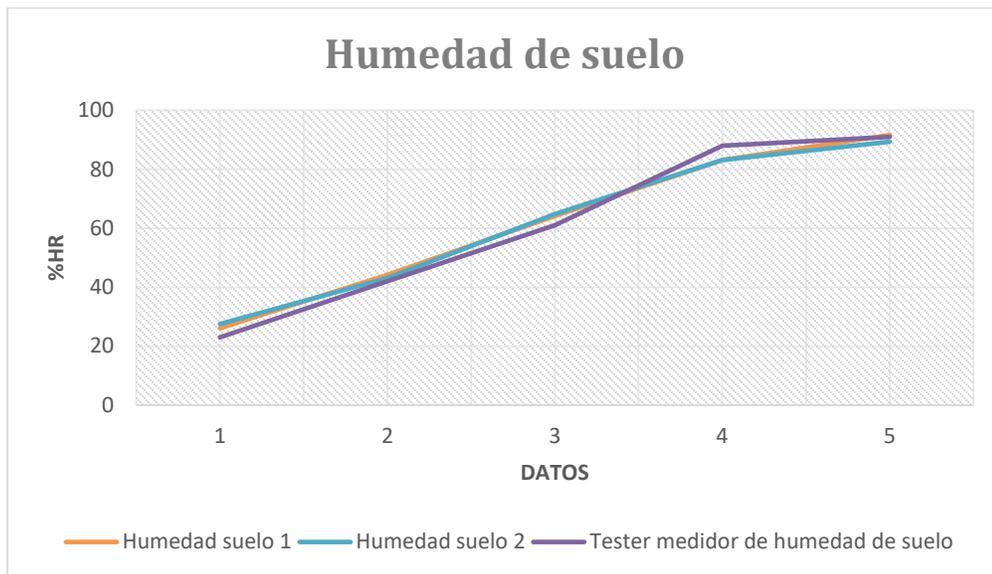


Figura 43. Humedad de suelo registrada por el sensor 1 y el sensor 2 y el tester medidor de PH humedad de suelo y luz

