



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA  
PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT**

---

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la  
obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

**ÁREA:** Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de comunicación

**AUTOR:** Alex Fernando Acosta Tenelema

**TUTOR:** Ing. Ana Pamela Castro Martin, Mg.

**Ambato – Ecuador**

**septiembre – 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Alex Fernando Acosta Tenelema, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, septiembre 2022

-----  
Ing. Ana Pamela Castro Martin, Mg.

TUTOR

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, septiembre 2022



---

Alex Fernando Acosta Tenelema

C.C. 1804432555

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Alex Fernando Acosta Tenelema, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación titulado SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, septiembre 2022

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Julio Enrique Cuji Rodriguez, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

-----  
Ing. Clara Augusta Sánchez Benitez, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, septiembre 2022



---

Alex Fernando Acosta Tenelema

C.C. 1804432555

AUTOR

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo se la dedico a mis padres Carmen y Mario por permitirme alcanzar esta etapa en mi formación profesional.*

*A toda mi familia que me ha acompañado y motivado durante este proceso, brindándome su cariño y apoyo incondicional.*

*Este logro es suyo.*

*Alex Fernando Acosta Tenelema*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por bendecirme con una familia, que es mi inspiración para alcanzar mis metas.*

*A mi madre que gracias a sus esfuerzos me brindo la oportunidad de estudiar siendo el motor de mi vida.*

*A mis hermanas y hermanos por el apoyo incondicional y la confianza depositado en mí.*

*A mis cuñados y cuñada por inculcarme que el esfuerzo diario trae grandes recompensas.*

*A mis amigos y familiares por el respaldo brindado.*

*A mi querida FISEI donde me compartieron sabiduría y enseñanzas para formarme como profesional.*

*Alex Fernando Acosta Tenelema*

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO .....	IV
DERECHOS DE AUTOR .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTOS .....	VII
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	XII
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.3 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	4
1.4.1 Hidroponía .....	4
Sistemas Hidropónicos.....	5
1.4.2 Características de los sistemas de F.V.H. ....	8
1.4.3 Solución Nutritiva.....	15
1.4.4 Agricultura inteligente .....	16
1.4.5 Internet of Things (IoT).....	16
1.4.6 Arquitectura IOT.....	18
1.4.7 Tecnología de comunicación en IOT.....	21
1.4.8 Sensores .....	26
1.4.9 Actuadores .....	27
1.4.10 Plataformas Hardware para IOT .....	28
1.4.11 Puertos Serie .....	29
1.4.12 Protocolo MQTT.....	29
1.4.13 Plataformas Software para IOT.....	31
1.5 OBJETIVOS.....	32
1.5.1 Objetivo general.....	32
1.5.2 Objetivos específicos .....	32
CAPÍTULO II .....	33
METODOLOGÍA .....	33
2.1 MATERIALES .....	33

2.2	MÉTODOS .....	33
2.2.1	Modalidad de Investigación.....	33
2.2.2	Recolección de información .....	34
2.2.3	Procesamiento y análisis de datos.....	34
2.2.4	Desarrollo del proyecto.....	34
CAPITULO III.....		36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		36
3.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	36
3.1.1	Análisis de los parámetros para forraje verde Hidropónico. ....	36
3.1.2	Ubicación del Sistema de FVH.....	37
3.1.3	Desarrollo e implementación del sistema .....	38
3.1.4	Selección de Materiales .....	40
	Selección del sensor de temperatura .....	40
	Selección del sensor de Humedad.....	41
	Selección del sensor de PH .....	41
	Selección del sensor de Total de Sólidos Disueltos en el agua “TDS”.....	42
	Módulo de reloj.....	43
	Selección de placa de desarrollo. ....	43
	Placa de conectividad.....	44
	Selección del servidor .....	44
	Selección del software.....	45
3.1.5	Análisis, y Diseño de la infraestructura del invernadero para el sistema hidropónico de acuerdo a los parámetros técnicos requeridos en la agricultura. 47	
	Modulares de soporte y bandejas .....	50
3.1.6	Identificación de la semilla y las vulnerabilidades que se presentan en los cultivos hidropónicos.....	52
3.1.7	Soluciones nutritivas líquidas para el cultivo .....	52
3.1.8	Dosis de siembra y rendimiento del Cultivo.....	53
3.1.9	Análisis de la necesidad de agua diaria ( <i>Nad</i> ) .....	53
3.1.10	Análisis del depósito de Agua.....	55
3.1.11	Análisis de la bomba hidráulica .....	56
3.1.12	Análisis de componentes de potencia y control .....	57
3.1.13	Circuito de control y potencia .....	60
3.1.14	Análisis de Electroválvulas .....	61
3.1.15	Análisis de bombas peristálticas .....	62
3.2	ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO .	62
3.2.1	El nodo sensores se subdivide en sensores ambientales y sensores de agua. 63	
	Sensores ambientales .....	63
	A. Sensor de Humedad DTH-11 .....	64
	B. Sensor de Temperatura DS18B20 .....	65
	Sensores de agua .....	66
	A. Sensor de PH (PH-4502C) .....	67
	B. Sensor de TDS (Total de Sólidos Disueltos) CQRSENTDS01 .....	69

3.2.2	Nodo Actuadores .....	70
	Control de Humedad .....	70
	Control de temperatura.....	71
	Control de PH de la solución líquida .....	72
	Control de TSD en la solución Líquida.....	74
	Control automático del sistema.....	75
	Control Manual del sistema .....	76
3.2.3	Etapa de comunicación .....	77
	Configuración de la Nodemcu V1.0.....	77
	Configuración del Arduino para el envío y recepción de datos .....	80
3.2.4	Etapa de monitorización .....	83
	Proceso de instalación de home Assistant.....	83
	Proceso de comunicación.....	84
	Configuración de las notificaciones .....	86
	Configuración de la Base de datos .....	88
	Configuración de la interfaz grafica.....	89
	Generación de reportes.....	95
3.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT. ....	97
3.3.1	Implementación de la infraestructura .....	97
3.4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	99
3.4.1	Nodo sensores .....	99
3.4.2	Nodo Actuadores .....	101
3.4.3	Etapa de acondicionamiento, control y comunicación .....	104
3.4.4	Etapa de monitorización .....	107
3.5	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	110
3.5.1	Forma de operación del PH y TDS.....	113
3.5.2	Verificación de mediciones .....	114
3.5.3	Interpretación grafica.....	116
3.5.4	Funcionamiento de las notificaciones.....	121
3.5.5	Pruebas de control y monitoreo desde cualquier dispositivo fuera de la red local.....	122
3.6	RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL CULTIVO.....	124
3.7	PRESUPUESTO.....	127
3.7.1	Costos de los componentes eléctricos /electrónicos del sistema .....	128
3.7.2	Costos de infraestructura .....	129
3.7.3	Costos para el desarrollo del cultivo.....	129
3.7.4	Presupuesto total.....	130
3.8	COSTO- BENEFICIO .....	130
CAPITULO IV.....		130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		132
4.1	CONCLUSIONES .....	132
4.2	RECOMENDACIONES .....	132
BIBLIOGRAFÍA .....		134

ANEXOS ..... 140

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas del cultivo de FVH. ....	14
Tabla 2. Elemento Minerales esenciales para las plantas .....	15
Tabla 3. Concentración de macronutrientes en compuestos A y B.....	16
Tabla 4. Características de los sensores .....	27
Tabla 5. Factores de medición para FVH .....	36
Tabla 6. Cuadro comparativo de sensores de temperatura.....	40
Tabla 7. Cuadro comparativo de sensores de humedad .....	41
Tabla 8. Cuadro comparativo del sensor de PH .....	42
Tabla 9. Cuadro comparativo de los sensores de TDS.....	42
Tabla 10. Cuadro comparativo de placas de desarrollo Arduino .....	43
Tabla 11. Selección de la placa de desarrollo para el servidor .....	45
Tabla 12. Selección del Software.....	46
Tabla 13: Características de construcción del invernadero tipo capilla con ventana cenital. ....	49
Tabla 14. Formulación de las soluciones nutritivas A, B, C.....	52
Tabla 15. Adquisición de medidas del sistema .....	115
Tabla 16. Cálculo del error absoluto y relativo.....	116
Tabla 17. Presupuesto de componentes eléctricos y electrónicos.....	128
Tabla 18. Presupuesto de infraestructura. ....	129
Tabla 19. Presupuesto para el desarrollo del cultivo.....	129
Tabla 20. Presupuesto de construcción. ....	130
Tabla 21. Cálculo de los indicadores VAN y TIR .....	131

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnica de la película de nutrientes (NFT) .....	5
Figura 2. Sistema de Raíz flotante .....	6
Figura 3. Cultivo del forraje verde hidropónico bajo cubierta plástica.....	7
Figura 4. Invernadero tipo capilla. ....	9
Figura 5. Estructuras y bandejas para FVH. ....	10
Figura 6. Influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes .....	12
Figura 7. Tipos de conexiones de elementos IOT .....	17
Figura 8. Evolución de Arquitectura de IOT: (A) modelo de tres capas; (B) modelo de 5 capas.....	18
Figura 9. Arquitectura de computación en la niebla .....	20
Figura 10. Arquitectura de 3 capas Fog computing .....	21
Figura 11. Cobertura de tecnologías wifi .....	24
Figura 12. formato de la Trama a enviar por puerto serie.....	29
Figura 13. Estructura de la trama MQTT.....	31
Figura 14. Ubicación geográfica del sistema Hidropónico.....	37
Figura 15. Arquitectura Fog Computing para FVH.....	38
Figura 16. Esquema general del prototipo hidropónico inteligente .....	40
Figura 17. Partes de invernadero tipo capilla.....	47
Figura 18. Diseño de Invernadero Tipo capilla con ventana cenital.....	50
Figura 19. Diseño del modular de soporte para FVH. ....	51
Figura 20. Nebulizador tipo coolnet.....	55
Figura 21. Tabla de características de las electrobomba con rodete periférico Pedrollo .....	56
Figura 22. Bomba periférica “Pedrollo PKm 60”. ....	57
Figura 23. Placa de características técnicas de la bomba de agua monofásica Pedrollo de ½ Hp .....	57
Figura 24. Guía de eficiencia energética para motores .....	58
Figura 25. Guardamotor de (6-10) Amperios CHNT.....	59
Figura 26. calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos .....	59
Figura 27. Circuito de control y potencia .....	61
Figura 28. Válvula solenoide 12 Vcd.....	61

Figura 29. Mini bomba peristáltica de 60ml/min.....	62
Figura 30. Diagrama general de componentes electrónicos del Sistema Hidropónico Inteligente.....	63
Figura 31. Circuito de adquisición de datos mediante sensores ambientales .....	64
Figura 32. Código de adquisición de datos mediante el sensor de Humedad DTH-11 .....	64
Figura 33. Código de adquisición de datos mediante el Sensor de Temperatura .....	65
Figura 34. Código de adquisición de hora y fecha mediante el módulo de reloj.....	66
Figura 35. Circuito de adquisición de datos mediante sensores de solución líquida .	66
Figura 36. Código de adquisición de datos mediante el sensor de PH (PH-4502C).	68
Figura 37. Código de adquisición de datos mediante el sensor de TDS .....	69
Figura 38. Circuito de control de Humedad con activación de Electroválvulas y bomba .....	70
Figura 39. Código de control de Humedad con activación de electroválvulas y bomba .....	71
Figura 40. Circuito de control de temperatura por ventilación .....	72
Figura 41. Código de control de temperatura por ventilación. ....	72
Figura 42. Circuito de control de PH con bomba peristáltica .....	73
Figura 43. Código de control de PH con bomba peristáltica .....	73
Figura 44. Circuito de control de TDS con bomba peristáltica .....	74
Figura 45. código de control de TDS con bomba peristáltica.....	74
Figura 46. código de control automático.....	75
Figura 47. código de explicación de control manual .....	76
Figura 48. Circuito de conexión entre la Nodemcu V1.0 y el Arduino Mega .....	77
Figura 49. librerías utilizadas en el módulo wifi para la comunicación .....	77
Figura 50. Variables a utilizar en el módulo wifi.....	78
Figura 51 Monitorización de la comunicación del módulo wifi. ....	79
Figura 52. función para descargar los datos del servidor.....	79
Figura 53. conexión con el bróker de MQTT .....	80
Figura 54. Librerías utilizadas en Arduino para la comunicación serial.....	80
Figura 55. Envío de datos por el puerto serial .....	81
Figura 56. Configuración del módulo wifi para envío y recepción de datos .....	81
Figura 57. Configuración del envío de datos desde el modulo wifi al Arduino .....	82

Figura 58. Configuración para la recepción de datos en el Arduino.....	82
Figura 59. Proceso de instalación Home Assistant.....	83
Figura 60. Interfaz de registro de Home Assistant.....	84
Figura 61. Integración del broker Mosquitto en Home Assistant.....	84
Figura 62. Configuración de sensores en Home Assistant.....	85
Figura 63. Configuración de la entidad light para el envío de dato.....	85
Figura 64. Configuración de la cámara de seguridad.....	86
Figura 65. Configuración de las notificaciones.....	87
Figura 66. Configuración de las notificaciones en Home Assistant.....	87
Figura 67. Proceso de instalación de la base de datos MariaDB.....	88
Figura 68. Configuración de la base de datos MariaDB en el archivo configuration.yaml.....	88
Figura 69. Interfaz de los sensores de temperatura, humedad, PH y TDS.....	89
Figura 70. Interfaz de visualización del estado del tablero.....	91
Figura 71. Tarjeta indicadora de botones con acción de electroválvulas y regulaciones. .....	91
Figura 72. Automatización de encendido/apagado de indicadores.....	92
Figura 73. Automatizaciones de los indicadores del tablero de control.....	92
Figura 74. Integración del asistente de Google a Home Assistant.....	93
Figura 75. Interfaz principal de visualización.....	93
Figura 76. Interfaz secundaria de visualización.....	94
Figura 77. Archivo que almacena los reportes en Home Assitant.....	95
Figura 78. Reportes generados en un intervalo de tiempo.....	96
Figura 79. Reportes generados en un intervalo de tiempo exportados a Excel.....	97
Figura 80. Invernadero tipo Capilla con ventana cenital y ventanas laterales.....	98
Figura 81. Modularles para FVH.....	98
Figura 82. Ubicación del sensor de humedad.....	99
Figura 83. Ubicación del sensor de temperatura.....	100
Figura 84. Ubicación de los sensores de agua.....	100
Figura 85. Ubicación de la bomba de agua de ½ hp.....	101
Figura 86. Ubicación de las electroválvulas.....	102
Figura 87. Ubicación de los nebulizadores.....	102
Figura 88. Ubicación del ventilador.....	103

Figura 89. Ubicación del líquido regulador de PH y la solución nutritiva. ....	104
Figura 90. Circuito de control del sistema de forraje verde hidropónico .....	104
Figura 91. Circuito de potencia del sistema de forraje verde hidropónico .....	106
Figura 92. Componentes del tablero eléctrico.....	107
Figura 93. Ubicación del servidor del sistema.....	108
Figura 94. Ubicación de la cámara.....	109
Figura 95. Interfaz de configuración de Google home. ....	110
Figura 96. Subida de datos de los sensores desde Arduino.....	111
Figura 97. Subida de estados de los actuadores desde Arduino.....	111
Figura 98. Botones e iconos que muestran el accionamiento del sistema. ....	112
Figura 99. Riego del cultivo.....	113
Figura 100. Tanque con la solución nutritiva después de la regulación. ....	114
Figura 101. Grafica estadística de la temperatura máxima alcanzada. ....	117
Figura 102. Grafica estadística de la temperatura mínima alcanzada.....	117
Figura 103. Grafica estadística de la Humedad máxima alcanzada.....	118
Figura 104. Grafica estadística de la Humedad mínima alcanzada. ....	118
Figura 105. Grafica estadística del PH máximo alcanzado.....	119
Figura 106. Grafica estadística del PH mínimo alcanzado. ....	119
Figura 107. Grafica estadística del PH máximo alcanzado.....	120
Figura 108. Grafica estadística del PH mínimo alcanzado. ....	121
Figura 109. Pantalla de notificaciones del sistema. ....	122
Figura 110. Pantalla desactivación de alertas. ....	122
Figura 111. Pruebas de funcionamiento: (A) dispositivo conectado a red local, (B)dispositivo conectado fuera de la red.....	124
Figura 112. Selección, desinfección y lavado de la semilla.....	125
Figura 113. Semillas ubicadas en el cuarto oscuro .....	125
Figura 114. Bandejas expuestas a la luz solar.....	126
Figura 115. Crecimiento del cultivo después de 10 días.....	126
Figura 116. Cultivo listo para el consumo de varias especies animales .....	127

## RESUMEN EJECUTIVO

El forraje verde hidropónico consiste en la producción de biomasa vegetal, sin importar las limitaciones climáticas de las zonas, teniendo como resultado la germinación, crecimiento y desarrollo de la semilla en un tiempo no mayor a 15 días, siendo un complemento que proporciona un alto valor nutricional, vitaminas y proteínas a diversas especies animales, planteándose como una solución de cultivo orgánico al excesivo uso de pesticidas y plaguicidas fomentando tecnologías limpias y buenas prácticas agrícolas, optimizando el uso adecuado de espacios y garantizando así la seguridad alimentaria de las especies. El Presente trabajo de investigación contempla el análisis, diseño e implementación de un sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IoT, mediante la construcción de un invernadero tipo capilla situado en una superficie plana, para cultivo del forraje de avena.

El sistema IoT para cultivo forrajero se basa en la arquitectura Fog Computing donde se agrupa sensores para tomar las variables físicas y químicas de temperatura, humedad, PH y total de sólidos disueltos en el entorno, actuadores de riego por nebulización, regulación de soluciones y ventilación. La adquisición, acondicionamiento y control de las señales de los diferentes dispositivos instalados en el sistema se realizan en la plataforma de desarrollo de Arduino, que analiza, procesa y selecciona los datos a ser enviados al servidor por medio de un microcontrolador con comunicación wifi que sirve como pasarela, la cual se conecta con el Arduino por medio de comunicación serial y con el servidor por MQTT, permitiendo así el flujo de datos de manera bidireccional para telecontrol y monitoreo.

El servidor aloja el software de automatización “Home Assistant” que proporciona una interfaz con datos estadísticos de los sensores, botones de control e imágenes de video para monitorización en tiempo real del sistema. Permitiendo al hidrocultor acceder desde fuera de la red local para el telecontrol del sistema, generación de reportes, revisión de historial, recibir alertas y revisar el estado. El sistema ayuda a la disminución de brecha entre los hidrocultores y los elementos tecnológicos.

**Palabras clave:** IoT, Forraje, agricultura, riego, avena, hidrocultor, telegram, sensores, hidroponía, MQTT.

## ABSTRACT

Hydroponic green fodder consists of the production of plant biomass, regardless of the climatic limitations of the areas, resulting in the germination, growth and development of the seed in a time not exceeding 15 days, being a complement that provides a high value nutrition, vitamins and proteins to various animal species, considering itself as an organic farming solution to the excessive use of pesticides , promoting clean technologies and good agricultural practices, optimizing the proper use of spaces and thus guaranteeing the food security of the species. The present research work contemplates the analysis, design and implementation of an intelligent hydroponic system applied to the production of green fodder with IoT architecture, through the construction of a chapel-type greenhouse located on a flat surface, for the cultivation of oat fodder.

The IoT system for forage cultivation is based on the Fog Computing architecture where sensors are grouped to take the physical and chemical variables of temperature, humidity, PH and total dissolved solids in the environment, irrigation actuators by misting, reduction of solutions and ventilation. The acquisition, conditioning and control of the signals of the different devices installed in the system are carried out on the Arduino development platform, which analyzes, processes and selects the data to be sent to the server through a microcontroller with Wi-Fi communication that serves as a gateway, which connects with the Arduino through serial communication and with the server through MQTT, thus obtaining the data flow bidirectionally for remote control and monitoring.

The server hosts the “Home Assistant” automation software that provides an interface with statistical data from the sensors, control buttons and video images for real-time monitoring of the system. Allowing the hydrocultor to access from outside the local network for system remote control, report generation, history review, receive alerts and check status. The system helps to reduce the gap between the hydroculturists and the technological elements.

**Keywords:** IoT, Forage, agriculture, irrigation, oats, hydrocultor, telegram, sensors, hydroponics, MQTT.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Tema de Investigación

“SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT”

### 1.2 Antecedentes Investigativos

La investigación se ha recolectado y analizado de diferentes fuentes bibliográficas, repositorios de Universidades Nacionales e Internacionales, documentos técnicos y científicos, así como publicaciones en diferentes revistas. Encontrando varios estudios relacionados con los sistemas hidropónicos y aplicaciones que utilizan arquitectura IoT, los mismos se detallan a continuación:

En el año 2018, Murcia y Chacón realizaron la investigación “Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde”, en la que se utiliza la interfaz serial RS-485 con el dispositivo Humitech III, encargado del control de variables ambientales (Temperatura, humedad,  $CO_2$  y luz) y el PLC S7-1200. El sistema permite la germinación, cultivo y cosecha de FVH (Forraje verde hidropónico) sobre bandejas sin sustrato con fertirriego. Los subsistemas tienen un sistema de ventilación cenital que permite la remoción de la masa de aire para controlar las concentraciones de  $CO_2$ , regular la temperatura y dar ventilación activa. Se utilizó microaspersión para el riego, y además se controla la humedad de FVH. El sistema obtuvo un rendimiento de 3.7 Kg de FVH por cada kg de semilla [1].

La investigación titulada “Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura Arduino”, realizada por V. Urdiales y J. Espín en el año 2018 en la Universidad Ecotec en Ecuador, expone una alternativa de monitoreo de variables como: temperatura y PH dentro de un sembrío usando sensores con protocolo de comunicación I2C. Se diseñó un sistema de monitoreo a escala de una plantación hidropónica, a través de la tarjeta Arduino como controlador y sistema de adquisición de datos. El monitoreo permitió obtener las condiciones óptimas para un buen desarrollo de la planta [2].

La investigación realizada por J. Huilca y P. SichiQui, en el año 2019 denominada “Diseño e implementación de un sistema de embebido de monitoreo de las variables climáticas para plantaciones de maíz” en la Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, desarrolló un sistema de monitoreo con dispositivos XBee y software X-CTU. Este proyecto utilizó paneles solares para mantener el sistema activo, e implementó módulos de recepción y transmisión de información a través de nodos. El sistema realiza cálculos con registros de humedad ambiental, radiación solar y temperatura del suelo. Los resultados muestran un rango óptimo entre 50% a 80% de humedad en el suelo y 1200 lúmenes desde las 11 de la mañana hasta las 16 horas [3].

En el año 2020 M. Briceño y W. Cubides realizaron un sistema denominado “Diseño de una solución IoT para monitoreo de las condiciones óptimas de un cultivo hidropónico de flores en invernadero” en la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Se desarrolló un framework conceptual utilizando protocolo TCP/IP para enlazar distintos dispositivos del sistema de monitoreo. En la capa física se usó la plataforma Raspberry Pi 3 y los sensores de medición, la capa de comunicación se realizó a través de un Gateway IoT, en la capa de servicio se implementó Cloud Computing y en la capa de aplicación se presenta aplicaciones móviles y web. Con el monitoreo el operario puede acceder a información histórica de condiciones del cultivo para la toma de decisiones en futuras plantaciones[4].