En la Figura 44 se ilustra la ubicación de los sensores en el huerto

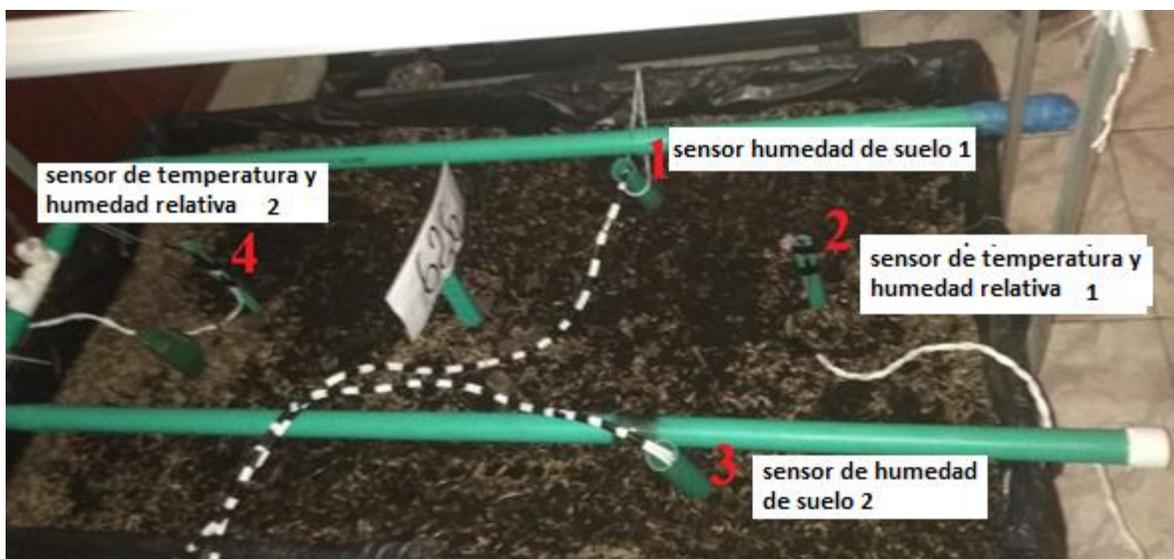
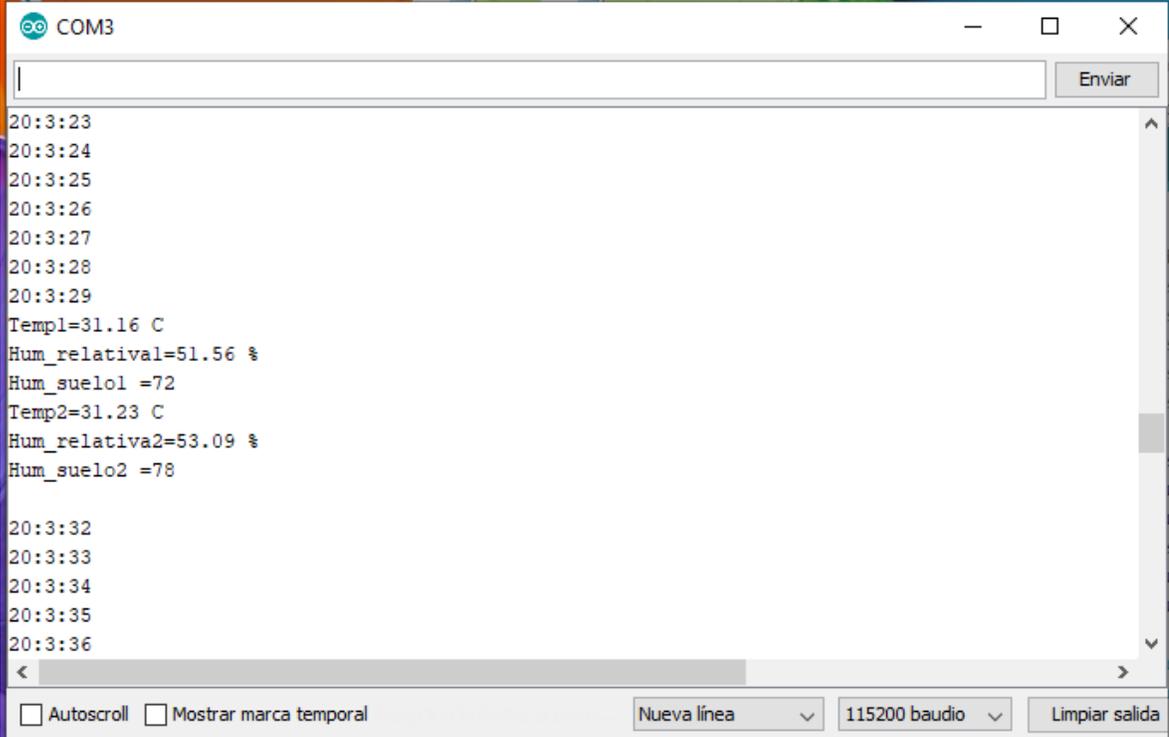


Figura 44. Ubicación de los sensores en el huerto

En la Figura 45 se ilustra las variables censadas por los BME280 y SEN0193



```
COM3
20:3:23
20:3:24
20:3:25
20:3:26
20:3:27
20:3:28
20:3:29
Temp1=31.16 C
Hum_relativa1=51.56 %
Hum_suelo1 =72
Temp2=31.23 C
Hum_relativa2=53.09 %
Hum_suelo2 =78

20:3:32
20:3:33
20:3:34
20:3:35
20:3:36
```

Autoscroll Mostrar marca temporal Nueva línea 115200 baudio Limpiar salida

Figura 45. Variables censadas.

7.3 Conectividad del microcontrolador

Para comprobar si el microcontrolador se está conectando a la red de internet propia del sistema se imprimen los datos de la dirección IP donde está ubicado el servidor.

En la Figura 46 ilustra la conectividad del microcontrolador a la dirección IP del servidor.

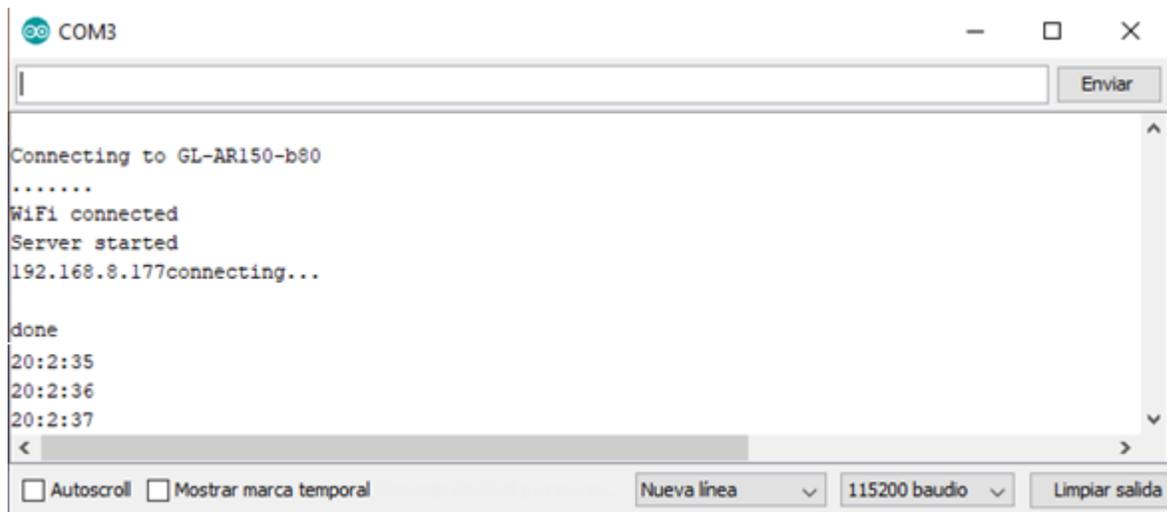


Figura 46. Conectividad del sensor a la red y al servidor web correctos

7.4 Prueba del servidor web

Para comprobar esta sección se accede a la dirección <http://192.168.8.1/huertocode/inicio.php> la cual dirige a una página web con la interfaz de visualización de los datos por medio de graficas por cada variable y la tabla general donde se encuentra todas las variables con la respectiva hora en las que fueron enviadas al servidor web

En la Figura 47 se ilustra la interfaz gráfica de la página web.

En la Figura 49 se ilustra la gráfica de la variable Humedad de suelo



Figura 49. Grafica de los valores de humedad de suelo

En la Figura 50 se ilustra la gráfica de la variable Humedad Relativa



Figura 50. Grafica de los valores de humedad relativa

En la Figura 51 ilustra la Tabla general con las variables de humedad relativa de suelo temperatura fecha y hora.

ID	Temp1	Temp2	Hum_R1	Hum_R2	Hum_S1	Hum_S2	Fecha	Time
1	27.98	28.17	60.87	62.87	62.56	73.75	2020-01-29	10:50
2	27.78	28.02	61.35	61.07	57.5	65.7	2020-01-29	23:0
3	27.89	28.09	60.65	61.15	57.5	65.25	2020-01-29	23:10
4	27.82	28.02	60.74	60.97	55.2	61.2	2020-01-29	23:20
5	27.71	27.93	59.75	61.34	62.56	68.85	2020-01-29	23:30
6	27.65	27.85	62.49	60.94	60.72	65.7	2020-01-29	23:40
7	27.66	27.86	60.5	61.35	58.42	63.45	2020-01-29	23:50
8	27.63	27.83	61.26	60.96	60.26	65.7	2020-01-30	0:0
9	27.16	27.34	61.68	62.91	57.96	63.9	2020-01-30	0:10
10	27.01	27.19	62.67	63	58.42	64.8	2020-01-30	0:20
11	27.06	27.21	63.11	64.69	57.96	63.9	2020-01-30	0:30
12	26.9	26.99	62.52	63.57	63.02	65.7	2020-01-30	0:40
13	26.82	26.93	62.4	64.44	59.34	64.35	2020-01-30	0:50
14	26.81	26.91	62.53	64.48	57.5	62.55	2020-01-30	1:0
15	26.82	26.89	62.44	64.52	58.42	64.35	2020-01-30	1:10
16	26.79	26.9	62.76	65.44	57.5	62.1	2020-01-30	1:20
17	26.74	26.82	62.85	64	56.12	61.65	2020-01-30	1:30
18	26.69	26.78	62.94	63.94	56.12	61.2	2020-01-30	1:40
19	26.65	26.78	62.81	64.01	55.2	61.2	2020-01-30	1:50
20	26.62	26.72	63.17	63.93	55.66	60.3	2020-01-30	2:0

Figura 51. Grafica de los valores de las variables de humedad Relativa humedad del suelo y temperatura con la fecha y hora de envío

7.5 Prueba del sistema de iluminación

Las pruebas para el sistema de iluminación se basaron verificar que las lámparas se encendieran en el tiempo estipulado en la programación y se apagaran después de que transcurrieran 6 horas.