El trabajo de titulación de Benítez, Montañez e Higuera realizado en el año 2020 se denominó: “Construcción de un sistema hidropónico automatizado para implementación en comunidad Wayúu del departamento de la Guajira” de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Se desarrolló un sistema automatizado de hidroponía, implementado en una comunidad indígena de una ranchería en Colombia, donde se usó el PLC siemens Logo V8 y un algoritmo de visión artificial llegando a procesar 400 fotos diarias para la medición de altura y área de forma eficiente. La automatización del sistema hidropónico permitió que el riego y la humedad se mantenga en condiciones óptimas. Este trabajo brindó acceso a la comunidad a alimentos saludables como frutas y/o vegetales de una manera sostenible permitiendo cubrir parcialmente las necesidades de consumo local[5].

Los proyectos de investigación analizados agrupan elementos científicos, teóricos, técnicos y de automatización para brindar un ambiente adecuado para la germinación, crecimiento y desarrollo de diferentes especies vegetales, frutas y semillas. Destacando la importancia del monitoreo, control y automatización para obtener un mayor

rendimiento en la producción, tener mínimas pérdidas y obtener productos saludables y de calidad.

### **1.3 Contextualización del problema**

La producción de alimento ha sido por años la preocupación de organizaciones de todo el mundo, el segundo objetivo de desarrollo sostenible de la ONU apunta a terminar con el hambre y la desnutrición para el año 2030, garantizando el acceso de alimentos, especialmente de animales de consumo durante todo el año para la población en general priorizando a los niños. El hambre y la desnutrición son barreras para el desarrollo de los países, en el caso de Ecuador los gastos asociados como salud, educación y pérdida de la productividad son al menos el 4,3% del PIB. La hidroponía ha surgido como una alternativa sustentable que apoya a la producción de alimento en lugares donde se dificulta la siembra ya sea por el clima o por falta de espacio físico para cultivos. Según reporte de la ONU los agricultores de Asia en Nimbica están salvando su ganado y salvaguardando sus medios de vida replanteándose la producción de forraje por medio de la hidroponía [6],[7].

En el Ecuador los productores ganaderos tienen limitaciones en cuanto a la alimentación de los animales en especial entre agosto a diciembre cuando se limita el alimento para el ganado debido a las escasas de agua, lo que provoca pérdidas económicas para los productores. Una respuesta ante esta problemática es la producción de forraje verde hidropónico (FVH) que permite el adecuado control de los nutrientes que absorbe el forraje durante la germinación, cabe mencionar que no depende del suelo puesto que se realiza solo en agua.

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) la alimentación básica para animales está basada en forraje verde y alimentación mixta (follaje y concentrados), como en el caso de cuy, consume hasta el 30% de su peso vivo, o en el caso del conejo el 15% de su peso vivo [8].

Los cultivos hidropónicos en el Ecuador han aumentado, pero son fabricados de manera artesanal con infraestructura básica. Sin embargo, la producción de FVH requiere un alto grado de exigencia en el sistema, muchos proyectos han fracasado debido a: desinformación de la especie forrajera, comportamiento productivo, hongos, plagas,

pulgon, macro y micronutrientes, PH del agua, condiciones óptimas de luz, humedad y temperatura del ambiente. La falta de control e información se traduce en una desventaja en este tipo de sistemas.

El presente trabajo consiste en la implementación de un sistema hidropónico con control y monitorización, capaz de cultivar efectivamente forraje orgánico y de alta calidad, disminuyendo el uso de pesticidas y plaguicidas.

Por medio de sensores se obtienen el valor de las variables físicas del forraje, permitiendo el análisis y la toma de decisiones asertivas para el cultivo. Esto aumenta la productividad del agricultor y genera soluciones a la problemática de alimentación animal.

## **1.4 Fundamentación teórica**

### **1.4.1 Hidroponía**

Es la técnica de producción de plantas por medio de sustratos (material que sostiene la planta) y soluciones nutritivas, que cumplen los requerimientos hídricos nutricionales del cultivo. Esta técnica permite utilizar de manera eficiente el agua y los nutrientes, obteniendo cultivos orgánicos y de excelente calidad.

Las publicaciones e investigaciones hidropónicas tienen sus inicios en tres lugares: Las chinampas en el lago Xochimilco en México, los jardines de Babilonia y en los lagos de Kashmir en la India. Es una técnica ancestral donde utilizaban únicamente agua y estiércol como solución nutritiva de las plantas, luego en los años 70 del siglo XX se popularizó la técnica hidropónica de película nutritiva a cargo del Dr Allen Cooper donde se utiliza la química y las soluciones nutritivas para el crecimiento de los cultivos [9].

Los cultivos hidropónicos apuntan a cuatro factores: mínimo consumo de agua, aprovechamiento de espacios, productos orgánicos de calidad y mayor producción. Para cumplir con estos factores es necesario cubrir las necesidades básicas de una planta como la humedad, temperatura, nutrientes y agua.

El cultivo hidropónico requiere un alto costo de implementación debido al uso de estructuras, tubos, soportes e invernaderos, además requiere agua de buena calidad y personal especializado para su manipulación.

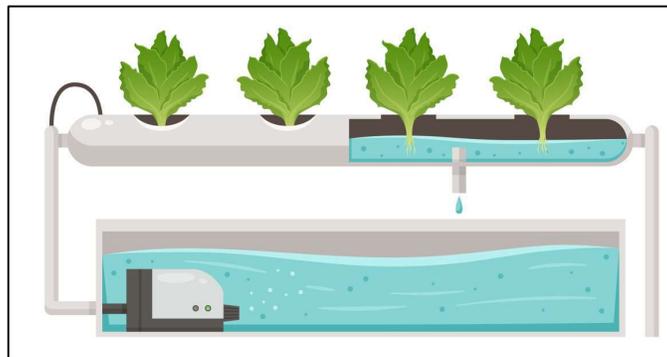
## Sistemas Hidropónicos

Entre los sistemas más utilizados se destacan tres grupos:

### Técnica de la película de nutrientes (NFT)

Es uno de los sistemas más utilizados para la producción de hortalizas, generalmente se realiza en tuberías de 0.5 a 1 cm en PVC, poliestireno o poliuretano donde circula la solución nutritiva de manera constante o en intervalos, permitiendo la oxigenación y suministro de los nutrientes y minerales.

La recirculación de la solución nutritiva se realiza mediante una bomba y un tanque con el uso de temporizadores o controladores para facilitar el riego. La planta al recibir los nutrientes necesarios para su evolución no tiene gasto energético y conserva su energía para complementar los otros procesos metabólicos, la Figura 1 muestra el sistema de la técnica de película de nutrientes [10].



**Figura 1.** Técnica de la película de nutrientes (NFT) [11].

### Sistema Hidropónico de Raíz Flotante

El sistema consta de un contenedor con solución nutritiva y una capa de poliestireno expandido (material de plástico celular y rígido), ideal para el cultivo de plantas que tengan hojas: lechuga, acelga, repollo. No es recomendable para plantas de gran tamaño ni tubérculos debido a la resistencia del poliestireno y la humedad.

Se requiere tener niveles altos de oxigenación ya que el agua con la solución nutritiva se encuentra estancada, además los contenedores deben ser de color oscuro para evitar la proliferación de algas en su interior, la Figura 2 muestra el sistema de raíz flotante[4].



**Figura 2.** Sistema de Raíz flotante [12].

### **Forraje verde Hidropónico (FVH)**

Es una técnica de cultivo aplicado a la germinación de semillas de cereales o leguminosas (maíz, cebada, avena, trigo) de alta calidad nutricional y digestibilidad para alimentación de vacas, cerdos, cabras, terneros y otros rumiantes.

El FVH tiene un ciclo de 9 a 15 días desde la siembra hasta su cultivo controlando sus condiciones mínimas necesarias de temperatura, humedad, PH, conductividad eléctrica[13].

Se utiliza contenedores plásticos para el crecimiento del FVH montado sobre perchas de metal o madera, el fertirriego se lo realiza por aspersión o nebulización. Generalmente se utiliza invernaderos para la germinación, desarrollo y crecimiento como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Cultivo del forraje verde hidropónico bajo cubierta plástica[14].

#### Ventajas del F.V.H.

- Alimento con alto valor nutritivo para varias especies (conejos, cuyes, vacas, entre otros).
- Eficiencia del uso del agua con sistemas de recirculación.
- Producción en pequeñas áreas.
- Libres del uso de fungicidas, pesticidas.
- Aumento en la producción de leche y carne en animales.
- La producción no está limitada al sitio geográfico ni al cambio climático.
- Mínima inversión en la semilla.
- Plantación orgánica, más limpia e higiénica.

#### Desventajas del F.V.H.

- Requiere costos altos de infraestructura.
- Debe ser manipulado por personal calificado.
- Necesita sistemas de riego temporizados.
- Requiere un control diario para evitar proliferación de hongos.

El FVH es una fuente de proteína y vitamina altamente digestible que se puede producir todo el año y reemplazar todo o una parte del concentrado “alimento nutritivo como forrajes, pastos, granos”[15].

## 1.4.2 Características de los sistemas de F.V.H.

Factores que influyen en la infraestructura

- **Estructura tipo Invernadero**

El invernadero, es un sitio cerrado y diseñado para mantener condiciones ambientales artificiales controladas, con el objetivo de proteger y cultivar todo tipo de plantas en su interior, cumpliendo con objetivos de cultivar durante cualquier época del año, mejorar la calidad de productos y generar condiciones ambientales favorables para los cultivos.

Generalmente los invernaderos están contruidos con estructuras metálicas o de madera, cubierto con materiales transparentes como (vidrio, plástico, acrílico, policarbonato, poliéster, etc.) con ventanas, ventoleras y puertas que permiten la recirculación del aire y acceso al operario [1].

Los cultivos dentro de un invernadero tienen diversas ventajas como:

- Mantener las condiciones apropiadas para un adecuado rendimiento fotosintético.
- Aprovechamiento energético e incremento del cultivo
- Reducción y aprovechamiento del riego.
- Disminución de mano de obra.
- Disminución de plagas
- Disminución del llamado agotamiento del suelo.

Una de las desventajas implica el costo de fabricación de las estructuras y la tecnificación de los sistemas, pero se debe notar que los productos generados son de alta calidad nutricional que genera un incremento en la rentabilidad y productividad del proyecto.

En [1] se realiza una comparación de invernaderos tipo capilla, plano y túnel. Señalando que el invernadero tipo capilla es el ideal para la producción de FVH, ya que permite el control del clima de forma apropiada y su diseño y construcción aprovecha el espacio, la Figura 4 muestra el diseño de un invernadero tipo capilla.

- **Invernadero tipo capilla**



**Figura 4.** Invernadero tipo capilla[16].

Los invernaderos tipo capilla están formados por dos lados yuxtapuestos con ventilación cenital en la cumbre y ventilación en las ventanas laterales de la estructura, lo cual facilita la eliminación de aire caliente. Este invernadero es uno de los más utilizados en la región debido a su fácil implementación y generar grandes resultados [17].

Las consideraciones técnicas para la elaboración de un invernadero tipo capilla vienen dadas por la altura de las paredes laterales mayor de 1.8 m que facilitan el tránsito de operarios en su interior y tienen menos resistencia al viento, la cumbre o la parte central convenientemente de 3 a 3.5 m para disminuir la energía calórica cuando requiera calefacción, la ventana cenital debe medir de 0.5 a 0.75 m. El techo y las paredes debe estar cubierto con plástico de color blanco con sombra de 25 a 35 % [14],[18].

Ancho: se determina el ancho del invernadero por la pendiente que debe estar dentro de 10 a 30 %, por lo tanto, depende del resultado de las medidas de las paredes laterales y la cumbre. La Ecuación 1 se utiliza para determinar el ancho del invernadero.

Ecuación 1:

$$Al = (Hc - Hp) \times \frac{100}{P} \times 2 \quad [16]$$

Donde:

Al: Ancho (m)

Hp: Altura de paredes (m)

Hc: Altura de las cumbres(m)

P: Pendiente (%)

Si se requiere realizar el cálculo por naves se elimina el multiplicador 2 de la Ecuación 1. Ya que cada nave se analizará por separado. Teniendo:

Ecuación 2:

$$Al = (Hc - Hp) \times \frac{100}{P}$$

Largo: La medida de longitud no repercute en el control del ambiental del invernadero, pero debe incluir ventanas laterales repartidas uniformemente para flujo y regulación de aire[16].

- **Estructura y bandejas del cultivo**

Para sostener las bandejas se construye perchas de metal o madera con separación mínima de 50 cm entre bandejas. Cada piso debe tener una pendiente de 10 grados para drenar el exceso de agua y evitar inundación de la semilla y proliferación de hongos, en la Figura 5 se muestra las bandejas y la estructura. [19].

Las bandejas para el cultivo de FVH deben ser de material inerte (plástico, madera, concreto), donde se depositan las semillas para su crecimiento y deben tener de 3 a 5 perforaciones en un extremo para evacuación de líquidos.



**Figura 5.** Estructuras y bandejas para FVH.[20]

## Factores que influyen en la producción del cultivo

- **Riego**

El sistema de riego ideal recomendado por la FAO para FVH es por aspersión, microaspersión o nebulizadores para humedecer cada bandeja de forma homogénea, notando las siguientes consideraciones[15].

- En los 4 primeros días: (Riego < 0.5 litros/m<sup>2</sup>)
- Días restantes: (Riego de 0.9 a 1.5 litros/m<sup>2</sup>)
- Los riegos no deben ser mayor a 2 min y deben ser divididos de 6 o 9 veces al día, no aplicar riego si las hojas o masa radicular se encuentran húmedas.
- Los nebulizadores o microaspersores se recomienda instalar de 35 a 40 cm de las bandejas.

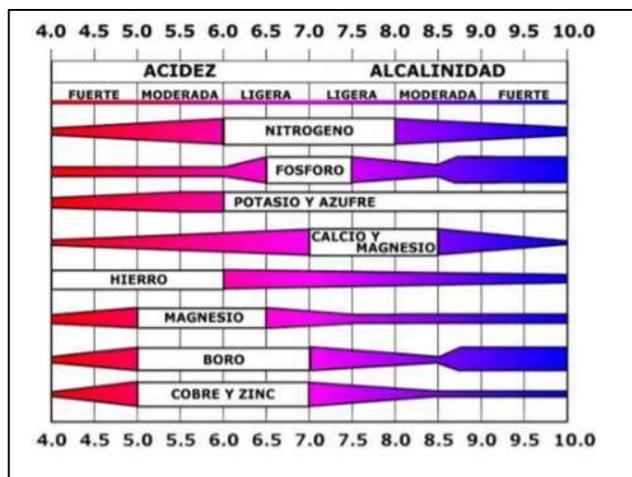
- **Temperatura**

La germinación de cebada y trigo requiere temperaturas entre 18 a 21 °C, la avena tolera temperaturas entre 10 a 28 °C, mientras que el maíz requiere temperaturas entre 25 a 28 °C, en ningún caso se debe exceder de 32°C ni permitir temperaturas inferiores a 4 °C. El cultivo no se debe exponer directamente al sol [15][21].

La temperatura del agua es conveniente que se encuentre de 21 a 24 °C, dado que las sales se disuelven de forma rápida y efectiva.

- **PH**

El PH es una medida química que se utiliza en soluciones acuosas, permite diferenciar entre una solución ácida o alcalina según el nivel revelado. El rango de fluctuación es de 0 a 14 niveles de PH, la Figura 6 muestra la influencia de PH sobre la Disponibilidad de nutrientes.



**Figura 6.** Influencia del PH sobre la disponibilidad de nutrientes[22].

Las soluciones nutritivas que tengan un indicador de PH<4 y PH>9 no deben emplearse en el cultivo vegetal, debido a su acidez o alcalinidad respectivamente puede presentar niveles de toxicidad. En la producción de FVH el PH debe oscilar entre 5.2 y 7 niveles de PH [15],[23].

- **Total, de sólidos disueltos en el agua “TDS” y conductividad eléctrica**

El TDS indica la concentración de sales inorgánicas que se encuentran en el agua, las sales inorgánicas comunes son: magnesio, potasio, sodio, calcio, entre otros, se expresa en parte por millón (ppm) está relacionada con la conductividad eléctrica (CE) mediante la Ecuación 3.

Ecuación 3:

$$CE \left( \frac{\mu S}{cm} \right) = \frac{TDS(ppm)}{0.7} \quad [24]$$

Las óptimas condiciones para FVH de la solución nutritiva deben estar en el rango de 1.5 a 2 mS/cm o en TDS entre 750 a 1500 ppm (partes por millón) [15], [25].

- **Oxigenación**

La oxigenación cumple un rol importante en el crecimiento de las raíces, ya que incide directamente en absorción de nutrientes y agua. Para una buena oxigenación se requiere el movimiento de macro y micro nutrientes uniformemente y esto se consigue con el uso de bombas y con sistemas de recirculación[24].

- **Humedad**

La humedad relativa depende directamente de la temperatura y la presión del volumen de aire analizado. La unidad de la humedad relativa varia de 0 a 100 %. Aire completamente seco 0% y aire saturado 100%. La Humedad relativa expresa la cantidad de agua que se transporta por el aire [26].

Para FVH la humedad relativa dentro del invernadero debe ser mayor a 30% y menor al 90%. El exceso de humedad y baja ventilación puede causar enfermedades relacionada con hongos, por otro lado, un exceso de ventilación y baja humedad puede causar un ambiente seco y disminución del crecimiento del cultivo por deshidratación[20].

Por debajo de los 30% de humedad se produce poca transpiración, ralentiza el crecimiento del cultivo e impide una fotosíntesis adecuada[27].

- **Luminosidad**

La función fotosintética depende de la luz existente en el invernadero, por lo tanto, las hojas verdes del cultivo deben tener una iluminación bien distribuida, pero no directa al sol.

En el proceso de germinación de 3 a 4 días el cultivo debe permanecer en un sitio oscuro, pero con riego suficiente para la aparición de raíces. Luego el cultivo necesita de 2.800 a 40.000 luxes.

Para conseguir la iluminación adecuada se utiliza malla que brinde sombra entre el 50 a 70 % y plástico blanco lechoso 30% de sombra, la malla se colocará sobre el cultivo generando finalmente una sombra entre 25 a 35 % para la producción[18].

### **Factores que influyen en el crecimiento de la semilla:**

Las semillas (maíz, avena, cebada, trigo, sorgo, triticale, centeno, entre otros) utilizadas para la producción de biomasa, cultivadas a 14 días con una altura de 20 a 25 cm presentan vitaminas A y E, brindando alto contenido de hierro, calcio y fósforo, generando baja presencia de lignina y celulosa que ayuda a la fácil digestión animal.

En [14] se presenta las etapas que tiene un cultivo de FVH describiendo en la Tabla 1 lo más relevante.

**Tabla 1.** Etapas del cultivo de FVH.

**Elaborado por:** El investigador en base a [14],[28].

Etapas	Semillas	Características
Selección de las semillas	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Las semillas no deben presentar golpes ni roturas y deben ser almacenada en un lugar libre de roedores, insectos, plagas y patógenos que puedan causar la aparición de hongos o puntos blancos.
Dosis de siembra	Trigo, avena, cebada centeno, triticale.	En bandejas de 35.5 x 45 cm se requiere de 300 a 350 g de semilla, generando por cada 900g de semilla 4.23 Kg de FVH
	Maíz	En bandejas de 35.5 x 45 cm se requiere de 500 a 600 g de semilla.
Remojo	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Se debe remojar durante 24 horas, generando oxigenación y cambio de agua en 12 horas, procurando un receso de 1 hora. Además, se debe retirar las semillas e impurezas que flotan debido a que no germinaran.
Lavado y Desinfección	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Es necesario sumergir la semilla por no más de 2 minutos en hipoclorito de sodio (cloro). 10 ml de hipoclorito de sodio en un litro de agua, luego enjuagar con agua limpia.
Siembra	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Colocar de manera uniforme la semilla, recordando la dosis de siembra.
Germinación	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Se coloca en cámaras oscuras hasta que el brote alcance de 2 a 3 cm de altura, al tercer o cuarto día
Traspaso a estructuras	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Las bandejas deben recibir la luminosidad en condiciones ambientales adecuadas de temperatura, humedad.

Fertilización	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	Se suministra un fertilizante foliar a base de macro y micro nutrientes.
Cosecha	Trigo, avena, cebada centeno, triticale, maíz.	En aproximadamente de 14 a 15 días y si el Forraje alcanza 20cm se puede cosechar.

### 1.4.3 Solución Nutritiva

La FAO menciona 13 elementos minerales (macro y micro nutrientes) esenciales para el crecimiento de las plantas en la etapa de fertilización, la Tabla 2 muestra los elementos minerales esenciales para las plantas.

**Tabla 2.** Elemento Minerales esenciales para las plantas [15].

Elementos minerales	Símbolo químico
<b>Macronutrientes</b>	
Nitrógeno	N
Fosforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Azufre	S
<b>Micronutrientes</b>	
Hierro	Fe
Manganeso	Mn
Zinc	Zn
Boro	B
Cobre	Cu
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl

En la Investigación [28] se realiza varios tratamientos con agua y soluciones nutritivas para FVH de Avena y cebada, donde experimenta con dos soluciones nutritivas (compuesto A y compuesto B) como se visualiza en la Tabla 3, señalando que mediante

el uso de las soluciones nutritivas se obtuvo mejores resultados en proteína bruta con respecto al uso de agua. La avena obtuvo mejor respuesta en calidad nutricional que la cebada.

**Tabla 3.** Concentración de macronutrientes en compuestos A y B[28].

Soluciones	Concentraciones						
	Ca <sup>2+</sup> Calcio	Mg <sup>2+</sup> Magnesio	K <sup>+</sup> Potasio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Amonio	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Nitrato	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> Fosfato	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Sulfato
	meq L <sup>-1</sup>						
Agua potable	0.18	0.18	0.05	ND <sup>†</sup>	ND	ND	0.05
Solución "A"	4.89	2.63	4.2	1.4	7.0	1.0	5.85
Solución "B"	5.6	2.5	4.1	0.7	7.3	1.0	5.36

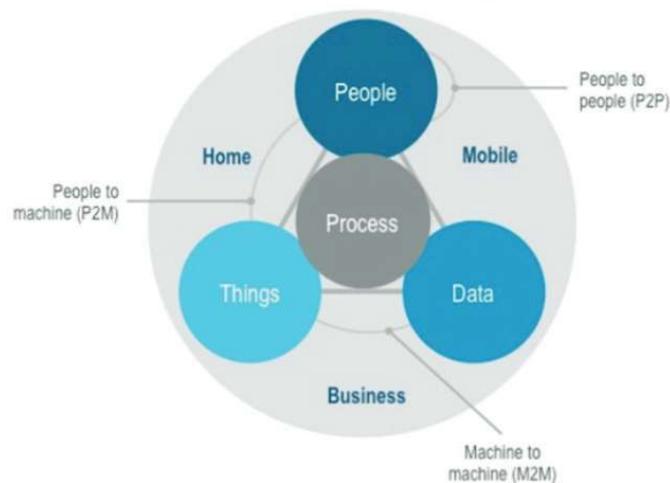
#### 1.4.4 Agricultura inteligente

La Agricultura Inteligente involucra el monitoreo, análisis y procesamiento de datos utilizando Tecnologías de información y Comunicación (TIC), y en particular el internet de las cosas (IOT). Para estimar con mayor precisión condiciones de micro-climas, densidad óptima de siembra, uso apropiado de fertilizantes e insumos y así tener una predicción eficiente de productividad, seguridad alimentaria, gestión y sostenibilidad de los cultivos [29].