En la Figura 52 se ilustra el sistema de iluminación funcionando



Figura 52. Sistema de iluminación

7.6 Prueba del sistema de riego

Las pruebas para el sistema de riego consistieron en modificar manualmente el valor de humedad del sensor y ver que realizaran correctamente la activación de la bomba bajo los parámetros programados. En la Figura 53 se muestra el sistema de riego en funcionamiento.



Figura 53. Sistema de riego

7.7 Prueba del sistema de ventilación

Las pruebas para el sistema de ventilación consistieron en activar un ventilador en determinados momentos, de acuerdo con un registro que se tomó inicialmente por parte de los sensores donde estos registraban unas de las temperaturas más altas a lo largo del día, teniendo en cuenta esto se hizo una comparación de la variable antes y después de la activación del sistema. en la Figura 54 se muestra el registro de la temperatura sin el sistema de ventilación activo

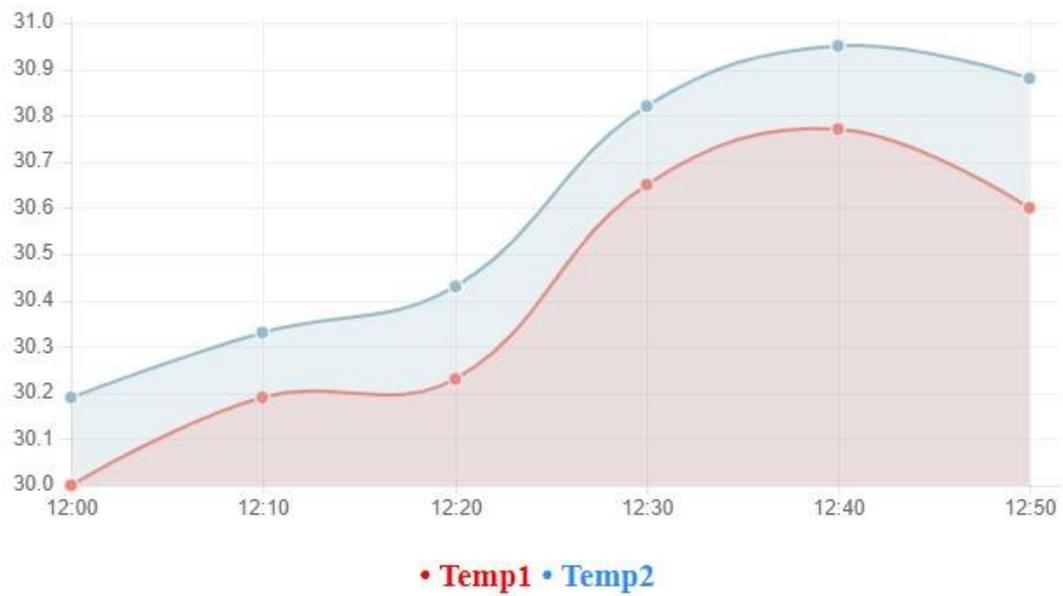


Figura 54. temperatura sin el sistema de ventilación

En la Figura 55 se muestra el registro de la temperatura con el sistema de ventilación activado

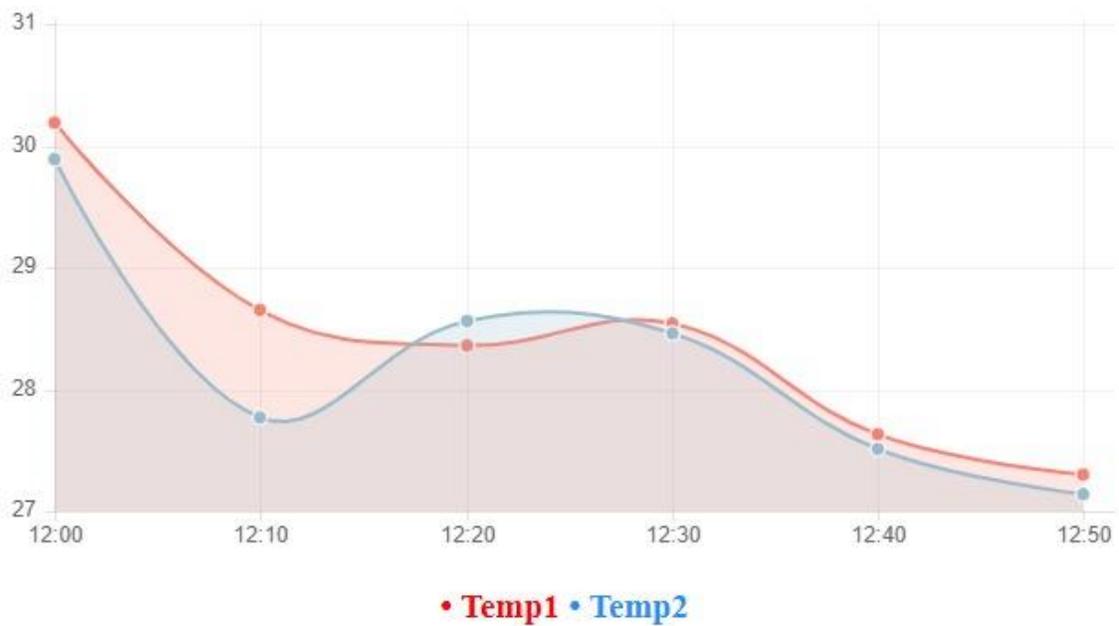


Figura 55. Comparación de la temperatura al activar el sistema de ventilación

8 Conclusiones.

- Con la información obtenida sobre los cultivos de lechuga se estableció una dosificación en el sistema de riego de 13 litros durante 3 meses, se agregó 6 horas de luz artificial y se implementó un actuador que permitió el control de la temperatura para el desarrollo del huerto.
- Utilizando la plataforma NODEMCU, un enrutador compatible con OpenWrt y sensores de bajo consumo desarrolló un sistema que supervisa las variables de temperatura, humedad de suelo y humedad relativa.
- El constante monitoreo de las variables permite recopilar información acerca del estado del cultivo y que acciones tomar para ayudar al proceso de desarrollo.
- La implementación de un servidor web en un enrutador con OpenWrt no afecta la capacidad de navegación de los dispositivos conectados a éste.
- La centralización del sistema en un enrutador con OpenWrt permite el almacenamiento de la información y facilita la visualización de las variables mediante páginas web.
- Evaluando las diferentes opciones que proporciona el firmware OpenWrt, la base de datos PostgreSQL y el lenguaje de programación PHP, se estableció que el mejor funcionamiento del sistema se obtiene al utilizar el enrutador para guardar y visualizar el comportamiento de los valores de temperatura, humedad de suelo y humedad relativa, mientras que en el sistema embebido NODEMCU se mantendrían fijos los parámetros de control óptimos para un huerto de lechuga.

- Utilizando el lenguaje de programación PHP se puede realizar una conexión con la base de datos, además de permitir la visualización de las variables mediante tablas o graficas a través de páginas web.

9 Recomendaciones y Trabajos Futuros.

- Establecer una red VPN para visualizar los datos sin necesidad de estar conectado a la red local.
- Adicionar una alarma que indique cuando el contenedor de agua tiene un nivel insuficiente para el funcionamiento correcto del sistema de riego.
- Agregar una pantalla LCD para visualizar las variables sin necesidad de entrar a la página web.
- Aislar el huerto para tener un manejo completo de las variables