#### 1.4.5 Internet of Things (IoT)

Es un término denominado a la interconexión de objetos cotidianos (termostatos, iluminación, automóviles, edificios) a internet para la obtención de datos, que posteriormente son analizados y visualizados apoyándose en tecnologías como: big data, cloud computing, servidores con capacidad de evaluar datos estadísticos de valores máximos y mínimos de las muestras.

**IOT y el ecosistema.** – En el ecosistema IOT los elementos de conexión permiten comunicar de persona a persona(P2P), de persona a máquina(M2P) y de máquina a máquina(M2M) como se observa en Figura 7. Donde se engloba los datos, procesos y cosas en una conexión global creando nuevos tipos de servicios y aplicaciones inteligentes e intuitivas[30].



**Figura 7.** Tipos de conexiones de elementos IOT [31].

**IOT y sensores.** – los aparatos en su mayoría se encuentran conectados por medio de microsensores y sensores, generando reportes que facilitan las labores diarias tomando medidas de:

- Luz
- Proximidad
- Velocidad, movimiento, desplazamiento.
- Humedad
- Temperatura
- Gases
- Flujo de líquido
- Nivel de líquido y fugas
- Consumo de corriente
- Aceleración
- Magnetismo y electricidad.
- Presión.

**IOT y su Conectividad.** - los objetos pueden estar conectados utilizando bluetooth de bajo consumo hasta redes 5G con altas velocidades. Es un entorno de constante crecimiento donde la industria analiza los datos para el desarrollo de productos y servicios del futuro.

**IOT y el impacto en el mercado.** – En los últimos 10 años el costo del ancho de banda se ha reducido en 40 veces, así mismo el costo de los sensores se ha reducido a más de la mitad y el procesamiento hasta el 60%[30].

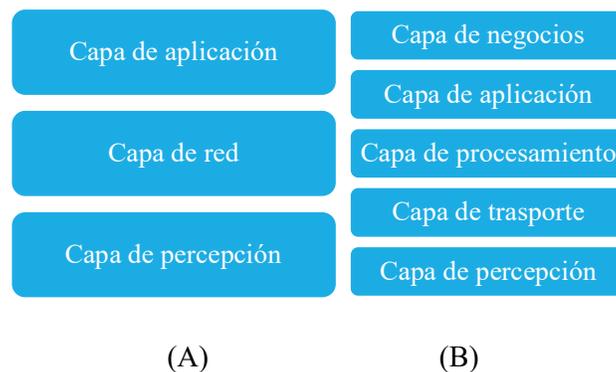
**IOT y Análisis.** - la adquisición de datos, las interacciones con sensores y su distribución estratégica ofrece tener un flujo masivo de información exigiendo nuevos KPIs de medición y herramientas de análisis.

#### 1.4.6 Arquitectura IOT

La arquitectura hace referencia a la organización mediante capas y niveles de manera jerárquica, basándose en los modelos OSI y TCP/IP. En IOT no existen modelos estandarizados, pero generalmente se usan el modelo de 5 a 7 capas agrupando objetos físicos, sensores, servicios en la nube, actuadores, usuarios, comunicaciones, capacidades y protocolos de IOT [31].

IOT en su arquitectura debe ofrecer al usuario la capacidad de interactuar, implementar y desarrollar aplicaciones, a pequeña y gran escala.

Muchas horas de investigación permitió pasar de un modelo de 3 capas (percepción, red, aplicaciones) a un modelo de 5 capas (percepción, transporte, procesamiento, aplicación, negocios), como se observa en la Figura 8. Las capas de aplicación y percepción tienen el mismo rol en el modelo de cinco capas, la capa de red se desglosa para brindar mayor nivel de detalle generando la capa de transporte y procesamiento [32], [33].



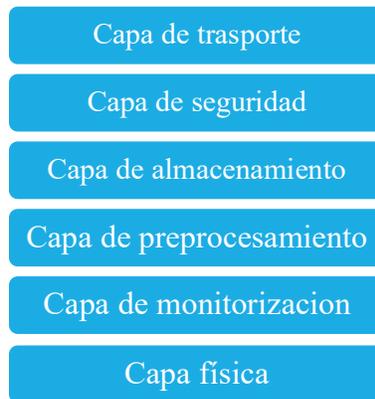
**Figura 8.** Evolución de Arquitectura de IOT: (A) modelo de tres capas; (B) modelo de 5 capas[32].

- **Capa de percepción.** - contiene sensores y actuadores, detecta tecnologías de comunicación y objetos inteligentes, además tiene la función de detectar y transformar datos. Trabajan con sensores de recolección de datos: temperatura, posición, humedad, consumo de energía, entre otros.
- **Capa de red.** - responsable de las comunicaciones, asegura a la transmisión de datos entre las capas contigua y se puede realizar cierto procesamiento en esta capa. La capa de red utiliza las tecnologías 3G, 4G,5G, wifi, bluetooth, ZigBee, entre otros, además tecnologías cableadas, inalámbricas y satelitales.
- **Capa de aplicación.** – proporciona servicios específicos en aplicaciones para desarrollo de IOT industriales y domésticos que hagan uso de dispositivos conectados.
- **Capa de transporte.** – transfiere bidireccional los datos de sensores utilizando redes inalámbricas 3G, 4G,5G, wifi, bluetooth, ZigBee, RFID, NFC.
- **Capa de procesamiento.** - conocida como middleware(intermediación) encargado de almacenar, analizar y procesar datos empleado cloud computing, big Data.
- **Capa de negocios.** – en esta capa se gestiona los modelos de negocios, privacidad de datos, gestionar aplicaciones centrado en el sistema de informaciones empresas u organizaciones.

### **Arquitectura de computación en la niebla (Fog Computing)**

Varios sistemas presentan el procesamiento en la nube debido a su amplia escalabilidad y flexibilidad, las aplicaciones se colocan encima y los sensores inteligentes debajo. Sin embargo, muchos proyectos requieren calcular los datos cerca de los sensores siendo parte del procesamiento y análisis de datos.

La arquitectura de niebla incrementa capas de monitoreo, almacenamiento, preprocesamiento y seguridad entre las capas de transporte y física, luego pasa a la nube como se observa en la Figura 9.



**Figura 9.** Arquitectura de computación en la niebla [34].

La computación de niebla se encuentra más cerca de los aparatos, generando bajas latencias, mejor control, uso mínimo de infraestructura, gran manejo de datos, optimización de recursos.

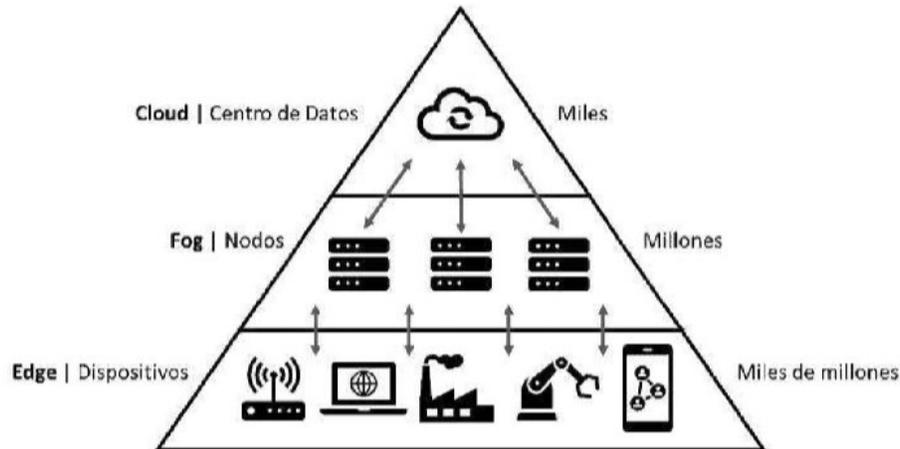
Las características señaladas en [35] son:

- **Ancho de Banda.** – los datos al ser procesado, analizados y clasificados de forma local puede reducir el volumen de ancho de banda de subida y bajada a la nube.
- **Baja latencia.** - los nodos de niebla son los encargados del procesamiento, por lo tanto, la respuesta es más alta y es muy útil para interacciones en tiempo real.
- **Adaptabilidad.** - los nodos pueden ser virtuales o físicos y se acoplan fácilmente a distintos ambientes utilizando: Gateway, puntos de acceso, estaciones base (BS), enrutadores.
- **Distribución geográfica.** - al utilizar distintas tecnologías de comunicación Wifi, ZigBee, 3G, 4G, otros. Fog Computing puede estar distribuido en diversos sitios geográficos con la utilización de nodos comprendidos en la red y un servidor central.
- **Seguridad.** - la seguridad suele estar en la niebla y es recomendable el uso de encriptaciones.
- **Consumo de energía.** - las tecnologías de comunicación por lo general utilizan bajo consumo, pero los nodos y aparatos generan calor por naturaleza, es indispensable ubicar los dispositivos en ambientes ventilados y frescos.

- **Interoperabilidad.** - la amplia gama de dispositivos ofertados en el mercado produce que las organizaciones generen elementos compatibles que intercambien información conocimiento.

### Arquitectura de 3 capas de (Fog Computing)

La Figura 10 detalla la arquitectura de 3 capas Fog Computing.



**Figura 10.** Arquitectura de 3 capas Fog computing[32].

- **Cloud (Centro de datos).** - engloba mayor potencia de computación y almacenamiento.
- **Fog(Nodos).** - elementos que brindan servicios como: servidores locales, dispositivos finales, dispositivos de bajos recursos, sensores, dispositivos potentes, estaciones base, torres, entre otros.
- **Dispositivos.** - dispositivos cercanos a la red, dispositivos de pocos recursos.

#### 1.4.7 Tecnología de comunicación en IOT

##### Redes PAN (Personal Area Network, Red de Área Personal)

Una red PAN cubre áreas de trabajo individuales normalmente hasta 10 m, cuya finalidad es conectar a las personas con sus dispositivos de información como teléfonos móviles, relojes inteligentes, dispositivos de audio, etc.

- **RFID (Radio frecuencia identificación)**

La identificación por radio frecuencia presenta una comunicación sin cables determinando inequívocamente los objetos del sistema[31].

RFID tiene varias etiquetas:

- Pasivas. - Carece de fuente de alimentación y sensores, es el lector quien energiza y obtiene la información.
- Activas. - Contienen sensores que almacenan datos, carece de fuente de alimentación y son más costosos que las etiquetas pasivas, en ambos casos es el lector quien energiza y obtiene la información.

- **Bluetooth**

Tecnología que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos portables y móviles, desde la versión 4.0 aumento la tasa de transferencia, se mejoró la distancia y se incluyó la especificación de bajo consumo o “Low Energy” (Bluetooth LE). En la actualidad se encuentran dispositivos que permiten conexión de uno a muchos (Broadcast) y malla (Mesh) [31].

- **NFC (Near Field Communication, comunicación de campo cercano)**

La comunicación de campo cercano, utiliza radiofrecuencia para la comunicación de datos, fue diseñado para comunicación segura de corto alcance se utiliza en varios dispositivos móviles para leer la información y realizar transacciones [31].

Necesidades que cubren:

- Sistemas de pago
- Conexión entre teléfonos inteligentes
- Control acceso
- Servicios basados en localización (LBS)

- **IEEE 802.15.4**

El Instituto de Ingenieros de Electrónica y Electricidad establece en año 2006 el estándar IEEE 802.15.4 de comunicaciones de bajo coste, poco consumo y mínima utilización del ancho de banda para comunicación entre dispositivos.

Teniendo un alcance de 10 a 75 m dependiendo de la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor, además se adapta a distintas topologías como punto a punto y estrella [31].

- **WIFI 802.11 AD**

Esta especificación es conocida como “WiGig” y presenta un aumento en velocidades de transmisión que supera fácilmente la conexión de cable Ethernet Gigabit (100 Mbps). En IOT soporta el envío de un volumen alto de datos, pero tiene un limitado alcance de 10m debido a la alta frecuencia (60 Ghz) [31].

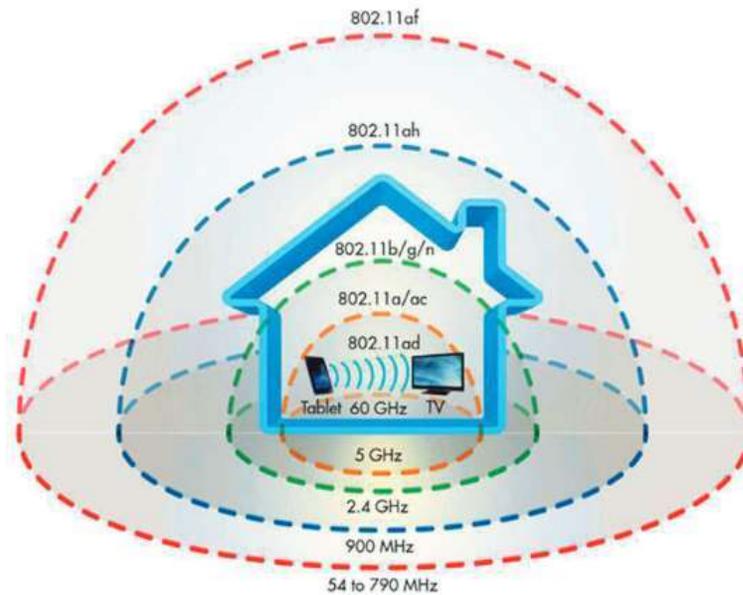
### **Redes LAN (Local Area Network, Redes de Área Local)**

Las redes de área local abarcan un espacio de trabajo reducido que va desde una casa a un edificio, pueden compartirse recursos entre varios computadores y aparatos informáticos con distintas topologías a distancias no excesivas.

- **802.11N**

Estándar que mejora la velocidad de transmisión, multiplica la tasa de transferencia y tiene gran alcance con respecto a sus antecesores. Funciona sin licencia en bandas de 2.4 a 5 GHz y es la más utilizada en hogares teniendo un rango de alcance 250 m. La velocidad de transferencia de datos es de 200 a 540 Mbps, utiliza tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output) generando una transmisión confiable por sus señales multitrayectoria que llevan información.

Para la transmisión de señales se utiliza OFDM(Orthogonal Frequency-division multiplexing, multiplexación por división ortogonal de frecuencia) esta técnica de modulación divide la señal en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias, el ancho de banda usa canales de 20 a 40 MHz. La Figura 11 muestra la cobertura de las diferentes tecnologías wifi[36].



**Figura 11.** Cobertura de tecnologías wifi [31].

- **802.11AH**

Estándar de comunicaciones conocido como “Halow”, Utiliza dispositivos con menor tasa de transferencia de datos en distancias mayores, cubriendo rangos hasta 1000m con bajas frecuencia 900 Mhz [31].

- **ZIGBEE**

El estándar 802.15.4 es una mejora de alianza Zigbee 2002, opera en 2.4 GHz con baja tasa de envío de datos, pero con alto nivel de seguridad y bajo consumo eléctrico, además tiene alcance de 100m[31].

Las versiones existentes son ZigBee Pro y ZigBee Remote Control (RF4CE ) que presentan seguridad, robustez, capacidad de adaptación y soporte de un gran números de nodos, bajo consumo ideal para el uso de sistemas IOT y M2M[1].

- **Z-WAVE**

Trabaja a frecuencias inferiores a Zigbee, diseñada para utilización en domótica (iluminación, sensores, monitoreo) es de bajo consumo y de baja capacidad de transferencia de datos hasta 100Kbps. Es robusta ante interferencias de redes wifi y otras en el rango de 2.4 Ghz.

La Z-Wave Alliance (z-wavwalliance.org) garantiza la interoperabilidad y certificar los dispositivos, destacando en uso de ipv6, bajo costo, confiabilidad, facilidad de uso, interoperabilidad, entre otros [32].

### **LPWAN (Low Power Wide Area Network, red de área amplia de baja potencia)**

Las redes se focalizan en pequeños consumos, bajo ancho de banda e interconexión de las cosas a grandes distancias.

- **LORAWAN**

Diseñado para la interconexión bidireccional de dispositivos a grandes distancias, con un mínimo consumo de energía, destacado por su seguridad, movilidad y servicios de localización. El protocolo LoRaWAN trabaja bajo la tecnología LoRa utilizando los chips con esta tecnología.

LoRaWAN con el uso de frecuencias menores a 1Ghz tiene un alcance hasta 20Km en condiciones geográficas ideales, en áreas rurales de 10 a 15 Km y en la ciudad de 2Km, los dispositivos operan con baterías [31].

- **SIGFOX**

La compañía denominada con el mismo nombre “SIGFOX” crea este protocolo de comunicaciones con tecnología de pago especializado en IOT. Opera en UNB (banda ultra estrecha) así cubre grandes distancias al trabajar en bajas frecuencias. Teóricamente sus dispositivos tienen autonomía de 10 años con el uso de baterías y no necesitan sincronización para transmitir. Una de sus principales desventajas es la baja capacidad de transmisión de 10 a 600 bps y maneja hasta 789 dispositivos conectados [31],[32].

- **WEIGHTLESS**

Weightless SIG (Special Interest Group) Estándar abierto de uso bidireccional fundada 2008, opera en frecuencia menores a 1Ghz, la compañía afirma que este estándar es “la mejor tecnología de conectividad IoT” por los siguientes factores.

- Seguridad
- Calidad de servicio
- Costo
- Capacidad

- Distancia de comunicación
- Estándar abierto
- Bajo consumo energético
- Alta fiabilidad

Este estándar soporta la conexión de varios objetos, teniendo estaciones base (BS, Base stations) y equipos finales (ED, end Devices), además las estaciones base se pueden formar una red e interconectarse. En zonas urbanas densas se alcanza hasta 2km con una capacidad de 200 a 100000 bps y es posible gestionar hasta 2769 dispositivos conectado [31],[32].

### **REDES DE TELEFONIA MOVIL (2G, GSM, GPRS, 3G, 4G, LTE)**

Las redes de telefonía móvil permiten un amplio abanico de posibilidades para la conexión de dispositivos IOT, donde se analizan características como: velocidad de transmisión, latencia, costos y tiempos de conexión. Por ejemplo, la tecnología 4G permite una amplia capacidad para transmitir datos, pero a un elevado costo y con alto consumo de energía.

Se puede utilizar la tecnología de las distintas generaciones (2G, GSM, GPRS, 3G, 4G, LTE entre otras) según la funcionalidad y características del proyecto. Uno de los factores de decisión son la tasa de descarga de datos: [32].

- GPRS de 35 a 170 Kbps.
- EDGE de 120 a 384 Kbps.
- UMTS de 384Kbps-2Mbps.
- HSPA de 600Kbps-10Mbps.
- LTE de 3 a 10 Mbps.

#### **1.4.8 Sensores**

Los sensores obtienen las variables físicas del entorno y la cambia a un sistema de medición cuantificable, puede ser señales analógicas o digitales, se pueden clasificar según las variables a medir teniendo sensores de velocidad, posición, proximidad, nivel, humedad, temperatura, flujo, PH, biométricos, corriente, entre otros.

Las principales características de los sensores se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Características de los sensores[37].

<b>Características</b>	<b>Detalles</b>
Rango	Intervalo mínimo y máximo de la variable física a medir.
Precisión	Grado de repetibilidad de la medida
Exactitud	Diferencia entre salida del sensor y el valor real de la variable física medida.
Offset	Distancia con el eje y de la curva de salida que toma un valor constante en ciertas condiciones de trabajo.
Resolución	Cambio mínimo en la variable a medir que es posible cuantificar.
Tiempo de respuesta	Lapso desde la toma de medida y el dato que registra.
Histéresis	Capacidad de acoplamiento la curva ideal.

#### **1.4.9 Actuadores**

Elemento capaz de generar un movimiento respondiendo a una señal eléctrica, a partir de la transformación de energía [37].

La clasificación se realiza en 2 grupos.

Por la fuente de energía

- Neumático: activado por aire.
- Eléctrico: activado por electricidad.
- Hidráulico: activado por un fluido.

Por el movimiento que genera

- Rotatorios
- Lineales

#### 1.4.10 Plataformas Hardware para IOT

Las plataformas hardware para desarrollar IOT están diseñadas y distribuidas para usuarios que les apasiona la informática y la tecnología, estos aparatos contienen placas electrónicas configurables de fácil manipulación y ensamblaje hay muchas plataformas en el mercado, pero sobresalen las plataformas hardware de Arduino, Raspberry PI, Intel Galileo y Esp8266 [38],[32].

Para la elección de la plataforma se debe cumplir con ciertos indicadores:

- Gestión de dispositivos
- Gestión de aplicaciones
- Conectividad
- Análisis
- Soporte
- Facilidad de prototipaje
- Ámbito de aplicación
- Escalabilidad
- Interfaz gráfica

Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto muy popular en el mercado, dispone de todo tipo de sensores y actuadores para la realización de pruebas y proyectos tecnológicos

El chip ESP8266 permite a los microcontroladores conectarse a una red WIFI mediante comandos Hayes, y cuenta con la pila TCP/IP completa muy utilizado en proyectos IOT [38].

Raspberry Pi se destaca por cumplir todas las funciones de un ordenador llevando un sistema operativo, permitiendo conectar pantalla, teclado, ratón e interactuar con la interfaz gráfica.

En un sistema general el Arduino recolecta la información de los sensores pasando a la raspberry que actuaría como controlador.

### 1.4.11 Puertos Serie

Son entradas/salidas digitales utilizados en la transmisión de datos de manera secuencial, para establecer una comunicación se requiere que los dispositivos cuenten con el protocolo de comunicación y se adapten a las señales.

- **UART (Unidad de transmisión serie asíncrona)**

Dispositivos electrónicos que traducen los datos de paralelo a serie, utilizando un registro de desplazamiento que organiza de manera secuencial la información, los datos son enviados por tramas, la trama se visualiza en la Figura 12 y se compone de:

- 1 bit para indicar el comienzo de la trama
- (5-8) bits de datos contrapendiente a información a enviar.
- (1-2) bits de paridad para asegurar la comunicación (“1” si el número de unos es impar y “0” si es par)
- 1 bit parada.



**Figura 12.** formato de la Trama a enviar por puerto serie[39].

La velocidad típica de comunicación es 9.600 baudios (9.600 bits en un segundo) a 115200 baudios.

Para la comunicación se utiliza el estándar RS232, Los micros utilizan únicamente 3 cables transmisión (TX), recepción (RX) y tierra, es necesario cruzar los cables de TX y Rx en los dispositivos para que uno envíe y el otro reciba y viceversa.

### 1.4.12 Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Server Telemetry Transport) es un protocolo creado en 1999 y estandarizado en 2014, basado en publicación-suscripción de mensajes entre máquinas (M2M). Alcanzó gran popularidad en soluciones IOT por ser de estándar abierto, requerir mínimo ancho de banda, bajo consumo y fácil implementación[40].

Para establecer una comunicación con MQTT se requiere un dispositivo que publique un mensaje en determinado tema y otro dispositivo suscripto en el mismo tema, el mensaje pasa por un elemento intermedio denominado bróker que se encarga de direccionar y organizar los mensajes. El bróker únicamente dirige no almacena ni modifica los mensajes.

#### Características de MQTT

- Protocolo liviano y eficiente optimizando el ancho de banda.
- Permite conexión de millones de dispositivos
- Mensajería confiable
- Mensajería bidireccional
- Dispone de autenticación, cifrado.

#### **Publicación y suscripción de mensajes**

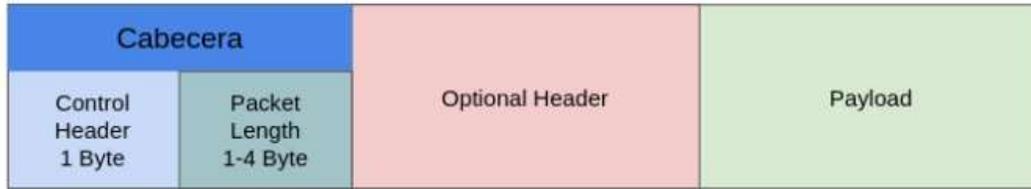
El cliente envía un mensaje al bróker de tipo “CONNECT” que tiene: identificador, persistencia y reconexión, usuario y contraseña, tema QoS(calidad de servicio) y mensaje desconexión inesperada , intervalo de tiempo “keep alive”, opción de mensaje retenido. Para la conexión solo el identificador, persistencia y reconexión y el intervalo de tiempo son obligatorios el resto es opcional [40].

Si la conexión entre el cliente y el bróker es exitosa se puede publicar o suscribirse en determinado tema, los temas se estructuran con “/” de manera jerárquica. Por ejemplo, se puede generar un tema “dormitorio/luz” o “casa/dormitorio/luz”.

El carácter comodín “+” se utiliza para suscribirse a varios niveles. Por ejemplo “casa+/luz” se estaría suscribiendo a los temas casa/dormitorio/luz y casa/sala/luz, etc. Mientras si se usa el comodín “#” se suscribe a todos los temas bajo este nivel casa “casa/#” [40].

Todos los mensajes entre el publicador y suscriptor se realiza bajo supervisión de QoS(Calidad de servicio).

Los mensajes MQTT siguen la trama de la Figura 13.



**Figura 13.** Estructura de la trama MQTT[41].

- “Cabecera” consta de 1 Byte de control e identificación de 1 a 4 Bytes para longitud del mensaje.
- “Optional header” es opcional, se usa para determinados casos llevando información adicional.
- “Payload” contiene información a enviar de 0 a 256 Mb teórico y real de 2 a 4 KB.

#### **1.4.13 Plataformas Software para IOT.**

Generalmente las plataformas software se alojan en la nube, en el borde o en la niebla su principal función es la conectividad con la plataforma hardware para obtener, analizar, generar acciones.

Las plataformas requieren un medio para interactuar con el sistema “interfaz del usuario”, además se debe incluir aplicaciones celulares, cuadros de control y botones de activación y desactivación.

Las características mínimas que debe cumplir una plataforma:

- Gestión de diferentes protocolos de comunicación
- Brindar seguridad
- Disponer de autenticación y control
- Acceso remoto
- Recolectar, organizar, analizar y visualizar datos

Grandes compañías presentan el desarrollo de plataformas como:

Amazon con Amazon Web Services, Microsoft Con Microsoft Azure, General Electric con Predix, Home Assistant, entre otros. Utilizando Python, JavaScript, C/C embebido, R, PHP para la programación[32].

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Desarrollar un sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción de forraje con arquitectura IoT.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Investigar los parámetros técnicos adecuados para el sistema de monitoreo hidropónico aplicado a la producción de forraje con arquitectura IoT.
- Seleccionar el sistema electrónico para la comunicación y levantamiento de datos característicos.
- Construir un sistema de monitoreo con visualización en una interfaz gráfica de usuario de las variables que intervienen en el sistema.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales**

En la etapa del desarrollo e implementación del presente proyecto se utilizó: libros, revistas, artículos científicos, tesis e investigaciones, documentos de páginas web, datos estadísticos con características elementales y actualizadas de acuerdo con el tema, adicionalmente, se requiere componentes electrónicos, estructuras y soportes junto con su hoja de datos y características técnicas.

#### **2.2 Métodos**

##### **2.2.1 Modalidad de Investigación**

El presente proyecto se basó en la creación de un sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IoT. que engloba tecnologías de análisis, monitoreo y control. Aportando una alternativa de alimentación saludable para animales de granja. Utilizando las siguientes modalidades de investigación.

- Investigación aplicada para el diseño y desarrollo completo del sistema empleado los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.
- Investigación Bibliográfica para la recopilación de información sobre forraje verde hidropónico e IoT. utilizando recursos bibliográficos de libros, tesis, revistas científicas y artículos relacionados al tema tanto a nivel nacional como internacional.
- Investigación experimental para el diseño y ensamble de dispositivos electrónicos (sensores, actuadores, placas, relés, entre otros), para formar el sistema IOT. Mediante pruebas de campo se calibró y examino cada componente del sistema para su óptimo funcionamiento.

### **2.2.2 Recolección de información**

Para el desarrollo de este proyecto, la información se analizó y procesó de libros, revistas científicas, artículos relacionados al tema u otras fuentes bibliográficas que respalden los datos y aporten información de los sistemas hidropónicos para producción de follaje. A esto, se suma la información técnica de desarrolladores de aplicaciones de monitoreo y uso de módulos y sensores para acoplarlos adecuadamente.

### **2.2.3 Procesamiento y análisis de datos**

La información recopilada se analizó de manera crítica para obtener las características técnicas del sistema, eliminando información redundante e incompleta. De este modo, obteniendo información relevante y puntual requerida para el proyecto. cumpliendo los siguientes lineamientos:

- Revisión y clasificación de la información.
- Análisis de la información bibliográfica de FVH y hojas de datos de dispositivos electrónicos en sistemas de monitoreo e IOT.
- Planteamiento de estrategias de solución.
- Pruebas del sistema y validación con los datos obtenidos.

### **2.2.4 Desarrollo del proyecto**

El proyecto se desarrolló según con las siguientes actividades:

- Determinación de los factores ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo para la producción de FVH.
- Construcción de la infraestructura tipo invernadero para el sistema hidropónico de acuerdo con los parámetros técnicos requeridos en la agricultura.
- Identificación de la semilla y las vulnerabilidades que se presentan en los cultivos hidropónicos.
- Selección de los dispositivos electrónicos, mecánicos y sensores para el sistema de control.
- Análisis de la Arquitectura IoT para aplicarlo al control de sistemas hidropónicos.
- Análisis de los sistemas electrónicos y tecnologías para la comunicación.

- Diseño del sistema de monitoreo hidropónico y visualización de los parámetros de funcionamiento.
- Implementación del sistema de monitoreo al cultivo con generación de alertas automáticas ante anomalías en los parámetros físicos.
- Implantación de pruebas de ejecución y corrección de errores.
- Análisis de los datos obtenidos.
- Elaboración del informe final.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis y discusión de los resultados

##### 3.1.1 Análisis de los parámetros para forraje verde Hidropónico.

Los sistemas de FVH requieren el control de condiciones ambientales como: temperatura, humedad, riego, aireación y luminosidad para producir forraje de calidad. Los problemas comunes se dan con la presencia de hongos por temperatura elevadas, baja circulación de aire y exceso de riegos[18].

Para generar un cultivo de calidad se requiere controlar varios factores en los sistemas de automatización, que brinden condiciones óptimas para la germinación y crecimiento del FVH. La temperatura por ningún motivo debe exceder los 32 °C manteniéndose en un rango de 10 a 28 °C, la humedad relativa debe oscilar entre el 30 a 90 %. El PH debe estar entre 5.2 a 7 de nivel de PH. El total de sólidos disueltos en el agua debe mantenerse entre 750 a 1500 ppm. Al utilizar nebulizadores permiten una buena oxigenación de la solución nutritiva. El resumen de parámetros de medición se muestra en la tabla 5 [15], [24],[20].

**Tabla 5.** Factores de medición para FVH [15], [25],[20].

Parámetros de medición	Rango	
	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	10	28
Humedad (%)	30	90
PH(PH)	5.2	6.7
TDS (ppm)	750	1500

En la etapa de germinación del cultivo no debe exponerse al sol y el riego no debe ser mayor a 0.5 litros/m<sup>2</sup>. Los días restantes la exposición debe ser bajo una malla de sombra la cual brinda el 50% y el riego debe mantenerse de 0.9 a 1.5 litros/m<sup>2</sup> por día . Se debe regar entre 4-9 veces al día, el tiempo de cada riego no debe ser mayor a 2 minutos [42].

El FVH se puede utilizar para cubrir la dieta de ganado vacuno, caprino, porcino, avícola, cunícola. Generando grandes ventajas en: crecimiento, aumento de grasas blancas y disminución de grasas amarillas, buena apariencia de las carnes y en las aves de postura aumento de tamaño en los huevos.

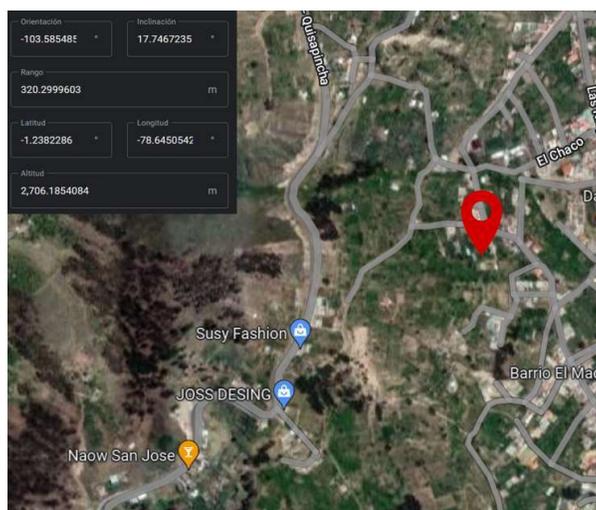
La crianza, producción y consumo de cuyes en Ecuador genera gran demanda en todas las regiones, especialmente en la región Sierra debido a que es un producto ancestral con alto contenido de proteína y bajo en grasa.

Ecuador produce cada año 47 millones de cuyes para venta y consumo, generando un total de 14300 toneladas de producto[43].

Los cuyes se comercializan en Ecuador a las 12 semanas de edad con un peso entre 1200 a 1400 gramos a un precio estimado de 6 a 8 \$ dólares. Para la obtención de mejores resultados en ganancia de peso se debe utilizar 50% de FVH y 50% de avena de corte, notando que un cuy consume un aproximado de 200 a 420 g de alimento mixto al día desde la semana 4 a la semana 12 respectivamente [44],[45].

### 3.1.2 Ubicación del Sistema de FVH

EL sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IOT, se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua en el cantón Ambato, parroquia San Bartolomé de Pinllo barrio la Unión a una altitud de 2698.06 metros sobre nivel del mar como se visualiza en la Figura 14.



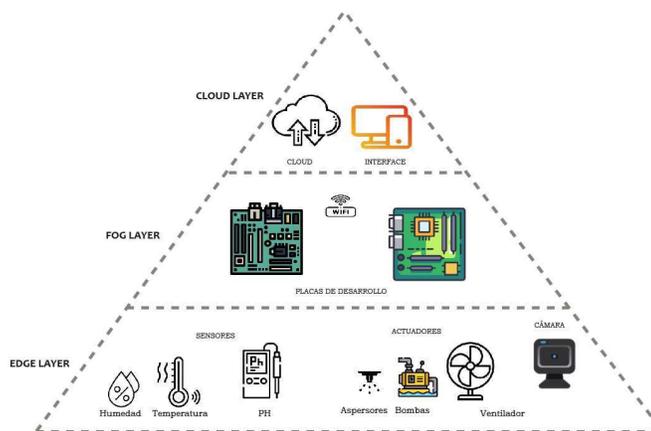
**Figura 14.** Ubicación geográfica del sistema Hidropónico.

Al ser un sector rural los habitantes de este lugar se dedican a la cría y comercialización de cuyes, gallinas, conejos y vacas. La alimentación de estos animales es de forma tradicional con (alfalfa, hoja maíz y afrecho). Por tal motivo el lugar es idóneo para experimentar aplicando como suplemento el forraje verde hidropónico a la dieta de los animales realizar pruebas y obtener resultados.

### 3.1.3 Desarrollo e implementación del sistema

La implementación del sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IOT, permite generar forraje como una alternativa saludable, multivitamínica y de fácil digestión para los animales en un medio controlado “invernadero”, reduciendo significativamente el espacio de producción y el uso del agua, además la producción se mantiene constante e independiente de las temporadas que afectan los cultivos.

El sistema requiere tomar datos de los sensores (temperatura, humedad, TDS, PH) analizarlos, procesarlos y tomar decisiones asertivas para el cultivo, además de discernir los datos a enviar a la nube para acceso y control remoto del usuario. La arquitectura IoT utilizada está basada en la “Fog Computing” detallada en la Figura 15.



**Figura 15.** Arquitectura Fog Computing para FVH.

**Elaborado por:** el investigador.

La arquitectura de computación de niebla (Fog Computing) realiza el procesamiento, análisis y toma de decisiones cerca a los sensores, reduciendo así el ancho de banda ya

que no se envía la inmensa cantidad de datos para el análisis en la nube. Aunque para la conexión se requiere una pasarela o nodo externo para subida y bajada de datos.

**La capa Edge** agrupa sensores, actuadores y dispositivos Smart. Estos dispositivos deben obtener la información del ambiente y realizar acciones demandadas por la capa Fog.

**La Capa Fog** contiene las placas de desarrollo. Encargados de recibir información y enviar tareas a los dispositivos de la capa Edge luego de procesarlos, además la Capa Fog se encarga de enviar los datos seleccionados a la capa Cloud.

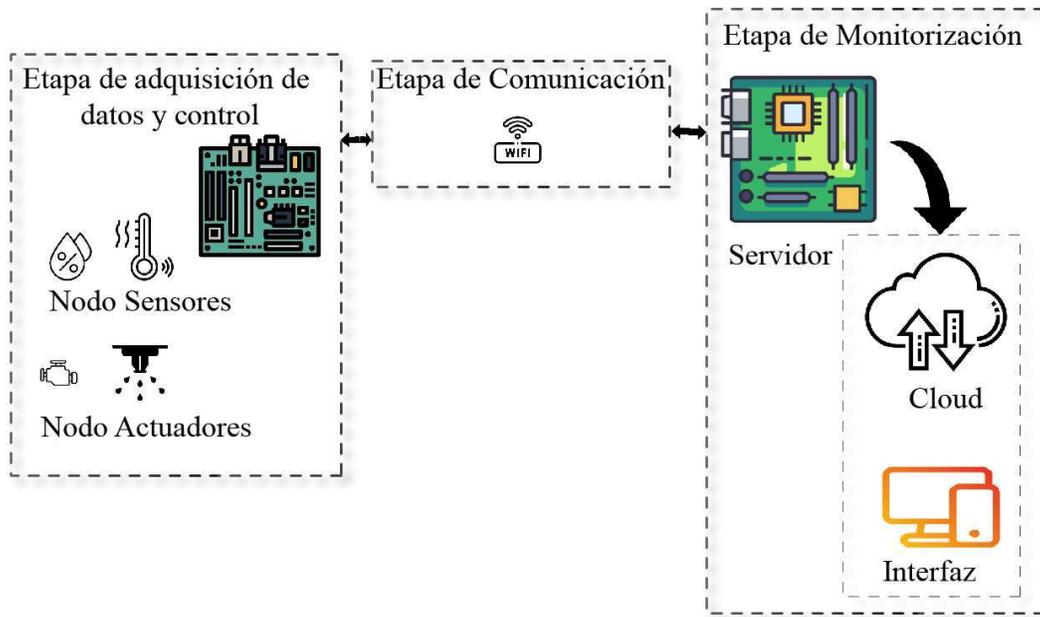
**La capa Cloud** es un vínculo entre dispositivos fuera de la zona para monitoreo y control de forma remota.

El sistema electrónico consta de 5 bloques: nodo de sensores, nodos actuadores, etapa de control, etapa de comunicación y etapa de monitorización.

**El nodo sensor** adquiere 4 variables físicas (PH, temperatura, total de sólidos disueltos y humedad) que son de suma importancia para el control del sistema. Luego las variables son convertidas en señales analógicas o digitales y transmitidas a la etapa de adquisición de datos y control. En este punto se analiza cada dato obtenido para la activación y desactivación de actuadores (bombas, electroválvulas y ventilación) dependiendo de los lineamientos técnicos para la producción del Forraje verde hidropónico.

**La etapa de comunicación** es el enlace entre la etapa de adquisición de datos y la etapa de monitorización que se encarga de transmitir los datos de forma bidireccionales para el monitoreo y control de forma remota.

**La etapa de monitorización** cuenta con un servidor capaz de agrupar y visualizar las variables físicas del entorno, proporcionando una interfaz amigable y flexible para el usuario. además de controlar parámetros relevantes para el óptimo funcionamiento del sistema. La Figura 16 muestra la distribución del sistema.



**Figura 16.** Esquema general del prototipo hidropónico inteligente

**Elaborado por:** el investigador

### 3.1.4 Selección de Materiales

#### Selección del sensor de temperatura

En [15], [21] se recomienda que los sistemas de forraje verde hidropónico requieren un control de temperaturas desde 10 a 28 °C y no excederse de 32 °C. Partiendo de este rango de trabajo se escogió tres tipos de sensores realizado una comparación entre el sensor LM35, la Termocupla Tipo K y el sensor DS18B20 detallado en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Cuadro comparativo de sensores de temperatura [46], [47], [48].

Características	LM35	Termocupla Tipo K	DS18B20
Voltaje Operación(V)	4-30	5	3-5.5
Rango trabajo (°C)	-55° a 150°	-200 ° a 1100 °	-55 ° a 125 °
Precisión	±1/4°	+/-2,2°	±0.5°
Resolución	1°C	5°C	9 bits o 12 bits

Luego de un análisis técnico se opta por utilizar el sensor de temperatura DS18B20 ya que cumple con las características del proyecto teniendo una protección de acero inoxidable en la sonda ideal para mediciones en sitios con porcentajes altos de humedad, el rango de funcionamiento es de -55 °C a 125 °C que es compatible con módulos I2C y aplicable para controles ambientales de hidroponía y acuaponía, además tiene un bajo costo y es accesible de encontrar en el mercado.

### **Selección del sensor de Humedad**

En [20], [27] se recomienda que la humedad relativa dentro del invernadero debe ser mayor a 30% y menor al 90% para la producción de FVH, acogiendo estas características se realizó la comparación entre los sensores de humedad SHT-11 y DTH-11 detallando sus características en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Cuadro comparativo de sensores de humedad [49].

<b>Características</b>	<b>SHT-11</b>	<b>DTH-11</b>
<b>Voltaje Operación(V)</b>	2.4-5.5	3.3-6
<b>Rango de humedad %</b>	0-100 HR	0-100 HR
<b>Precisión %</b>	±3%	+/-2 Rh
<b>Resolución</b>	0.05% (12 bits)	8 bits
<b>Costo \$</b>	2.50	2.10

Se selecciona el sensor DTH-11 ya que presenta mejor precisión y es de fácil manipulación e implementación con el microcontrolador. Además, tiene menor costo que el sensor STH-11 y se encuentra accesible en el mercado.

### **Selección del sensor de PH**

En [15],[25] se explica que el PH (medida de la acidez o alcalinidad de una solución), muestra la concentración de iones de Hidrogeno [H]<sup>+</sup> en la solución nutritiva de producción de FVH y debe oscilar entre 5.2 a 7 niveles de PH, respaldándose en esta recomendación se comparó entre el sensor PH-4502C y módulo SEN0161 indicando sus características técnicas en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Cuadro comparativo del sensor de PH [50], [51].

<b>Características</b>	<b>SEN0161</b>	<b>PH-4502C</b>
<b>Voltaje Operación(V)</b>	5	5
<b>Rango de medición (PH)</b>	0-14	0-14
<b>Precisión</b>	±0.1PH(25°C)	±0.1PH(25°C)
<b>Tiempo de respuesta</b>	<= 1 min	0.5seg
<b>Conector de la sonda</b>	BNC	BCN
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	0-60°C	10-50°C
<b>Requiere calibración</b>	Si	Si
<b>Costo \$</b>	65	40

Para la medición de PH se optó por utilizar el sensor PH-4502C debido a su inferior costo y disponibilidad en el mercado, además el tiempo de respuesta es menor en comparación al sensor SEN0161. Cuenta con un electrodo de cloruro de plata o plata y un electrodo de vidrio sensible a los iones de hidrogeno, además incluye el circuito de acondicionamiento para el Arduino.

#### **Selección del sensor de Total de Sólidos Disueltos en el agua “TDS”**

En [15],[25] para óptimas condiciones se plantea que la medida de TDS de la solución nutritiva debe estar entre 750 a 1500 ppm (partes por millón). En base a estos parámetros se comparó los sensores DFR0300-H y CQRSENTDS01 exponiendo las características en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Cuadro comparativo de los sensores de TDS [52], [53].

<b>Características</b>	<b>DFR0300-H</b>	<b>CQRSENTDS01</b>
<b>Voltaje Operación(V)</b>	3.5- 5	3.3-5
<b>Rango de medición</b>	0-20(ms/cm)	0-1000(ppm)
<b>Precisión</b>	±5%F.S	±10%F.s
<b>Conector de medición</b>	BNC	JST 2.0mm 3-pin
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	0-40°C	0-55°C
<b>Rango salida V</b>	0-3.2	0-2.3

Para la obtención del valor de TDS se optó por el sensor CQRSENTDS01 junto a módulo ADS para la conexión, ya que el dispositivo se encuentra disponible en el mercado además brinda un rango de medición en ppm y no se necesita conversión.

### **Módulo de reloj**

Los sistemas de FVH requieren riegos temporizados por lo cual se optó por utilizar el módulo DS3231 que es un reloj en tiempo real muy exacto, que funciona con una batería de litio y cuenta con interfaz I2C compatible con Arduino y Raspberry. El voltaje de entrada es de 3.3 a 5 VDC y dispone de soporte hasta el año 2100[54].

### **Selección de placa de desarrollo.**

Se realizó la selección de una placa de desarrollo para la adquisición de datos, análisis y toma de decisiones, se comparó entre el Arduino Uno y el Arduino Mega 2560. La Tabla 10 muestra las características técnicas de cada placa.