10 Referencias Bibliográficas.

- Gauchat , J. D. (2012). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Gran Via de les Corts Catalanes: marcombo.
- Guzmán Soriano, J. A., & Zans, J. C. (24 de junio de 2012). Código abierto, estándares abiertos y OpenDocument. En *Guía de comienzo de OpenOffice.org* (pág. 9). Libre Office.
- Medina, Á. d. (2004-2005). *CREACIÓN DEL NÚCLEO DE UN SERVIDOR WEB*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.
- OpenClassrooms . (11 de 09 de 2017). *Que es el desarrollo web* . Recuperado el 20 de 01 de 2020, de <https://blog.openclassrooms.com/es/2017/09/11/que-es-el-desarrollo-web/>
- Acosta, A., & Aguilar, A. (Julio 2015). Automatización De Bajo Costo Utilizada En La Producción Agrícola En Invernaderos Y Huertos Caseros. *13th LACCEI Annual International Conference* (págs. 1-9). Santo Domingo: LACCEI.
- Al-Bahadly, I., & Thompso, J. (2015). Garden Watering System Based on Moisture Sensing. *9th International Conference on Sensing Technology (ICST)*. Auckland: IEEE.
- Alonso Martinez, M. (2011). BASE DE DATOS Y CONOCIMIENTO. En M. Alonso Martinez, *CONOCIMIENTO Y BASES DE DATOS: UNA PROPUESTA DE INTEGRACION INTELIGENTE* (pág. 78). Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Aosong Electronics Co.,Ltd. (s.f.). Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22.
- Aprendiendo Arduino*. (13 de noviembre de 2016). Obtenido de Bus SPI: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/bus-spi/>
- Arce, A. (2018). *Programación PHP*.

Arias Alvarez, A. (2010). direccionamiento ip en el aula de informatica. *temas para la educacion*, 13.

automatica, i. d. (2004). *Sistemas Automáticos*. universidad de oviedo.

Bitajor. (2008-20019). *CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA*. Obtenido de ARTICULO 75: <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-75>

Bosch Sensortec. (2014). *BME280 Combined humidity and pressure sensor*. Reutlingen, Alemania: Bosch Sensortec GmbH.

Bosch Sensortec. (2015). *BME280 Combined humidity and pressure sensor*. Reutlingen: Bosch Sensortec.

Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193. (2017).

Casillas Santillan , L. A., Gibert Ginesta , M., Perez Mora, O., Camps Paré, R., Costal Costa, D., & Martín Escofet, C. (2007). Base de datos en MySQL. En *Bases de datos: Software libre* (pág. 460). barcelona.

CEJA, J. . (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas . *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 13.

Chmielewski, M., Szyszkowski, P., & Piechowiak, M. (2012). Application of IP Multicast in Embedded Systems. *IET International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing* (págs. 1-5). 8th IEEE.

Cisco Systems, Inc. (2012). *Lo que usted necesita saber sobre routers y switches(Conceptos generales)*. Recuperado el 18 de 01 de 2020, de <https://cutt.ly/BrSt9Ks>

Comunicaciones, M. d. (2009). *RESOLUCION NUMERO 002544*. Bogota : Repuclia de Colombia.

- Corredor Camargo , O. f., Pedraza Martinez, L. F., & Hernandez, C. A. (2009). *TECNOLOGÍA BLUETOOTH: ALTERNATIVA PARA REDES*. Revista Visión Electrónica.
- Creus Solé, A. (2005). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.
- Cypress Embedde Tomorrow. (2017). *Programmable System-on-Chip (PSoC)*. San Jose: Cypress Embedde Tomorrow.
- Debets Schalke Green House Projects. (2019). *Sistema de cultivo*. Obtenido de <https://www.debetsschalke.com/es/instalaciones-de-invernadero/sistema-de-cultivo>
- Echevarría, Á. M. (2002). *MANUAL PRÁCTICO DE HTML*. Madrid, España.
- Enríquez Herrador, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Espressif Systems. (2019). *ESP32 Series Datasheet*. Shangai: Espressif Systems.
- Felici Castell, S. (2019). Capítulo 5 Sistemas operativos. En S. Felici, *fundamentos en telematica*. (Ingeniería Telemática).
- Glaría, J., & Kouro, S. (2001). *sensores de humedad*.
- Gonzalez Barahona, J., Pascual,, J., & Robles., G. (2004). *Software libre: licencias y propiedad intelectual*.
- Hi-tronic. (s.f.). *OPERATOR'S INSTRUCTION MANUAL DIGITAL MULTIMETER*. Hi-tronic.
- Humirel. (2002). *Relative Humidity Sensor* .
- Ing. Agr. MSc. Miserendino, E., & Ing. Agr. Astorquizaga., R. (2014). *Invernaderos: aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Inzunza, J. (2006). *Meteorología descriptiva*. Obtenido de Universidad de Concepción: <http://www2.dgeo.udec.cl/juaninzunza/docencia/docencia.html>
- Jimenez, C. (2005). *CURSO DE INICIACIÓN WI-FI*. santander.