**Tabla 10.** Cuadro comparativo de placas de desarrollo Arduino [55],[56].

	<b>Arduino Uno</b>	<b>Arduino Mega</b>
<b>Microcontrolador</b>	ATmega328P	ATmega2560
<b>Voltaje de operación</b>	5V	5V
<b>Voltaje de entrada recomendado</b>	7-12V	7-12V
<b>Límite de voltaje de entrada</b>	6-20V	6-20V
<b>Pines digitales</b>	14 incluyendo 6 PWM	54 incluyendo 15 PWM
<b>Pines PWM</b>	6	15
<b>Pines analógicos</b>	6	16
<b>DC corriente por I/O PIN</b>	20 mA	20mA
<b>DC corriente por 3.3V PIN</b>	50 mA	50mA
<b>Memoria Flash</b>	32 KB (0.5 KB para bootloader)	256 KB (8 KB para bootloader)
<b>SRAM</b>	2 KB (ATmega328P)	8 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB (ATmega328P)	4 KB
<b>CLOCK SPEED</b>	16 MHz	16 MHz
<b>LED_BUILTIN</b>	13	13
<b>LENGTH</b>	68.6 mm	101.52 mm

<b>WIDTH</b>	53.4 mm	53.3 mm
<b>WEIGHT</b>	25 g	37 g
<b>Puertos UART</b>	1	4
<b>Costo \$</b>	13	25

Las características del proyecto demandan el uso de varias entradas y salidas digitales, para la conexión de sensores, actuadores y botones. El control total de dichos componentes electrónicos requiere un gran volumen de memoria.

Se optó por utilizar la placa de desarrollo del Arduino Mega 2560 que presenta 54 puertos I/O digitales configurables y 14 analógicos. Otro factor decisivo fue el aumento en 4 veces la capacidad de memoria SRAM y 8 veces la capacidad de memoria Flash con respecto al Arduino Uno.

### **Placa de conectividad**

Al utilizar el Arduino Mega 2560 se requiere un dispositivo que permita la conectividad con Wifi se optó por el kit de desarrollo NodeMCU v1.0 (Versión 2), ya que es una plataforma de software y hardware abierta, consta de un chip con wifi ESP8266, desarrollado para conexión a internet y muy popular en proyectos de IoT. Funciona con 32 bit y soporta el estándar 802.11 b/g/n.

La NodeMCU v1.0 (Versión 2) opera bajo el estándar 802.11n en frecuencias de 2.4Ghz a 72.2Mbps, requiere voltajes de 2.5 a 3.6 V a 80mA, tiene un regulador integrado de 3.3 v a 600 mA, dispone de 11 pines digitales, 1 pin analógico, 4 pines PWM y cuenta con 2 interfaces UART y comunicación SPI e I2C, además es compatible con varios entornos de programación.

### **Selección del servidor**

La placa elegida será utilizada para alojamiento del servidor, logrando así que los usuarios puedan obtener información en tiempo real del sistema, se realiza un análisis entre las placas NVIDIA Jetson Nano Maxwell 2.0 y Raspberry Pi 3B V1.2 detallando las características técnicas en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Selección de la placa de desarrollo para el servidor [57], [58].

Dispositivo	NVIDIA Jetson Nano Maxwell 2.0	Raspberry Pi 3B V1.2
<b>GPU</b>	NVIDIA Maxwell™ de 128 núcleos	Broadcom VideoCore IV @ 400MHz
<b>Procesador</b>	ARM Cortex-A57 de 4 núcleos a 64 bits	Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.2GHz
<b>Memoria RAM</b>	4 GB	1GB
<b>Red</b>	Ethernet 10/100/1000BASE-T	Ethernet 10/100
<b>Almacenamiento</b>	MicroSD	MicroSD
<b>Conectividad de Red</b>	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
<b>Conectividad Inalámbrica</b>	No tiene	Wifi, Bluetooth 4.2, BLE
<b>Alimentación</b>	5V / 2A a través del puerto micro USB	micro USB, 750mA hasta 1.2A a 5V
<b>USB</b>	4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B	4 x USB 2.0
<b>Sistema Operativo</b>	Linux con SDK de Nvidia	Linux Rasbian
<b>Puertos</b>	40 pines GPIO	40 pines GPIO
<b>Precio</b>	\$250	\$85

Realizado el análisis entre las dos placas se optó por la Raspberry Pi 3b V1.2 tomando en cuenta las ventajas como los diferentes métodos de conexión inalámbrica Wifi, Bluetooth además de la conectividad de red que ofrece, una característica que influyó para la selección fue el precio el cual es más accesible para el usuario, además que es de fácil adquisición en el mercado a diferencia de la Jetson Nano, otro factor importante fue la cantidad de información que se puede encontrar en el internet para trabajar con esta placa.

### Selección del software

Se requiere una solución para el monitoreo, visualización, conectividad, control y automatización, siendo una interfaz de interacción para el usuario. Se analiza 3 plataformas: OpenHab, Home Assistant, Node red, detallando las características en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Selección del Software[59], [60],[61].

<b>Software</b>	<b>OpenHab</b>	<b>Home Assistant</b>	<b>Node red</b>
<b>Automatización</b>	XBase se puede instalar complementos JSR223	Python, App-daemon, archivo YAML	NodeJS y la librería de JavaScript D3.js.
<b>Dispositivos que soporta</b>	Soporta 800 dispositivos	Soporta 1400 dispositivos	Soporta +200 dispositivos
<b>Usuarios</b>	Comunidad de usuarios en crecimiento	Comunidad de usuarios numerosa para resolver problemas	Comunidad de usuarios numerosa y en crecimiento
<b>Interfaz de usuario</b>	Interfaz de papel, la interfaz básica basados en Material Design Lite de Google. y el HABmin	Basada en Material Design Incluye la vista predeterminada, Lovelace, así como el panel de control de Home Assistant	La estructura mínima son los nodos, se arrastran a través de la interfaz gráfica y nos permiten hacer una tarea concreta.
<b>Ritmo de desarrollo</b>	Desarrollo en la comunidad es bastante lento	Lanzamientos semanales con los últimos gadgets	Desarrollo en la comunidad es bastante lento
<b>instalación en dispositivos</b>	Raspberry Pi	Raspberry Pi, Orange Pi Zero o similares	Raspberry Pi o Beaglebone Black IBM Bluemix, Azure IoT o Sofia2 Platform.
<b>Plataformas de funcionamiento</b>	Linux, Windows y OSX	RaspBerry Pi, Odroid Asus Tinkerboard Equipos C64 y X86 macOS Linux, Windows	Windows, Linux o Mac
<b>Requerimientos de instalación</b>	Máquina virtual Java	Balena Echer, Advanced IP Scanner, Notepad++, descargar la imagen de Hass.io	Node.js y npm (node.js administrador de paquetes)
<b>Periféricos</b>	Instalación de periféricos de distintos fabricantes.	Instalación de periféricos de distintos fabricantes.	Instalación de periféricos de distintos fabricantes.

Se ha seleccionado el software de Home Assistant debido a que las integraciones, automatizaciones y control se realizan con Python 3 mediante la configuración del archivo “Yaml”, además posee una gran comunidad para la resolución y consulta de problemas.

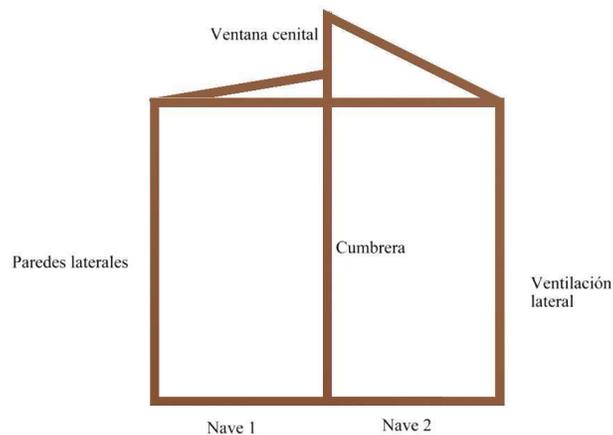
Nabu Casa, gestiona la conexión de servicio en la nube de Home Assistant aportando funciones de administración, instalación y movilidad. Los datos son almacenados en SQLite, sin embargo, tiene flexibilidad para operar con otra base de datos.

El código fuente de SQLite es público y escribe directamente en archivos de disco ordinario, trabaja con sistemas de 32 y 64 bits. Otra ventaja es que Home Assistant es compatible con los principales asistentes de voz disponibles en el mercado como son Amazon Echo y Google Home.

### 3.1.5 Análisis, y Diseño de la infraestructura del invernadero para el sistema hidropónico de acuerdo a los parámetros técnicos requeridos en la agricultura.

El invernadero tipo capilla es ideal para la producción de FVH ya que permite un control adecuado de los factores ambientales y cuenta con mejor distribución del espacio en comparación con los invernaderos tipo plano y túnel.

La estructura del invernadero consta de 2 naves unidas por una cumbrera central, además de ventilación cenital en la parte superior y ventilación lateral que facilita la eliminación del aire caliente. Las partes por las que está compuesto el invernadero se visualiza en la Figura 17.



**Figura 17.** Partes de invernadero tipo capilla.

**Elaborado por:** el investigador.

Las consideraciones técnicas del invernadero tipo capilla señalan que las paredes laterales deben ser mayor a 1.8m y la cumbrera debe medir entre 3 a 3.5 m, además la ventana cenital debe medir entre 0.5 a 0.75 m y la pendiente debe tener entre 10 a 30 % de inclinación.

El recubrimiento del invernadero se debe realizar con plástico transparente blanco con sombra entre 25 a 30 %.

Se construyó el invernadero en base a las especificaciones dadas en [1],[14],[16],[18] siendo las dimensiones: cumbrera de 3.35 metros de alto, paredes laterales de 2.6 metros y una pendiente para la nave1 con una inclinación de 30%.

Se utilizó la Ecuación [2] que permite calcular el ancho de un invernadero tipo capilla por naves.

#### **Ecuación 2:**

$$Al = (Hc - Hp) \times \frac{100}{P1}$$

#### **Datos:**

Paredes laterales (Hp) = 2.6 m

Cumbrera (Hc) = 3.35 m

Pendiente de la Nave 1 (P1) = 30(%)

Calculó del ancho de la nave 1 con una pendiente del 30%.

$$Al1 = (3.35 - 2.6) \times \frac{100}{30}$$

$$Al1 = (3/4) \times 10/3$$

$$Al1 = 2.5 \text{ m}$$

El ancho de la nave1 "Al1" es 2.5 metros procurando obtener un invernadero simétrico se asume que el ancho de la nave2 "Al2" es 2.5 metros.

Teniendo como datos la altura de las paredes laterales 2.6m, el valor del ancho de nave 2 que es de 2.5 metros y asumiendo una pendiente mínima (P2) del 10%, se hace el cálculo para la altura de la cumbrera (Hc2) en la nave2.

$$Hc2 = \left( Al2 * \frac{P2}{100} \right) + Hp$$

$$Hc2 = \left( 2.5 * \frac{10}{100} \right) + 2.6$$

$$Hc2 = 2.85 \text{ m}$$

La Distancia de la ventana cenital (Dvc) resulta de la diferencia entre la altura del cumbrero de la nave1 (Hc) y la altura del cumbrero de la nave2 (Hc2).

$$Dvc = Hc - Hc2$$

$$Dvc = 3.35 - 2.85$$

$$Dvc = 0.5\text{m}$$

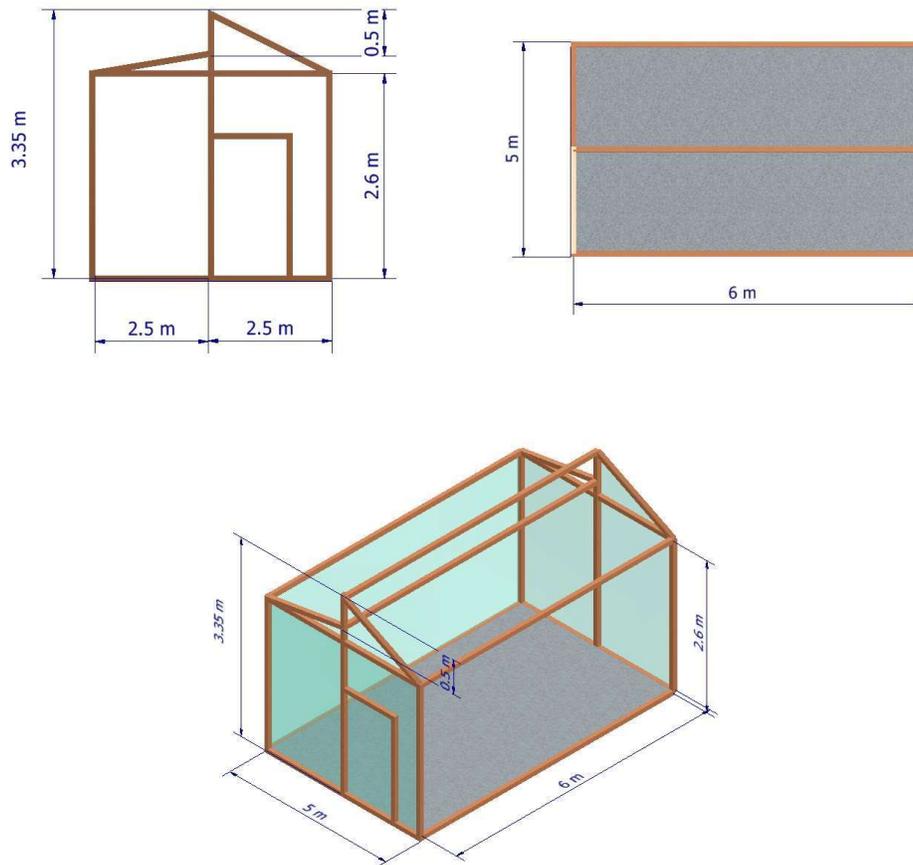
Mediante los cálculos se obtuvo las características resumidas en la Tabla 13.

**Tabla 13:** Características de construcción del invernadero tipo capilla con ventana cenital.

**Elaborado por:** el investigador.

<b>Características</b>	<b>Nave 1</b>	<b>Nave 2</b>
<b>Alto de la pared lateral(m)</b>	2.6	2.6
<b>Ancho(m)</b>	2.5	2.5
<b>Altura de la cumbrera(m)</b>	3.35	2.85
<b>Pendiente (%)</b>	30	10
<b>Ancho Ventana cenital (m)</b>	0.5	
<b>Largo (m)</b>	6	

El diseño del prototipo se realizó en el software Autodesk Inventor Profesional lo que permitió visualizar y analizar la estructura corroborando las dimensiones calculadas. Teniendo una visión real del prototipo antes de su fabricación, detallando sus dimensiones en la Figura 18.



**Figura 18.** Diseño de Invernadero Tipo capilla con ventana cenital.

**Elaborado por:** el investigador.

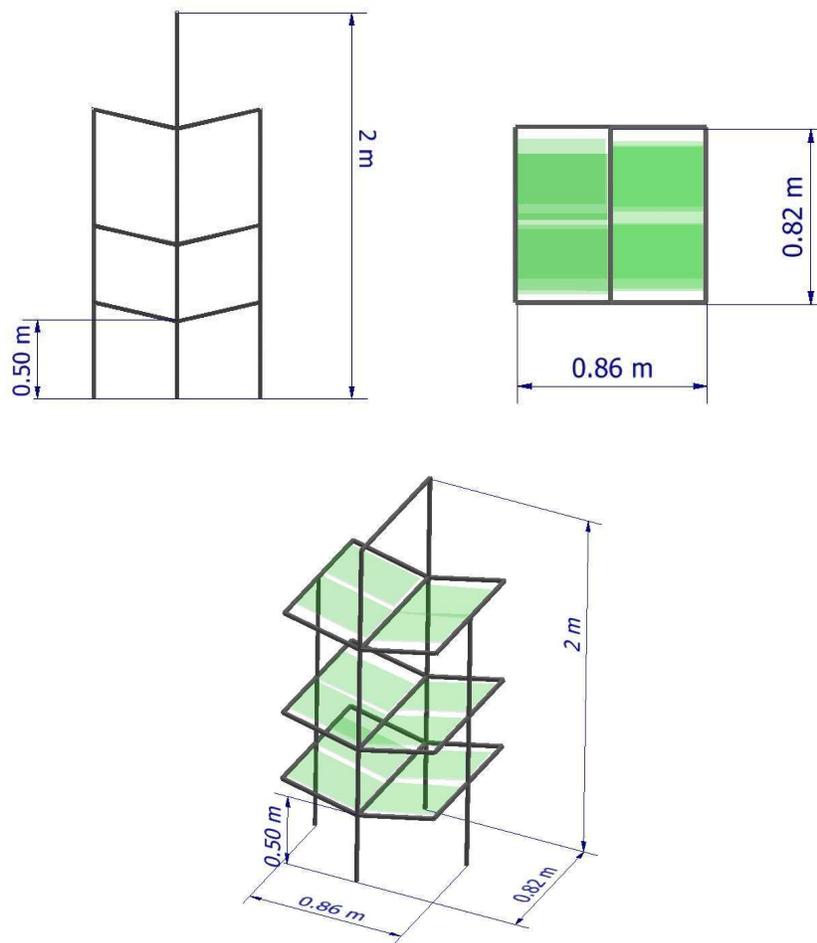
### **Modulares de soporte y bandejas**

Los modulares deben tener de 4 a 6 niveles con separación de mínima de 50 cm entre cada nivel y debe tener una pendiente de 10 grados para el drenaje. Además, los nebulizadores deben estar ubicados entre 30 a 40 cm de las bandejas para obtener una gota uniforme.

Para la elección de las bandejas se analizó el material de construcción, disponibilidad en el mercado y tamaño de las bandejas, encontrando bandejas de plástico de 0.45x0.35 m comúnmente utilizado en la hidroponía.

Acogiendo las características de [19] se diseñó un modular de 0.82 m de ancho, 0.86 m de largo y 2 m de altura. Con capacidad para 12 bandejas de 0.45x0.35 metros cada una, la Figura 19 muestra el diseño realizado.

Los modulares constan de una inclinación de 10 grados para cada bandeja y separación entre niveles de 0.50 metros, para posteriormente ubicar los nebulizadores a 0.40 metros de las bandejas.



**Figura 19.** Diseño del modular de soporte para FVH.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.1.6 Identificación de la semilla y las vulnerabilidades que se presentan en los cultivos hidropónicos.

Para la producción de FVH se puede utilizar semillas de (maíz, avena, cebada, trigo, sorgo, triticale, centeno, entre otros). En [28] se presenta un análisis bromatológico de la semilla de avena Sativa y cebada presentando mejores resultados en tanto a proteína bruta y fibra la semilla de Avena. Concluyendo que las semillas de la avena poseen mejor calidad nutricional.

Basados en este estudio se escogió la semilla de la Avena para el cultivo de FVH.

### 3.1.7 Soluciones nutritivas líquidas para el cultivo

La aplicación de macro y micro elementos en el cultivo ayuda a las plantas a generar un mayor tapete radicular, mejor crecimiento y desarrollo.

Para la regulación de PH se utilizó el fijador y regulador de profixol, y para aplicar los nutrientes necesarios se recurrió a 3 soluciones concentradas A, B, C obtenidas mediante la Empresa “Hidroponía Ecuador”. La Tabla 14 muestra cada componente de la solución nutritiva utilizada.

**Tabla 14.** Formulación de las soluciones nutritivas A, B, C.

**Fuente:** “Hidroponía Ecuador”

<b>Solución nutritiva (A) concentrada de macroelementos</b>	<b>Solución nutritiva (B) concentrada de macroelementos</b>	<b>Solución nutritiva (C) concentrada de microelementos</b>
<b>Nitrógeno(N): 2.40%</b>	Nitrógeno(N): 2.50%	Magnesio(MgO): 1.28%
<b>Calcio (CAO): 4.03%</b>	Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ): 2,60%	Azufre (S): 1,4%
	Potasio (K <sub>2</sub> O): 7,57%	Hierro (Fe): 450ppm
		Boro(B): 112.50 ppm
		Manganeso(Mn): 112.50 ppm
		Zinc(Zn): 51.75 ppm
		Cobre(Cu): 37.50 ppm
		Molibdeno(Mo): 20.25 ppm

### 3.1.8 Dosis de siembra y rendimiento del Cultivo.

La dosis de siembra de la avena es de 300 a 350 gramos por bandeja de 0.35x0.45 metros de medida exterior con una magnitud aprovechable de 0.42x0.30 metros.

En [62] se explica que las densidades óptimas de siembra por metro cuadrado debe ser de 2.2 a 3.4 Kg de semilla, generando 3 Kilogramos de forraje por cada kilogramo de semilla.

Cálculo del Área de cultivo de la bandeja:

$$\text{Area} = L * A$$

$$\text{Area} = 0.42\text{m} * 0.30\text{m} = 0.126 \text{ m}^2$$

Densidad de siembra del cultivo:

$$D_{\text{min}} = \left(\frac{2.2\text{kg}}{1\text{m}^2}\right) \times 0.126 \text{ m}^2 = 0.2772 \text{ Kg por bandeja.}$$

$$D_{\text{max}} = \left(\frac{3.4\text{kg}}{1\text{m}^2}\right) \times 0.126 \text{ m}^2 = 0.4284 \text{ Kg por bandeja.}$$

Rendimiento aproximado del cultivo:

$$R_{\text{min}} = \left(\frac{3 \text{ kg de forraje}}{1 \text{ Kg semilla}}\right) \times 0.2772 \text{ Kg por semilla} = 0.8316 \text{ Kg}$$

$$R_{\text{max}} = \left(\frac{3 \text{ kg de forraje}}{1 \text{ Kg semilla}}\right) \times 0.4284 \text{ Kg por semilla} = 1.2852 \text{ Kg}$$

Mediante el análisis de rendimiento la producción estará ente 0.8 a 1.2 Kilogramos de Forraje por cada Kilogramo de semilla.

### 3.1.9 Análisis de la necesidad de agua diaria (Nad)

La FAO recomienda realizar de 6-9 riegos diarios con duración no mayor a 2 minutos y aplicarse de 0.9 a 1.5 litros por metro cuadrado, conociendo que el área de la bandeja es de 0.126m<sup>2</sup> se puede calcular la necesidad de agua diaria.

**Datos:**

Área de la bandeja: 0.126m<sup>2</sup>

Consumo máximo de agua recomendado diario: 1.5 litros/m<sup>2</sup>

$$Nad = 0.126m^2 * \left(\frac{1.5 \text{ litros}}{1 m^2}\right)$$

$$Nad = 0.189 \text{ litros por día}$$

Tomando encuentra que la FAO recomienda de 6 a 9 riegos diarios se optó por tomar un valor máximo para hallar el volumen de riego ( $V_r$ ) en cada intervalo

$$V_r = \left(\frac{0.189}{9 \text{ intervalos}}\right)$$

$$V_r = 0.021 \text{ litros por cada intervalo.}$$

Los riegos no deben durar más de 2 min para evitar inundación o proliferación de hongos se calcula consumo en minutos ( $N_{admin}$ ). Tomando como base 1 minuto.

$$N_{admin} = 0.021 \frac{\text{litros}}{1 \text{ minuto}}$$

$$N_{admin} = 0.021 \text{ l/m}$$

Los nebulizadores o micro aspersores deben proporcionar 0.021 (l/m) o 1.26 (l/h) con un rango de pulverización que cubra la bandeja.

Se provee por realizar hasta 8 riegos en el día con intervalos de 1 hora a partir de las 08H00 horas hasta las 16H00 horas, con una duración de 1 minuto cada riego. El nebulizador que se encontró en el mercado es de tipo coolnet como se visualiza en la Figura 20 y proporciona 5 (l/h) y alcanza un radio de 1.5 a 2 metros, suficientes para cubrir la bandeja del cultivo. Además distribuye el tamaño de la gota promedio de 65 micrones [62].



**Figura 20.** Nebulizador tipo coolnet.

**Elaborado por:** el investigador.

### **3.1.10 Análisis del depósito de Agua**

Tomado en cuenta la necesidad diaria máxima requerida para FVH según la FAO el consumo es de 1.5 litros/m<sup>2</sup> se tiene una necesidad diaria de 0.189 litros por cada bandeja.

Total en días del cultivo (Tdc) = 15 días

$Tdc = 0.189 \text{ litros/bandeja} * 15$

$Tdc = 2.835 \text{ litros/bandeja}$

Cada bandeja en 15 días de producción consume 2.835 litros/bandeja.

Al implementar el sistema con 36 bandejas se tiene:

Necesidad máxima de agua =  $36 * 2.835 = 102.06$  litros de agua.

Para cumplir con las necesidades del proyecto se requiere un tanque cuyo volumen tenga 102.06 litros. (fotografía del tanque Anexo G)

### 3.1.11 Análisis de la bomba hidráulica

Se debe conocer el caudal necesario ( $Q_n$ ) para la utilización de 36 aspersores a 5 litros/h.

$$Q_n = 36 \times 5 \text{ l/h}$$

$$Q_n = 180 \text{ l/h}$$

Pasando a minutos:

$$Q_n = 180 \frac{\text{l}}{\text{h}} * \frac{1}{60 \text{ min}}$$

$$Q_n = 3 \text{ l/min}$$

Teniendo en cuenta el Caudal necesario  $Q(n) = 3 \text{ l/min}$  la distancia recorrida 15 metros, se procede a seleccionar la bomba según la Figura 21.

MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	m <sup>3</sup> /h															
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		l/min	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	2.7	3.6	4.2	4.8	5.4
PKm 60	PK 60	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5							
PKm 60-MD	PK 60-MD	0.37	0.50	IE2	30	29	27.5	26	23.8	21.5	18.5	16	13.2	7.5	5	2				
PKm 65	PK 65	0.55	0.75		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8						

**Figura 21.** Tabla de características de las electrobomba con rodete periférico Pedrollo [63].

La bomba “Pedrollo Pkm 60” de 1/2 Hp monofásica se adapta al proyecto ya que brinda entre 0 a 5 litros/minutos con una altura hasta 38 metros, además brinda una presión máxima de 6 bar que es idóneo para el uso de los nebulizadores, en la Figura 22 se observa la bomba Hidráulica elegida. (características técnicas de la bomba en el Anexo N)

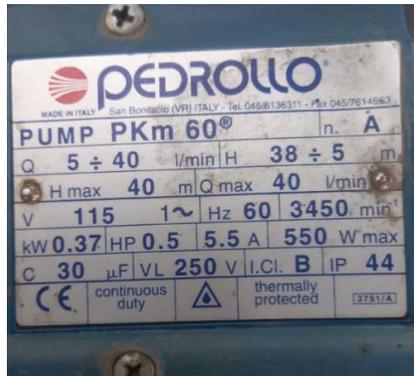


**Figura 22.** Bomba periférica “Pedrollo PKm 60”.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.1.12 Análisis de componentes de potencia y control

Una vez seleccionada la bomba monofásica a utilizarse se procedió a calcular los componentes necesarios para el correcto funcionamiento, utilizando la placa de características técnicas del motor que se visualiza en la Figura 23.



**Figura 23.** Placa de características técnicas de la bomba de agua monofásica Pedrollo de ½ Hp.

**Elaborado por:** el investigador.

Datos:

$$\text{Potencia mecánica (Pm)} = \frac{1}{2} \text{ hp} = 372.85 \text{ W}$$

$$\text{Potencia eléctrica máxima} = 0.55 \text{ kW}$$

$$\text{Volteje de operación (V)} = 115 \text{ V}$$

Corriente nominal ( $I_n$ ) = 5.5 Amp

RMP = 3450

Para encontrar la eficiencia energética se revisa en guía de requisitos de eficiencia energética para motores (IEC6034-30-1)[64] y se busca los datos del motor utilizado la como se visualiza en la Figura 24.

Potencia nominal de salida (kW) (60 Hz)	Eficiencia Energética (%) No. de polos / velocidad sincrónica			
	2 polos 3.600 RPM	4 polos 1.800 RPM	6 polos 1.200 RPM	8 polos 900 RPM
0,12	62,0	66,0	64,0	59,5
0,18	65,6	69,5	67,5	64,0
0,25	69,5	73,4	71,4	68,0
0,37	73,4	78,2	75,3	72,0
0,55	76,8	81,1	81,7	74,0

**Figura 24.** Guía de eficiencia energética para motores [64].

El factor de servicio para este tipo de motor esta detallada en la norma NEMA MG-1 [65] e indica que para motores de ½ Hp a 3600rpm se utiliza 1.25 como Factor de servicio.

Eficiencia nominal ( $\eta$ ) = 76.8%

Factor de servicio ( $F_s$ ) = 1.25

### Selección del Guardamotor

Para seleccionar este dispositivo se utiliza el Factor de servicio ( $F_s$ ) que indica porcentaje de sobrecarga que soporta el motor.

$$I_s = I_n * F_s$$

$$I_s = 5.5 * 1.25$$

$$I_s = 6.87 \text{ Amp}$$

El guardamotor debe tener capacidad de ruptura a 6.87 Amp, en el mercado se encontró un guardamotor de 6 a 10 Amp como se visualiza en la Figura 25 ideal para el uso del proyecto.



**Figura 25.** Guardamotor de 6 a 10 Amp CHNT.

**Elaborado por:** el investigador.

### Selección del conductor

El conductor se selecciona tomando en cuenta la corriente nominal ( $I_n$ ) multiplicando por 1.25% como mínimo [65].

$$I_s = 5.5 * 1.25$$

$$I_s = 6.87 \text{ Amp}$$

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos Conduit etc. ( A )	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8

**Figura 26.** Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos[66].

Para soportar la corriente  $I_s=6.87$  Amp, se utilizó el cable calibre 14 AWG que es el mínimo para protección contra sobre corrientes del circuito que soporta 15 Amp.

### **Selección del contactor**

En [65] indica que los motores de potencia continua con un  $F_s = 1.25$  requieren un contactor de máximo igual, o inmediatamente mayor que la corriente nominal. Por lo cual se eligió un contactor de 9 Amp, con bobina de 110v/60 Hz.

### **Selección del disyuntor**

Se utiliza la Corriente nominal ( $I_n$ ) = 5.5 Amp para seleccionar el disyuntor.

$$I_d = \text{Corriente del disyuntor}$$

$$I_d > I_n$$

$$I_d > 5.5 \text{ Amp}$$

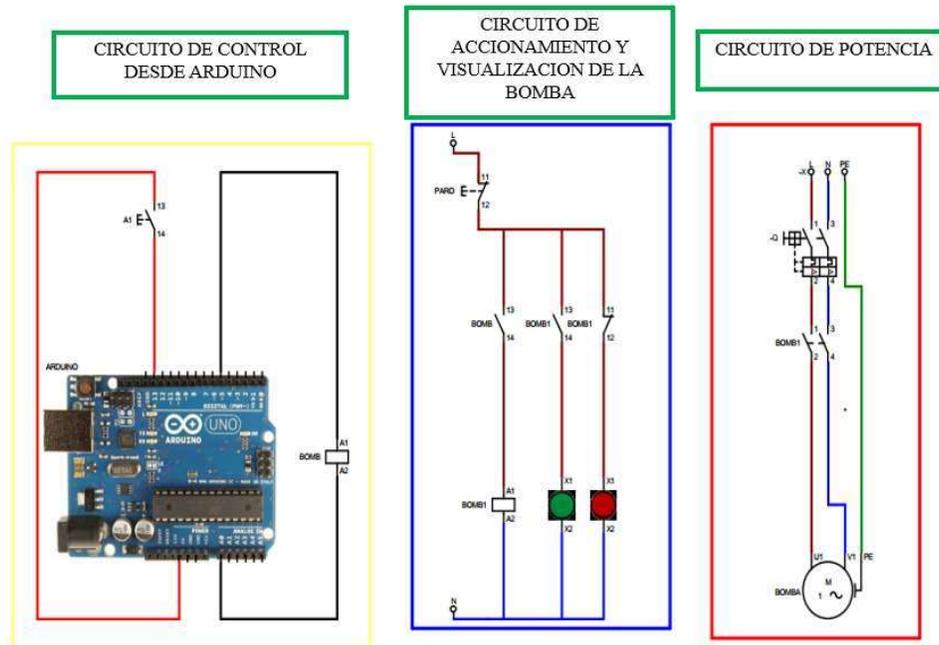
Se eligió un disyuntor de 10 Amp.

### **3.1.13 Circuito de control y potencia**

El control de la bomba de  $\frac{1}{2}$  Hp del sistema de Forraje verde hidropónico se realiza mediante un pulsador “A1” que envía las señales a la placa de desarrollo Arduino para el accionamiento del relé de (125VAC) denominado “BOMB”. véase el circuito de control desde Arduino del recuadro color amarillo de la Figura 27.

Al cambiar de estado del relé permite la energización del contactor “BOMB1” destinado para el accionamiento del motor y las luces piloto, además en este punto se dispone de un botón de paro de emergencia para apagar el sistema por cualquier anomalía. Véase el circuito de accionamiento y visualización del estado de la bomba en el recuadro azul de la Figura 27.

El circuito de potencia se visualiza en el recuadro rojo de la Figura 27, que acciona el motor mediante el cambio de estados en el contactor “BOMB1”, permitiendo que el agua fluya en el cultivo, además este circuito consta de un guardamotor y un disyuntor.



**Figura 27.** Circuito de control y potencia.

### 3.1.14 Análisis de Electroválvulas

Para la selección de las electroválvulas se debe notar que la presión máxima generada por la bomba hidráulica (6 bar), además que se adapte a la tubería de (1/2) pulgada.

La válvula solenoide de ½ pulgada 12 VCD para agua y aire se adapta a las exigencias del sistema, ya que soporta una presión máxima de 8 bar y se adapta a la tubería mencionada. En la Figura 28 se muestra la válvula seleccionada para el sistema [67].



**Figura 28.** Válvula solenoide 12 Vcd.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.1.15 Análisis de bombas peristálticas

El sistema Hidropónico requiere dos bombas para mezclar la solución nutritiva y la regulación de PH, las cuales deben tener un caudal bajo (en mililitros) para no excederse en la aplicación de soluciones y dañar el cultivo.

Se opto por utilizar mini bombas peristálticas de 60ml/min a 12 Vdc como se observa en la Figura 29, para obtener un control total de la regulación de PH y la solución nutritiva a aplicarse.

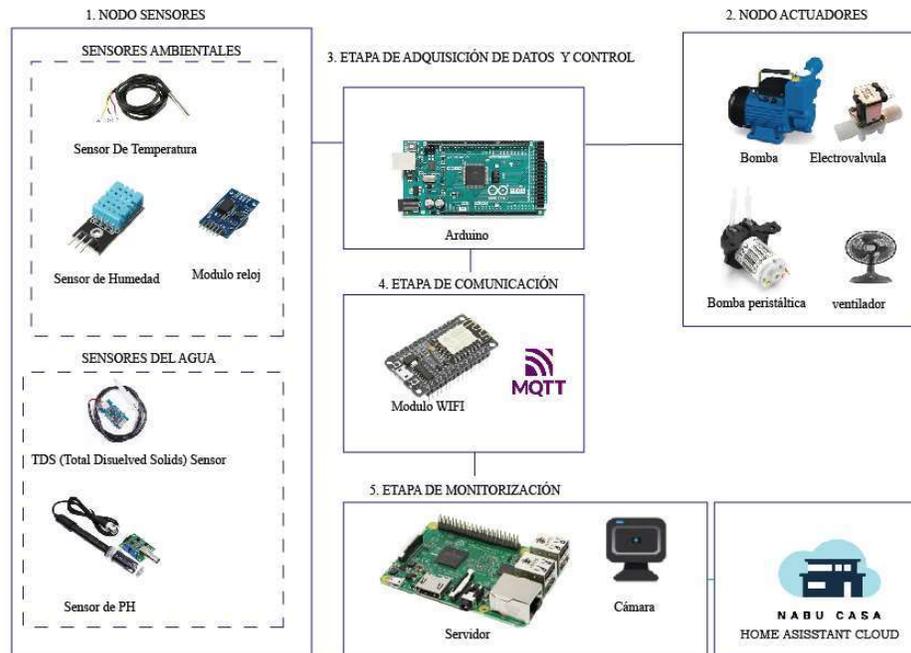


**Figura 29.** Mini bomba peristáltica de 60ml/min.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.2 Análisis de implementación del sistema Eléctrico y Electrónico

Una vez elegido los dispositivos para el sistema Hidropónico inteligente se plantea el diagrama general separado por 5 bloques como se visualiza en la Figura 30, teniendo: 1. nodo de sensores, 2. nodos actuadores, 3. etapa de adquisición de datos y control, 4. etapa de comunicación y 5. etapa de monitorización.



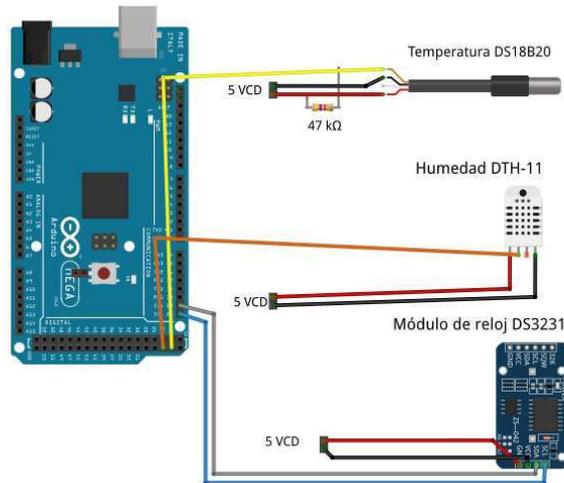
**Figura 30.** Diagrama general de componentes electrónicos del Sistema Hidropónico Inteligente.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.2.1 El nodo sensores se subdivide en sensores ambientales y sensores de agua.

#### Sensores ambientales

Los sensores ambientales obtienen las variables físicas presentes dentro del invernadero utilizando el sensor DTH-11 para humedad relativa, el sensor DS18B20 para temperatura del ambiente y el módulo reloj RTC DS3231 para el control de tiempos de riego, la Figura 31 muestra el diagrama de adquisición de datos utilizado.



**Figura 31.** Circuito de adquisición de datos mediante sensores ambientales.

**Elaborado por:** el investigador.

### A. Sensor de Humedad DTH-11

Para obtener la variable de humedad relativa utilizando Arduino se debe importar la librería “DHT.h”, definir el pin digital (25) y el sensor a utilizar, luego declararlos como objeto y con la función Setup() se debe inicializar la comunicación serie y el sensor y con la función loop() se adquiere y se imprime la variable de humedad relativa como se muestra en la Figura 32.

```
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 25
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float h;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}

void loop() {
  h = dht.readHumidity();
  Serial.print((int)h, DEC);
}
```

**Figura 32.** Código de adquisición del sensor de Humedad DTH-11

**Elaborado por:** el investigador

## B. Sensor de Temperatura DS18B20

Para obtener la variable de temperatura en el ambiente se requiere incluir las librerías “OneWire.h” y “DallasTemperature.h”, definir el pin digital (23), luego declararlos como objeto las clases OneWire y DallasTemperature y con la función Setup() se debe inicializar la comunicación serie y el sensor DS18B20. En la función loop() se utiliza la función requestTemperatures() para requerir a los sensores la toma de temperatura y mediante la función getTempCByIndex(0) se obtiene la variable temperatura del sensor 0, luego se imprime en el puerto serial los datos de temperatura. El código de programación se muestra en la Figura 33.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
OneWire ourWire(23);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
}
void loop() {
  sensors.requestTemperatures();

  float tempds18b20= sensors.getTempCByIndex(0);
  Serial.print("Temperatura");
  Serial.print((float)tempds18b20,2);
}
```

**Figura 33.** Código de adquisición de datos mediante el Sensor de Temperatura.

**Elaborado por:** el investigador.

## C. Módulo de reloj DS3231

Para realizar la configuración del reloj se debe incluir las librerías “Wire.h” y “RTClib.h” encargadas de la comunicación I2C y el control del módulo respectivamente, luego se declara como objeto a rtc y con la función setup() se valida el funcionamiento del módulo de reloj, además mediante rtc.adjust() se sincroniza la hora y la fecha con el sketch al momento de la carga. En la función loop() se obtiene el tiempo actual con el método now y se imprime. El código utilizado se muestra en Figura 34.

```

#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
RTC_DS3231 rtc;
void setup() {
  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println(
while (1);
  }
  /*if (rtc.lostPower()) {
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }*/
}
void loop() {
  DateTime fecha = rtc.now();
  Serial.print("Tiempo");
  Serial.print(fecha.hour());
  Serial.print(",");
  Serial.print(fecha.minute());
  Serial.print(",");
  Serial.println(fecha.second());
}

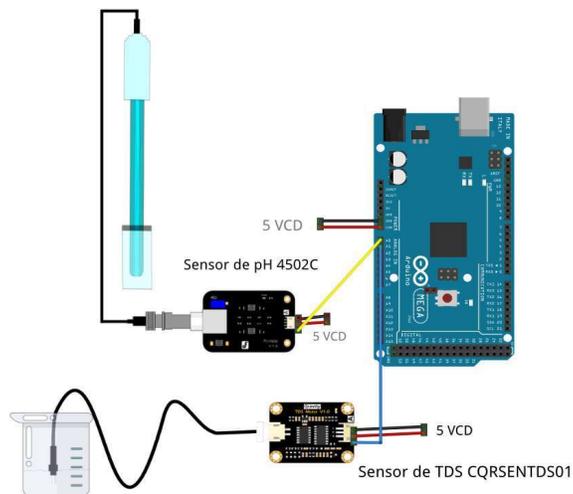
```

**Figura 34.** Código de adquisición de hora y fecha mediante el módulo de reloj.

**Elaborado por:** el investigador

### Sensores de agua

Los sensores de agua obtienen las variables de (PH y TDS) dentro del tanque mediante el sensor PH-4502C y el sensor CQRSENTDS01 respectivamente. Estos sensores permiten diferenciar la cantidad de sales y dureza del agua de la solución nutritiva, el diseño del circuito se muestra en la Figura 35.



**Figura 35.** Circuito de adquisición de datos mediante sensores de solución líquida.

**Elaborado por:** el investigador.

## A. Sensor de PH (PH-4502C)

El PH indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución mediante una escala de 0-14, para el correcto funcionamiento se requiere calibrar el sensor siguiendo los siguientes pasos:

1. Regular el Offset. - retirar la sonda del circuito de acoplamiento y cortocircuitar la parte interna con la externa del conector BCN, mover el potenciómetro hasta obtener el valor de 2.5V en el pin Po.

2. Encontrar la ecuación. - Volver a conectar la sonda BCN y utilizar las soluciones de calibración de 4.01 y 6.86 de PH para visualizar los voltajes en el pin Po generando 3.44 y 2.94 VCD respectivamente. (soluciones de calibración utilizadas en el Anexo K)

Al obtener los puntos y sabiendo que el sensor es lineal se puede conocer la ecuación de la recta.

Puntos:

$$A(3.44; 4.01)$$

$$B(2.94; 6.86)$$

Pendiente

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{6.86 - 4.01}{2.94 - 3.44}$$

$$m = -5.7$$

Ecuación de la recta

$$(y - y_1) = m(x - x_1)$$

$$(y - 4.01) = -5.7(x - 3.44)$$

$$(y - 4.01) = -5.7x + 19.608$$

$$y = -5.7x + 19.608 + 4.01$$

#### Ecuación 4

$$y = -5.7x + 23.618$$

3. Reemplazar la ecuación 4 en el código de programación en Arduino para la calibración del sensor de PH

#### Explicación del código:

En el inicio del programa se declara el tipo de las variables a utilizar, con la función setup() se inicializa la comunicación serie y con la función loop() se obtiene 10 muestras del Pin analógico (A0), las muestras obtenidas se ordenan y se descarta la mayor y menor. Luego se obtiene la media y se convierte a valores de voltaje “pHVolt”, a continuación, se utiliza la Ecuación 4 para obtener el valor de PH y se imprime en el monitor serial como se observa en la Figura 36.

```
const int analogInPin = A0;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
int buf[10], temp;
float ph_act= 0.0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  for(int i=0; i<10; i++)
  {
    buf[i]=analogRead(analogInPin);
    delay(10);
  }
  for(int i=0; i<9; i++)
  {
    for(int j=i+1; j<10; j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2; i<8; i++)
  avgValue+=buf[i];
  float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;

  float pHValue = -1.7361 * pHVol + calibration;
  ph_act=pHValue;
  Serial.print(ph_act);
}
```

**Figura 36.** Código de adquisición de datos mediante el sensor de PH (PH-4502C).

**Elaborado por:** el investigador.

## B. Sensor de TDS (Total de Sólidos Disueltos) CQRSENTDS01

Este sensor expresa el total de sales inorgánicas presentes en el tanque de agua, en un rango de 0 a 1000 ppm. El kit utilizado incluye la sonda y el módulo de interfaz que transforma la variable física en una señal analógica para Arduino

Una vez conectado el sensor al Arduino, se requiere sumergir la sonda en una solución líquida con un valor de TDS=700 ppm. luego mediante el monitor serial ingresar el comando “enter” para inicial el modo calibración, después ingresar el valor del TDS conocido con el comando “cal:700”, finalmente salir del modo calibración con el comando “exit”.

### Explicación del código

Para la configuración del sensor de TDS se requieren las librerías “EEPROM.h” y “GravityTDS.h” para leer y escribir bytes en la EEPROM y obtener la variable a medir, luego se define el Pin analógico a utilizar (A1), se declara como objeto mediante “GravityTDS gravityTds” y luego se configura la variable de temperatura de la solución mediante “float temperature = 15.2”. Con la función setup() se inicializa la comunicación serial, luego se indica el pin a utilizar mediante “gravityTds.setPin(TdsSensorPin);” y se define el Voltaje de referencia a utilizar (5) y el rango del ADC (1024) y se inicializa el sensor. Con la función loop() se calcula el valor del TDS mediante muestras tomadas con las librerías y la temperatura de compensación como se observa en la Figura 37.