- Kanjaa, Z. Z. (2018). *Diseño y despliegue de un sistema de monitorización de red para gestión de fallos y rendimiento*. escuela técnica superior de ingeniería y sistemas de telecomunicaciones .
- Lab-Volt (Quebec) Ltda. . (2005). *INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS* . canada: lab-volt.
- Maldonado, A., Enríquez , T., Ortega Yunko , N., & Toledo Goretty , N. (s.f.). *MySQL*. Obtenido de <http://www.gridmorelos.uaem.mx/~mcruc/cursos/miic/MySQL.pdf>
- Melexis. (2007). *MLX90614 family*.
- Nageswara Rao,, R., & Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. *Proceedings of the Second International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC 2018)*. Coimbatore: IEEE.
- Ninam, C. J., Thirukkuralkani, K. N., & Kaushik, S. (2018). LabVIEW based Greenhouse Automation System. *Proceedings of the Second International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC 2018)* (págs. 1-4). Coimbatore, India: IEEE Xplore Compliant.
- Núcleo Ambiental S.A.S. (2015). *Manual Lechuga*. Bogota: Cámara de Comercio de Bogotá.
- NXP Semiconductors. (2014). *UM10204 I2C-bus specification and user manual*. NXP Semiconductors.
- OpenWrt. (12 de 01 de 2020). *OpenWrt Wireless Freedom*. Obtenido de <https://openwrt.org/packages/pkgdata/zoneinfo-southamerica>
- OpenWrt Wireless Freedom. (06 de abril de 2019). *Bienvenido al proyecto OpenWrt*. Obtenido de <https://openwrt.org/>

Park, S.-H., Shin, H.-J., Seo Kim, M., & Ghil Kim, C. (2012). Implementation of a Low Cost Home. *IT Convergence and Security 2012* (págs. 761-765). Springer Science+Business Media Dordrecht.

PortalFrutícula.com. (30 de agosto de 2018). *Métodos de medición de humedad del suelo: del campo al laboratorio*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/08/30/metodos-de-medicion-de-humedad-del-suelo-del-campo-al-laboratorio/>

PostgreSQL Tutorial Website. (s.f.). *What is PostgreSQL?* Obtenido de <https://www.postgresqltutorial.com/what-is-postgresql/>

Rajalakshmi, P., & Devi Mahalakshmi, S. (2016). IOT Based Crop-Field Monitoring And Irrigation. *10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*. Coimbatore: IEEE.

Real Academia de Ingeniería. (s.f.). *Sobremuestreo*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/sobremuestreo>

Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Recuperado el 29 de 01 de 2020, de <https://dle.rae.es/?w=huerto>

Rodriguez Marin, A. M., & Velandia Valero, C. A. (2005). *DISEÑO DE INTERCONEXIÓN DE LAS SEDES DE LA UIS MEDIANTE*. Bucaramanga.

Roman Bueno, J. C., & Gonzalez Mantilla, K. J. (s.f.). *Sistemas embebidos y Hardware libre*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Salazar, J. (2016). *REDES INALÁMBRICAS*. Chequia: České vysoké učení technické v Praze.