```
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"
#define TdsSensorPin A1
GravityTDS gravityTds;
float temperature = 15.2, tdsValue = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0);
  gravityTds.setAdcRange(1024);
  gravityTds.begin();
}

void loop()
{
  gravityTds.setTemperature(temperature);
  gravityTds.update();
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue();
  Serial.print(tdsValue, 0);
  Serial.println("ppm");
}
```

**Figura 37.** Código de adquisición de datos mediante el sensor de TDS

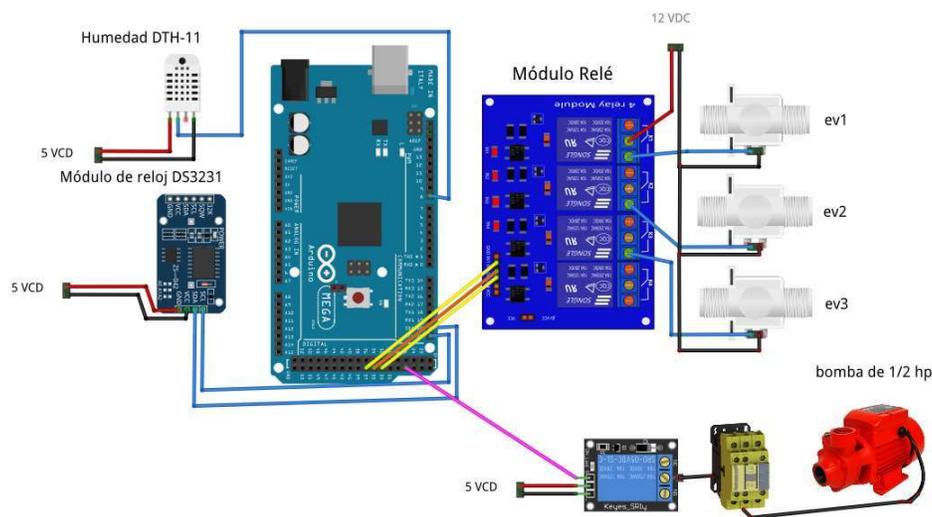
**Elaborado por: el investigador**

### 3.2.2 Nodo Actuadores

#### Control de Humedad

La Humedad relativa dentro del invernadero debe mantenerse de 30 a 90 %. Para el control de esta magnitud se utiliza un sistema de aspersión que proporciona riegos en el cultivo, en el caso de que la magnitud sea menor se proporciona mayor número de riegos y viceversa, las bandejas del sistema no deben exceder de 1.5 litros de agua diario porque producen daño a la semilla.

Estos aspectos permiten la utilización de riegos programados para el control de esta variable y se utiliza el módulo de reloj junto a tres electroválvulas para la activación y desactivación de riegos en cada estantería, el circuito se observa en la Figura 38.



**Figura 38.** Circuito de control de Humedad con activación de Electroválvulas y bomba.

**Elaborado por:** el investigador.

El control de electroválvulas y riegos se realiza en la función reloj () obteniendo los datos del módulo reloj y guardándolos en la variable “fecha”, se determinó que se necesitan 4 riego al día (9h00, 12h00, 15h00, 18h00) con duración de 1 minuto cada riego.

Para encender las electroválvulas denominadas (ev1, ev2, ev3) se activa el módulo de relé con una señal baja “LOW” esto permite la activación de la bobina y el paso de agua para los aspersores. Para encender la bomba de ½ Hp denominado con la variable “motor12”

en el código de programación se activa un relé que enclava el contactor permitiendo el funcionamiento del circuito de potencia como se observa en la Figura 39.

```
void reloj(){
  DateTime fecha = rtc.now();
  int hora2=9; int min2=1;
  int hora5=12; int min5=1;
  int hora8=15; int min8=1;
  int hora11=18; int min11=1;
  digitalWrite(motor12, HIGH);
  digitalWrite(ev1, HIGH);
  digitalWrite(ev2, HIGH);
  digitalWrite(ev3, HIGH);
  if ( (fecha.hour() == hora2) && (fecha.minute() == min2) ){
    digitalWrite(ev1, LOW);
    digitalWrite(ev2, LOW);
    digitalWrite(ev3, LOW);
    digitalWrite(motor12, LOW);
  }
  if ( (fecha.hour() == hora5) && (fecha.minute() == min5) ){
    digitalWrite(ev1, LOW);
    digitalWrite(ev2, LOW);
    digitalWrite(ev3, LOW);
    digitalWrite(motor12, LOW);
  }
  if ( (fecha.hour() == hora8) && (fecha.minute() == min8) ){
    digitalWrite(ev1, LOW);
    digitalWrite(ev2, LOW);
    digitalWrite(ev3, LOW);
    digitalWrite(motor12, LOW);
  }
  if ( (fecha.hour() == hora11) && (fecha.minute() == min11) ){
    digitalWrite(ev1, LOW);
    digitalWrite(ev2, LOW);
    digitalWrite(ev3, LOW);
    digitalWrite(motor12, LOW);
  }
}
```

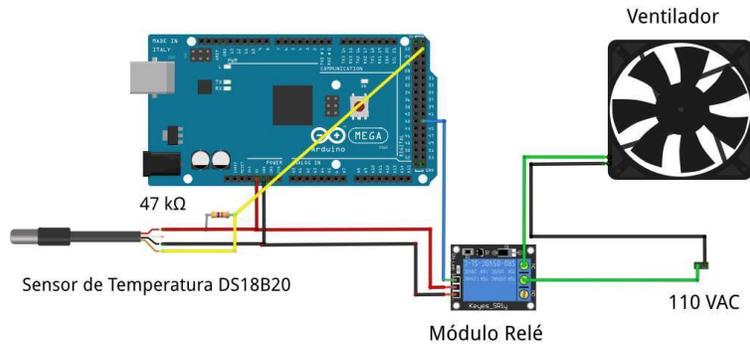
**Figura 39.** Código de control de Humedad con activación de electroválvulas y bomba.

**Elaborado por:** el investigador.

### **Control de temperatura**

Para controlar el rango mínimo de temperatura 10 °C se mantiene el invernadero completamente cerrado entre las 18:00 a 8:00 horas y para controlar la temperatura máxima 28 °C se usa un ventilador para circular el aire frío del exterior por el invernadero.

En la Figura 40 se visualiza el esquema de conexión entre el Arduino Mega, el sensor de temperatura y el ventilador.



**Figura 40.** Circuito de control de temperatura por ventilación

**Elaborado por:** el investigador

Para encender el ventilador se activa el módulo relé con una señal baja “LOW” usando el pin digital (D43) de Arduino al superar los 24 °C, la Figura 41 detalla la función utilizada.

```
void ventilador1() {
    digitalWrite(ventilador, HIGH);
    if (t >= 24) {
        digitalWrite(ventilador, LOW);
    }
}
```

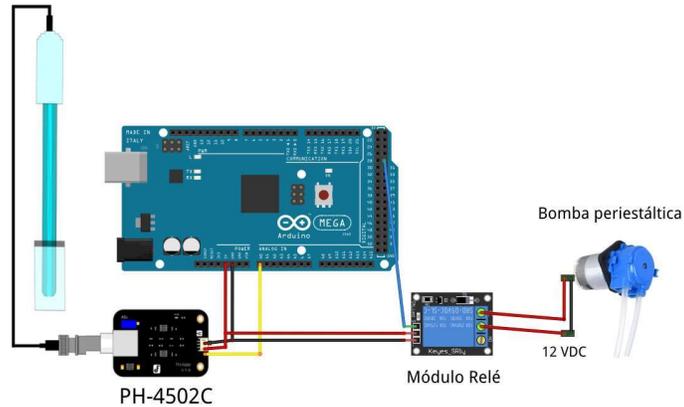
**Figura 41.** Código de control de temperatura por ventilación.

**Elaborado por:** el investigador.

### Control de PH de la solución líquida

El PH de la solución líquida debe mantenerse en el rango de 5.2 a 7 niveles de PH, en el caso de que la magnitud disminuya o sobrepase el rango la bomba peristáltica se activara permitiendo el paso del regulador de PH en proporciones de 3ml por activación.

En la Figura 42 se visualiza el esquema de conexión entre el Arduino Mega, el sensor de PH y la bomba peristáltica.



**Figura 42.** Circuito de control de PH con bomba peristáltica.

**Elaborado por:** el investigador.

Para encender la bomba peristáltica se compara caracteres mediante un condicional “if” al cumplirse la condición se da paso al encendido de la bomba peristáltica hasta cumplir el tiempo asignado, este proceso se repite para el control manual y automático del sistema. La Figura 43 muestra el código de programación utilizado.

```

unsigned long trm=60000; // tiempo de riego botones 1 minuto
unsigned long trm1=3272; // tiempo de riego botones ph y tds 30 ml minuto

if (dato4== 40){
  bph11= millis()+trm1;
  td5=1;
}

if (td5 == 1){
  digitalWrite(sph, LOW);
  b7=10;
}

if (millis( )>= bph11&& td5 == 1){
  digitalWrite(sph, HIGH);
  b7=0;
}

```

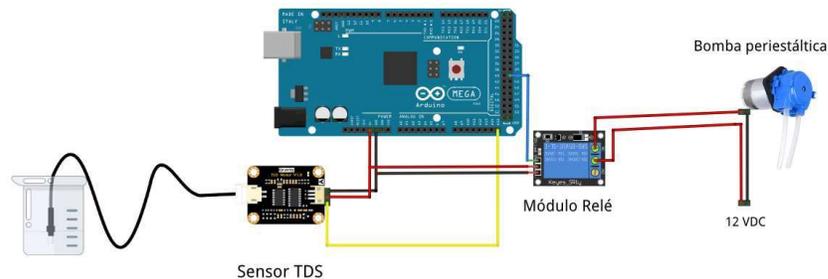
**Figura 43.** Código de control de PH con bomba peristáltica

**Elaborado por:** el investigador

## Control de TSD en la solución líquida

El total de sólidos disueltos en la solución líquida debe mantenerse de 750 a 1500 ppm. En el caso de que la sustancia se encuentre en fuera del rango se enciende una bomba peristáltica para el paso de la solución nutritiva, en proporciones de 3ml por activación.

En la Figura 44 se visualiza el esquema de conexión entre el Arduino Mega, el sensor de TDS y la bomba peristáltica.



**Figura 44.** Circuito de control de TDS con bomba peristáltica.

**Elaborado por:** el investigador.

Para encender la bomba peristáltica se compara caracteres mediante un condicional “if” al cumplirse la condición se da paso al encendido de la bomba peristáltica hasta cumplir el tiempo asignado, este proceso se repite para el control manual y automático del sistema.

La Figura 45 muestra el código de programación utilizado.

```
unsigned long trm=60000; // tiempo de riego botones 1 minuto
unsigned long trm1=3272; // tiempo de riego botones ph y tds 30 ml minuto

if (dato5 == 50) {
  btDs11= millis()+trm1;
  td4=1;
}
if (td4 == 1) {
  digitalWrite(stds, LOW);
  b6=10;
}
if (millis() >= btDs11 && td4 == 1) {
  digitalWrite(stds, HIGH);
  b6=0;
}
```

**Figura 45.** Código de control de TDS con bomba peristáltica.

**Elaborado por:** el investigador

## Etapa de control:

La etapa de control consta de un Arduino Mega que analiza y procesa la información obtenida por los sensores para generar alertas, enviar la información a la etapa de comunicación, activar y desactivar actuadores. En este punto se selecciona el control manual o automático del sistema.

## Control automático del sistema

El control automático activa los riegos de manera programada sin intervención del usuario y permite la activación y desactivación de las electroválvulas, reguladores de PH y TDS juntamente con la bomba de ½ hp desde la interfaz del usuario en Home Assistant.

En el código de programación se lee la entrada digital del selector en el caso de que la condición para el selector se cumpla se inicializa las variables asignadas a las electroválvulas (b1, b2, b3), la bomba (b4) y al control automático (b5). Luego se llama a la función reloj() para la realización de los riegos programados.

En instante que la humedad llegue a su valor mínimo se puede incluir un riego al sistema, el Arduino se mantiene a la espera del accionamiento de los reguladores independientemente del modo de control como se observa en la Figura 46. (código de programación completo en el Anexo B).

```
bbautomatico= digitalRead(bautomatico);
if (bbautomatico == HIGH){
  b1=0;
  b2=0;
  b3=0;
  b4=0;
  b5=0;
  reloj();
}

if (dato5 == 50){
  btds11= millis()+trml1;
  td4=1;
}
if (td4 == 1){
  digitalWrite(stds, LOW);
  b6=10;
}
if (millis() >= btds11 && td4 == 1){
  digitalWrite(stds, HIGH);
  b6=0;
}
}
```

**Figura 46.** código de control automático.

**Elaborado por:** el investigador.

## Control Manual del sistema

El control manual se activa a través de un selector instalado en el tablero de control, el cual tiene un botón e indicador del estado del motor encendido o apagado, indicadores y botones de accionamiento de las electroválvulas, botones de activación de las bombas peristálticas para la regulación del PH y TDS, un selector que indica el modo de operación (manual o automático) y un botón de paro de emergencia que apaga el circuito de potencia.

En el caso de no seleccionar el control automático se cumple las instrucciones para funcionamiento del control manual donde se lee las entradas digitales a la espera de su accionamiento. Luego la señal emitida por el accionamiento es analizada para encender actuadores, de igual manera se inicializa las variables de las electroválvulas, bomba y variables auxiliares. El proceso se repite para los botones de accionamiento de electroválvula 1, electroválvula2, electroválvula3, reguladores de PH y TDS. La duración del riego es de 1 minuto por accionamiento como se observa en la Figura 47.(código de programación completo en el Anexo B).

```
    }else { // manual
Serial.println("MANUAL");
    b5=10; // manual
    bbmotoron= digitalRead(bmotoron);
    if (bbmotoron == HIGH){
        b4=10;
        digitalWrite(motor12, LOW);
    }
    bbmotoron=digitalRead(bmotoron);
    bbev1= digitalRead(bev1);
    bbev2= digitalRead(bev2);
    bbev3= digitalRead(bev3);
    bbph= digitalRead(bph);
    bbt ds= digitalRead(bt ds);
    if (bbmotorof == HIGH){
        digitalWrite(ev1, HIGH);
        digitalWrite(ev2, HIGH);
        digitalWrite(ev3, HIGH);
        digitalWrite(motor12, HIGH);
        b1=0;
        b2=0;
        b3=0;
        b4=0;
        td=0;
        td1=0;
        td2=0;
        td3=0;
    }

    if (bbt ds == HIGH || dato5 == 50){
        bt ds11= millis()+trml;
        td4=1;
    }

    if (td4 == 1){
        digitalWrite(st ds, LOW);
        b6=10;
    }

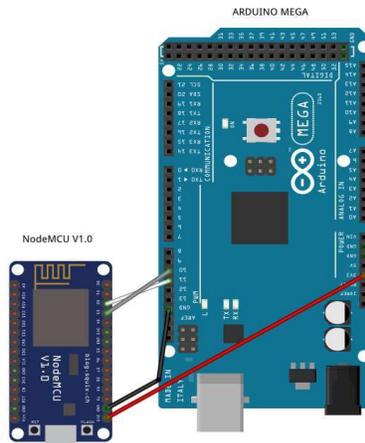
    if (millis( )>= bt ds11&& td4 == 1){
        digitalWrite(st ds, HIGH);
        b6=0;
    }
}
```

Figura 47. código de explicación de control manual.

Elaborado por: el investigador.

### 3.2.3 Etapa de comunicación

La etapa de comunicación consta de una NodeMCU v1.0 conectada a través de comunicación serial con el Arduino Mega como se observa en la Figura 48, esta placa sirve de pasarela entre los datos de los sensores obtenidas en el Arduino Mega y la plataforma Home Assistant. Esta etapa se conforma de la configuración, recepción y envío de datos.



**Figura 48.** Circuito de conexión entre la Nodemcu V1.0 y el Arduino Mega.

**Elaborado por:** el investigador.

#### Configuración de la Nodemcu V1.0

Para el uso de este dispositivo en el sistema se requiere incluir las librerías “ESP8266WiFi.h”, “PubSubClient.h” y “SoftwareSerial.h”. para la conexión a la red wifi, para la conexión con el servidor por medio de MQTT y para implementar puertos seriales en otros pines digitales como se observa en la Figura 49. (programación completa del módulo wifi en el Anexo A)

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SUART(4, 5); //Srx=2 y STX=3
```

**Figura 49.** Librerías utilizadas en el módulo wifi para la comunicación.

**Elaborado por:** el investigador.

Una vez incluido las librerías se define las variables a utilizar en la comunicación serial, la conexión al punto de red, la dirección del servidor MQTT y variables para la comunicación MQTT como se observa en la Figura 50.

```
String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 5;
float data[dataLength];
char val1, val2, val3=5;
int temperatura;
int humedad;
const char* ssid = " ";
const char* password = " ";
const char* mqtt_server = " ";

///variables retorno de datos///
int retorno=0;
int retorno1=0;
int retorno2=0;
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
unsigned long lastMsg = 0;
unsigned long lastMsg1 = 0;
#define MSG_BUFFER_SIZE (50)
char msg[MSG_BUFFER_SIZE];
#define MSG1_BUFFER_SIZE (50)
char msg1[MSG1_BUFFER_SIZE];
#define MSG2_BUFFER_SIZE (50)
char msg2[MSG2_BUFFER_SIZE];
#define MSG3_BUFFER_SIZE (50)
char msg3[MSG3_BUFFER_SIZE];
#define MSG4_BUFFER_SIZE (50)
char msg4[MSG4_BUFFER_SIZE];
int value = 0;
```

**Figura 50.** Variables a utilizar en el módulo wifi.

**Elaborado por:** el investigador.

Luego se utiliza la función `setup_wifi()` para la conexión al punto de red donde se valida la comunicación exitosa o fallida como se observa en la Figura 51.



En función setup() se inicializa la comunicación serial , y se define el puerto y dirección del servidor MQTT, además se realiza la conexión como cliente MQTT ingresando el usuario, la contraseña y los tópicos de MQTT como se visualiza en la Figura 53.

```
void setup() {
  SUART.begin(9600);

  Serial.begin(9600);
  setup_wifi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
  if (client.connect(" ", " ", " ")) {
    client.subscribe("electrovalvulas/E1");
    client.subscribe("electrovalvulas/E2");
    client.subscribe("electrovalvulas/E3");
  }

  pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT);
}
```

**Figura 53.** conexión con el bróker de MQTT.

**Elaborado por:** el investigador.

### **Configuración del Arduino para el envío y recepción de datos**

Para el envío y recepción de datos de forma serial se utilizó la librería “SoftwareSerial.h”, donde se configuró el pin digital 10 como receptor y el pin digital 11 como transmisor con el fin de poder analizar el puerto serial 0 (rx=0, tx=1) del Arduino mediante la PC como se visualiza en la Figura 54. (programación completa en el Anexo B)

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial SUART(10, 11); //rx=10 y TX=11
```

**Figura 54.** Librerías utilizadas en Arduino para la comunicación serial.

**Elaborado por:** el investigador

Para el envío de datos de los sensores se utiliza las variables “t” para temperatura, “h” para humedad, “pH\_ac” para el PH y “tdsValue” para el valor de total de sólidos disueltos. El resto de las variables se utiliza para indicadores de encendido o apagado del estado del sistema: (b1, b2, b3) para electroválvulas, (b4, b5, b6, b7) para la bomba de agua y las bombas peristálticas.

Todos los valores se imprimen en el puerto serial de SUART separados por el signo de puntuación coma “,”. La Figura 55 muestra el envío de datos por el puerto serial.

```

SUART.print((int)t, DEC);
SUART.print(",");
SUART.print((int)h, DEC);
SUART.print(",");
SUART.print((float)ph_act, 2);
SUART.print(",");
SUART.print(b1);
SUART.print(",");
SUART.print((int)tdsValue, DEC);
SUART.print(",");
SUART.print((int)b1, DEC);
SUART.print(",");
SUART.print(b2);
SUART.print(",");
SUART.print(b3);
SUART.print(",");
SUART.print(b4);
SUART.print(",");
SUART.print(b5);
SUART.print(",");
SUART.print(b6);
SUART.print(",");
SUART.println(b7);

```

**Figura 55.** Envío de datos por el puerto serial

**Elaborado por:** el investigador

Para recepción de datos desde el módulo wifi se escanea el puerto de comunicación serial continuamente cada 1000 ms, una vez llegue los datos son guardados en un array denominado “data[i]” que luego se utilizará para el funcionamiento de actuadores como se visualiza en la Figura 56.

```

if (now1 - lastMsg1 > 1000) {
    lastMsg1 = now1;

    if (SUART.available() > 0) {
        str = SUART.readStringUntil('\n');
        Serial.println(str);
        for (int i = 0; i < dataLength; i++)
        {
            int index = str.indexOf(separator);
            data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
            str = str.substring(index + 1);
        }
    }

    dato1=data[0];
    dato2=data[1];
    dato3=data[2];
    dato4=data[3];
    dato5=data[4];

    Serial.print(dato1);
    Serial.print(",");
    Serial.print(dato2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(dato3);
    Serial.print(",");
    Serial.print(dato4);
    Serial.print(",");
    Serial.println(dato5);
}

```

**Figura 56.** Configuración del módulo wifi para envío y recepción de datos

**Elaborado por:** el investigador

Mediante la función “callback()” se escanea el puerto de comunicación buscando una publicación de la plataforma MQTT continuamente en la espera de datos, una vez recibido los datos se utiliza el puerto serial “SUART” para enviar los datos hacia Arduino por el puerto serial cada 1800 ms como se visualiza en la Figura 57.

```

unsigned long now1 = millis();
if (now1 - lastMsg1 > 1800) {
    lastMsg1 = now1;

    Serial.print("1"+String(retorno)+", "+ "2"+String(retorno1)+", "+ "3"+String(retorno2)+"\n");
    SUART.print("1"+String(retorno)+", "+ "2"+String(retorno1)+", "+ "3"+String(retorno2)+"\n");

}
*/
}

```

**Figura 57.** Configuración del envío de datos desde el módulo wifi al Arduino

**Elaborado por:** el investigador.

La recepción de datos desde el Arduino se realiza escaneando el puerto de comunicación serial continuamente, una vez llegue los datos son guardados en un array denominado “data[i]” que luego se procesa y publica en el servidor MQTT cada 2000 ms. La Figura 58 muestra el código de programación utilizado.