Santinus. (14 de Abril de 2013). *BIOGUIA*. Obtenido de acuaponia: https://www.bioguia.com/ambiente/acuaponia_29268768.html

- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. (2016). *Modelo Tecnológico para el Cultivo de Lechuga Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño*. Medellín: Gobernacion de Antioquia.
- Semiconductor, H. (2003). *CD4051B, CD4052B, CD4053B*. Dallas, Texas: Texas INSTRUMENTS.
- SENSIRION. (2016). *Datasheet SHT3x*.
- SENSORION. (2004). *SHT1x / SHT7x Humidity & Temperature Sensor. SM150T Soil Moisture and Temperature Sensor*. (s.f.). Delta-T Devices Ltd.
- TE CONNECTIVITY SENSORS. (2017). *HTU21D(F) RH/T SENSOR IC*.
- Ubach Granados, C. (2017). *Programando directamente un ESP8266*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Vera Romero , C. A., Barbosa Jaimes, J. E., & Pabon Gonzales, D. C. (2017). *La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física*. pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Vozmediano, B. P. (2018). *Sensors telemàtics a OpenWrt*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona.
- Wang, D., Zhao, J., Xu, D., & Huang, L. (2015). Design of A Smart Monitoring and Control System for Aquaponics Based on OpenWrt. *5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2015)* (págs. 1-6). Huhhot, Inner Mongolia, : Atlantis Press.
- Zes Ordoñez, M. P., Molina Rios, J. R., & Redrovan Castillo, F. F. (2017). *Administracion de base de datos PostgreSQL*. Alicante: Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

11 Anexos

11.1 Anexo 1: Script `make_extroot.bat`

```
umount /dev/sda5

mkdir /mnt/extroot

mount -t ext4 /dev/sda5 /mnt/extroot

mkdir /tmp/tmproot

mount --bind / /tmp/tmproot

tar -C /tmp/tmproot -cvf - . | tar -C /mnt/extroot -xvf -

sync

umount /mnt/extroot

umount /tmp/tmproot

rmdir /mnt/extroot

block detect > /etc/config/fstab
```

11.2 Anexo 2: Archivo `/etc/config/fstab`

```
config 'global'

    option anon_swap    '0'

    option anon_mount  '0'

    option auto_swap    '1'

    option auto_mount  '1'

    option delay_root   '5'

    option check_fs     '0'
```

```
config 'mount'  
    option target '/mnt/sda5'  
    option uuid '41ff7f74-11a9-d501-40de-677411a9d501'  
    option enabled '0'
```

```
config 'mount'  
    option target '/mnt/sda6'  
    option uuid 'f8fa77c4-12a9-d501-b078-57c412a9d501'  
    option enabled '1'
```

```
config 'swap'  
    option device '/dev/sda7'  
    option enabled '1'
```

11.3 Anexo 3: Fichero etc/php.ini

En los archivos listados a continuación solo se presentan las partes modificadas.

```
[PHP]
```

```
date.timezone = "America/Bogota";
```

```
; Language Options
```

```
short_open_tag = On
```

```
; Resource Limits
```

```
max_execution_time = 120
```

```
max_input_time = 120
```

11.4 Anexo 4: Fichero /etc/config/uhttpd

```
config uhttpd 'main'
```

```
list listen_http '0.0.0.0:80'
```

```
list listen_http '[::]:80'
```

```
list listen_https '[::]:443'
```

```
option redirect_https '1'
```

```
option redirect_https '1'
```

```
option home '/www'
```

```
option rfc1918_filter '1'
```

```
option max_requests '3'
```

```
option max_connections '100'
```

```
option cert '/etc/uhttpd.crt'
```

```
option key '/etc/uhttpd.key'
```

```
option cgi_prefix '/cgi-bin'
```

```
option lua_prefix '/luci'
```

```
option lua_handler '/usr/lib/lua/luci/cgi/uhttpd.lua'
```

```
option script_timeout '60'
```

```
option network_timeout '30'
```

```
option http_keepalive '20'
```

```
option tcp_keepalive '1'
```

```
option ubus_prefix '/ubus'

list interpreter ".php=/usr/bin/php-cgi"

option script_timeout '120'

config cert 'defaults'

option days '730'

option bits '2048'

option country 'ZZ'

option state 'Somewhere'

option location 'Unknown'

option commonname 'OpenWrt'
```

11.5 Anexo 5: Archivo /etc/config/postgresql

```
# uci show postgresql

postgresql.config=postgresql

postgresql.config.PGUSER=postgres

postgresql.config.PGDATA= /mnt/data/pgsql/data

postgresql.config.PGLOG= /mnt/data/pgsql/data/pgsql.log

postgresql.config.PG_CTL=/usr/bin/pg_ctl
```