```

if (SUART.available()) {
    str = SUART.readStringUntil('\n');
    for (int i = 0; i < dataLength ; i++)
    {
        int index = str.indexOf(separator);
        data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
        str = str.substring(index + 1);
    }
}

int dato1=data[0];
int dato2=data[1];
float dato3=data[2];
float dato4=data[3];
float dato5=data[4];
unsigned long now = millis();
if (now - lastMsg > 2000) {
    lastMsg = now;

    snprintf (msg, MSG_BUFFER_SIZE, "%d", dato1 );
    snprintf (msg1, MSG1_BUFFER_SIZE, "%d", dato2 );
    snprintf (msg2, MSG2_BUFFER_SIZE, "%.2f", dato3 );
    snprintf (msg3, MSG3_BUFFER_SIZE, "%.2f", dato4 );
    snprintf (msg4, MSG4_BUFFER_SIZE, "%.2f", dato5 );
    Serial.print(msg);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(msg1);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(msg2);
    Serial.print(" , ");
    Serial.print(msg3);

    Serial.print(" , ");
    Serial.println(msg4);

    client.publish("temperatura", msg);
    client.publish("humedad", msg1);
    client.publish("ph", msg2);
    client.publish("temperaturads18b20", msg3);
    client.publish("dts", msg4);
}

```

**Figura 58.** Configuración para la recepción de datos en el Arduino.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.2.4 Etapa de monitorización

En esta etapa se utiliza el sistema operativo de Home Assistant instalado en una Raspberry Pi 3B V1.2 para monitorear y controlar las variables del sistema hidropónico. Esta plataforma admite dispositivos capaces de transmitir y recibir información de distintos modelos o fabricantes, además dispone de escenarios y automatizaciones.

#### Proceso de instalación de home Assistant

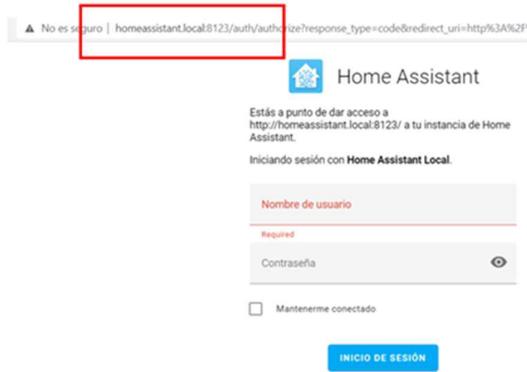
Se utilizó una Raspberry Pi 3B V1.2 con una tarjeta micro SD de 32Gb, luego se descargó la imagen recomendada en el sitio oficial de Home Assistant ([https://github.com/home-assistant/operating-system/releases/download/8.2/haos\\_rpi3-8.2.img.xz](https://github.com/home-assistant/operating-system/releases/download/8.2/haos_rpi3-8.2.img.xz)) y se instaló en la Raspberry Pi mediante el creador de unidades de arranque BalenaEtcher como se muestra en la Figura 59 [68].



**Figura 59.** Proceso de instalación Home Assistant

**Elaborado por:** el investigador

Una vez terminado el proceso de creación unidad, se inserta la tarjeta microSD en la Raspberry, luego se conecta cable ethernet y el cable de alimentación. Finalmente se puede comunicar con home Assistant en la dirección <http://homeassistant:8123> como se visualiza en la Figura 60.

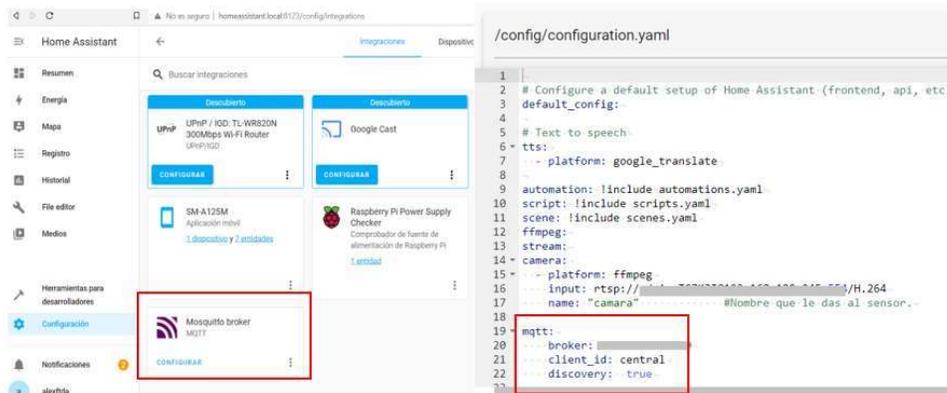


**Figura 60.** Interfaz de registro de Home Assistant.

**Elaborado por:** el investigador.

### Proceso de comunicación

Para recibir y enviar los datos a la plataforma se utiliza el protocolo de conectividad máquina a máquina, que permite mensajería ligera de publicación/suscripción (MQTT). Se requiere agregar la integración de “Mosquito bróker MQTT” en la plataforma Home Assistant y configurar el archivo “configuration.yaml” para agregar la dirección del bróker e inicializar la comunicación. En la Figura 61 se muestra la integración. (programación completa del archivo config,yaml en Anexo C)



**Figura 61.** Integración del broker Mosquitto en Home Assistant.

**Elaborado por:** el investigador.

En este punto se tiene configurado la comunicación MQTT en la plataforma, y se requiere la configuración de los sensores en el archivo “configuration.yaml” para recepción de datos.

La configuración de cada sensor para recibir los datos incluye: nombre de la plataforma, nombre del sensor, tema del mensaje y la unidad de medida como se visualiza en el código de programación de la Figura 62.

```
/config/configuration.yaml
48
49
50 sensor:
51   platform: mqtt #Es la plata-
52   name: "temperatura" #Nombre que le das al sensor.
53   state_topic: "temperatura" #Tema mqtt en el que el sensor publica.
54   unit_of_measurement: "°C" #Unidad de medida del dato.
55   platform: mqtt #Es la plataforma utilizada.
56   name: "humedad" #Nombre que le das al sensor.
57   state_topic: "humedad" #Tema mqtt en el que el sensor publica.
58   unit_of_measurement: "%" #Unidad de medida del dato.
59   platform: mqtt #Es la plataforma utilizada.
60   name: "ph" #Nombre que le das al sensor.
61   state_topic: "ph" #Tema mqtt en el que el sensor publica.
62   unit_of_measurement: "ph" #Unidad de medida del dato.
63   platform: mqtt #Es la plataforma utilizada.
64   name: "Temperatura DS18B20" #Nombre que le das al sensor.
65   state_topic: "temperaturaDS18B20" #Tema mqtt en el que el sensor publica.
66   unit_of_measurement: "C" #Unidad de medida del dato.
67   platform: mqtt #Es la plataforma utilizada.
68   name: "DTS" #Nombre que le das al sensor.
69   state_topic: "dts" #Tema mqtt en el que el sensor publica.
70   unit_of_measurement: "ppm" #Unidad de medida del dato.
```

**Figura 62.** Configuración de sensores en Home Assistant,

**Elaborado por:** el investigador.

Para el envío de datos se configura la integración Light que contiene atributos tipo booleano para el envío de estados. La configuración de cada botón para el envío de datos incluye: la plataforma, nombre, tema y mensaje como se observa en la Figura 63.

```
/config/configuration.yaml
22 discovery: true
23
24 ##### botones #####3
25
26 light:
27   platform: mqtt
28   name: "Valvula 1"
29   state_topic: "electrovalvulas/E1"
30   command_topic: "electrovalvulas/E1"
31   payload_on: "0"
32   payload_off: "1"
33   optimistic: false
34   platform: mqtt
35   name: "Valvula 2"
36   state_topic: "electrovalvulas/E2"
37   command_topic: "electrovalvulas/E2"
38   payload_on: "0"
39   payload_off: "1"
40   optimistic: false
41   platform: mqtt
42   name: "Valvula 3"
43   state_topic: "electrovalvulas/E3"
44   command_topic: "electrovalvulas/E3"
45   payload_on: "0"
46   payload_off: "1"
47   optimistic: false
48
```

**Figura 63.** Configuración de la entidad light para el envío de dato.

**Elaborado por:** el investigador.

Home Assistant soporta el protocolo de transmisión en tiempo real (RTSP) que se utiliza para transmitir voz y video con códec H.264 por el puerto 554.

Mediante la herramienta “ffmpeg” y el protocolo RSTP se implementó la comunicación con la interfaz de home Assistant configurando el usuario y contraseña como se visualiza en la Figura 64.

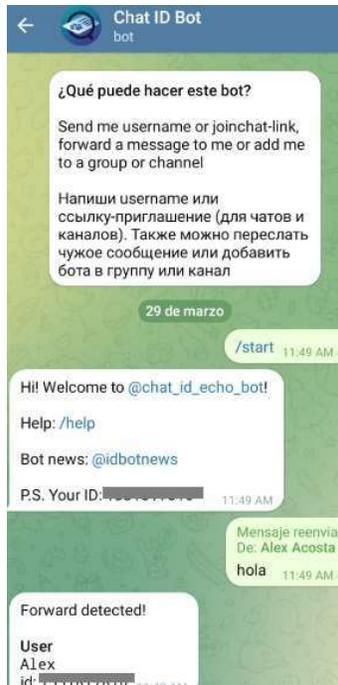
```
ffmpeg:~
stream:~
camera:~
... platform: ffmpeg
... input: rtsp://admin:██████████@192.168.1.100:554/H.264
... name: "camara" #Nombre que le das al sensor.
```

**Figura 64.** Configuración de la cámara de seguridad.

**Elaborado por:** el investigador.

### **Configuración de las notificaciones**

Las notificaciones del sistema se integraron mediante Telegram con el requerimiento de un bot, un token y una identificación de usuarios (Id), se utilizó botFather para crear un nuevo bot mediante el comando “/newbot” donde se registra y obtiene la API. Para obtener el chat id de los usuarios se utiliza un complemento de telegram denominado “Chat ID Bot”, donde se inicializa con el comando “/start” y luego se envía un mensaje de texto y devuelve el identificador. la Figura 65 muestra la configuración de las notificaciones.



**Figura 65.** Configuración de las notificaciones.

**Elaborado por:** el investigador.

Luego de obtener los datos de telegram se configuró el bot en el archivo configuration.yaml con su api\_Key y el Id de los usuarios como se visualiza en la Figura 66. Se puede interactuar con un solo usuario o con varios usuarios.

```
telegram_bot:
  -- platform: polling
  -- api_key: 5113295561:AAE3A...
  -- allowed_chat_ids:
    -- 1551617010
    -- ...

# Example configuration.yaml entry for the notifier
notify:
  -- platform: telegram
  -- name: Bot_home_assistant
  -- chat_id: 1551617010
```

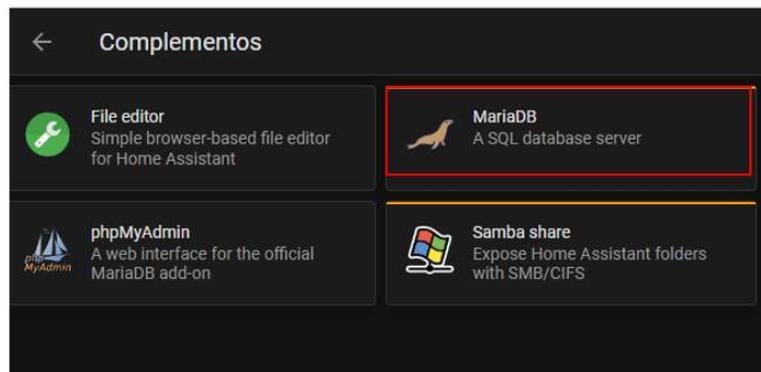
**Figura 66.** Configuración de las notificaciones en Home Assistant

**Elaborado por:** el investigador

## Configuración de la Base de datos

Se utilizó la base de datos de código abierto MariaDB para guardar la información proporcionada por los sensores, actuadores y automatizaciones, la integración de MariaDB reemplaza la base de datos SQLite instalada por defecto en el sistema operativo.

Esto optimiza los recursos de Home Assistant y permite una mejor administración de los datos junto a PHpMyAdmin, MariaDB es complemento de home Assistant y requiere descarga e instalación como se visualiza en Figura 67.



**Figura 67.** Proceso de instalación de la base de datos MariaDB.

**Elaborado por:** el investigador.

Una vez instalado se configura la contraseña de acceso y el archivo de “config.yaml” direccionando la nueva base de datos como se visualiza en la Figura 68, luego se guarda la configuración y se reinicia el equipo.

```
recorder:
  db_url: mysql://homeassistant:alexftda@core-mariadb/homeassistant?charset=utf8mb4
```

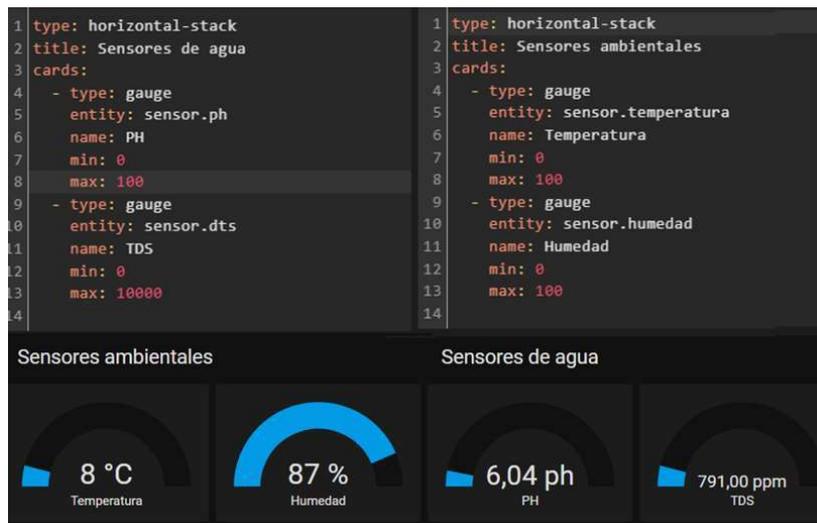
**Figura 68.** Configuración de la base de datos MariaDB en el archivo configuration.yaml.

**Elaborado por:** el investigador.

## Configuración de la interfaz grafica

Para la visualización y monitoreo de los datos obtenido por los sensores se utilizó la interfaz gráfica de home Assistant denominada “lovelance”. Se agrego tarjetas indicadoras con los sensores utilizados en el proyecto y tarjetas de visualización con estado del tablero eléctrico en tiempo real.

Los sensores de humedad y temperatura perteneciente a los sensores ambientales y los de PH y TDS pertenecientes a los sensores de agua se incluyeron en tarjetas de pila horizontal de tipo “Gauge”. En la programación del código se direccionó los sensores a utilizar y se ubicó los límites de operación en el editor de código. En la Figura 69 se aprecia la configuración del editor de código y la vista previa de la interfaz de los sensores.

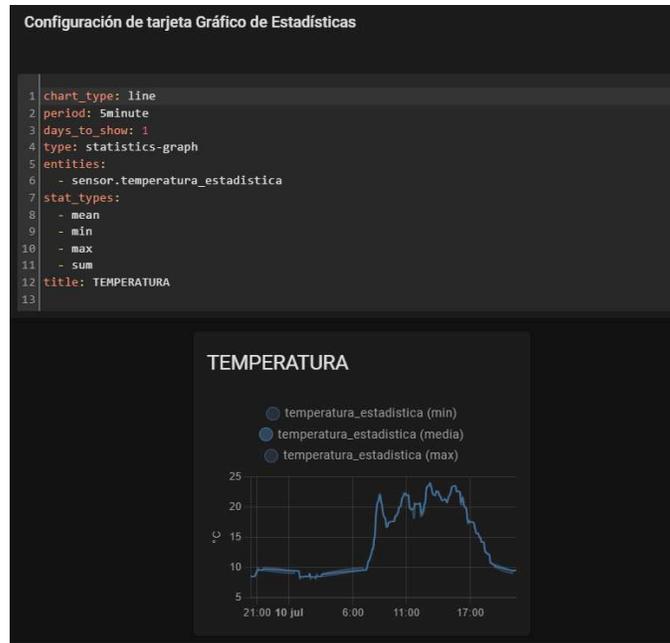


**Figura 69.** Interfaz de los sensores de temperatura, humedad, PH y TDS.

**Elaborado por:** el investigador.

Para monitorear el estado de los sensores durante el día se utilizó una tarjeta de tipo estadístico que permite mostrar gráficos y tablas del comportamiento de los valores de manera secuencial durante todos los días, esta tarjeta permite obtener valores estadísticos y muestrea los datos obtenidos cada 5 minutos obteniendo los valores mínimos, máximos y la media para tomar decisiones favorables para el control del cultivo.

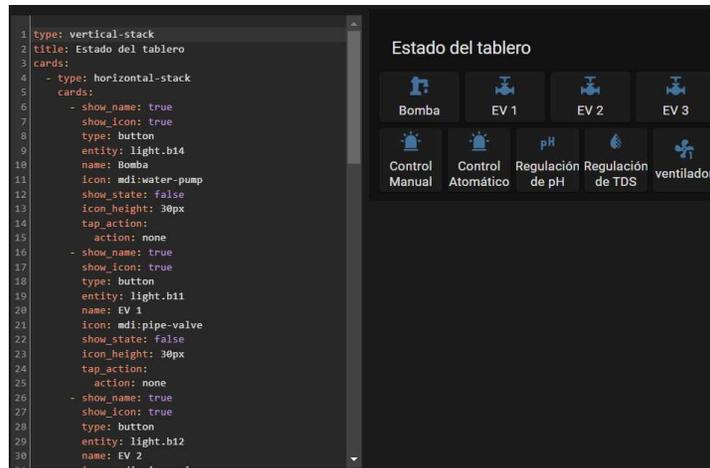
Se visualiza en la Figura 70 el gráfico estadístico tipo línea y la programación que muestra el comportamiento de la temperatura, se utilizó el mismo proceso para monitorear las variables obtenidas por los sensores de humedad, PH y TDS.



**Figura 70.** Gráfico de tipo línea estadística de los valores del señor temperatura.

**Elaborado por:** el investigador.

La visualización del estado de los actuadores se realizó mediante el uso de tarjetas indicadoras tipo botón sin acción y tarjetas indicadoras tipo botón con acción, las tarjetas indicadoras sin acción no permiten la interacción entre el usuario y el sistema, se configuró para mostrar el estado de los actuadores. En la Figura 71 se visualiza la codificación y los iconos de los indicadores.

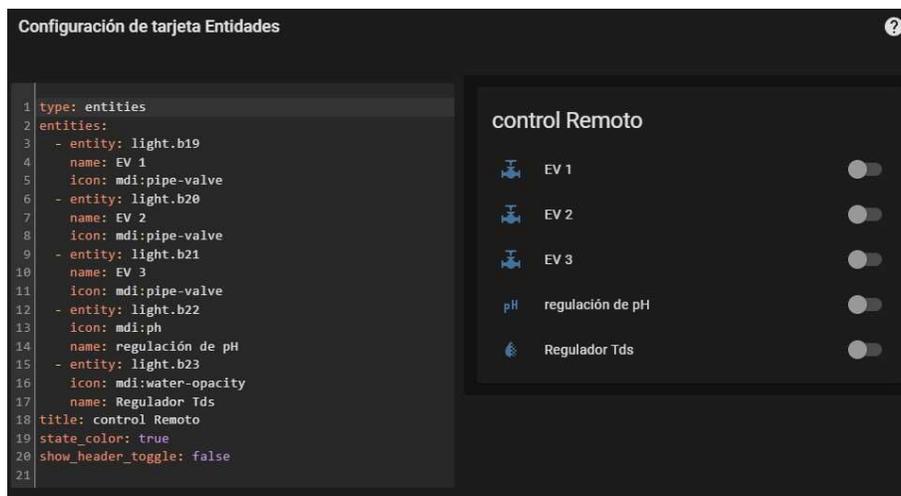


**Figura 71.** Interfaz de visualización del estado del tablero.

**Elaborado por:** el investigador.

La Figura del estado del tablero muestra los iconos de color amarillo para encendido y negro para apagado, las denominaciones “Bomba” hace referencia a la bomba de agua de ½ Hp , “EV 1” se refiere a la electroválvula 1, “EV 2” se refiere a la electroválvula 2, “EV 3” se refiere a la electroválvula 3, los iconos sobrantes se refieren al regulador de PH, TDS y ventilador.

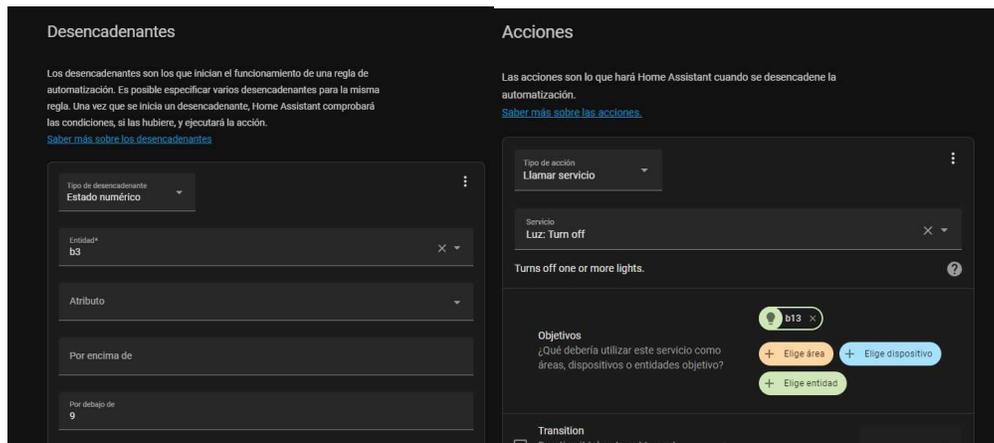
Las tarjetas indicadoras con acción se utilizaron para el encendido y apagado de manera remota de las electroválvulas “EV 1”, “EV 2”, “EV 3”, la regulación del PH y la regulación del TDS. La Figura 72 muestra los botones con acción ocupados en el sistema.



**Figura 72.** Tarjeta indicadora de botones con acción de electroválvulas y regulaciones.

**Elaborado por:** el investigador.

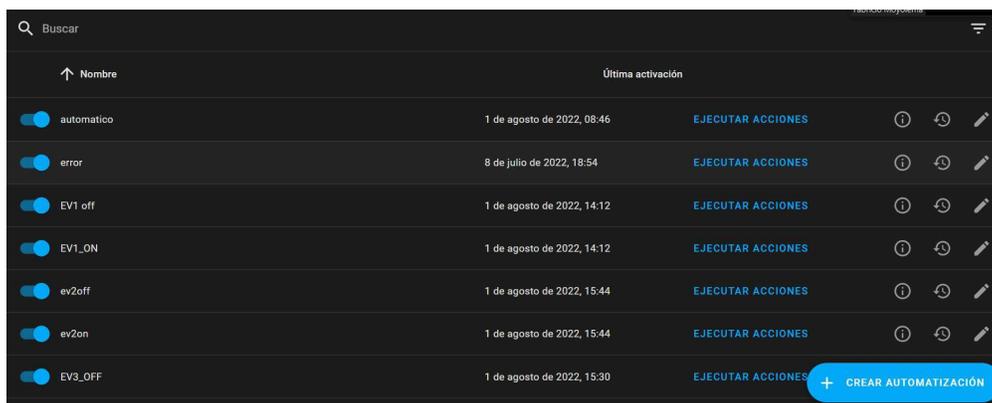
La configuración de las tarjetas indicadoras se realiza en el apartado de automatizaciones y escenas, creando una automatización vacía donde el desencadenante de la acción es un estado numérico de la entidad a ocupar en este caso “b3”, una vez la entidad envíe información con valores menores o mayores a un número “9”, llama al servicio de (encender/apagar) el indicador como se observa en la Figura 73.



**Figura 73.** Automatización de encendido/apagado de indicadores.

**Elaborado por:** el investigador.

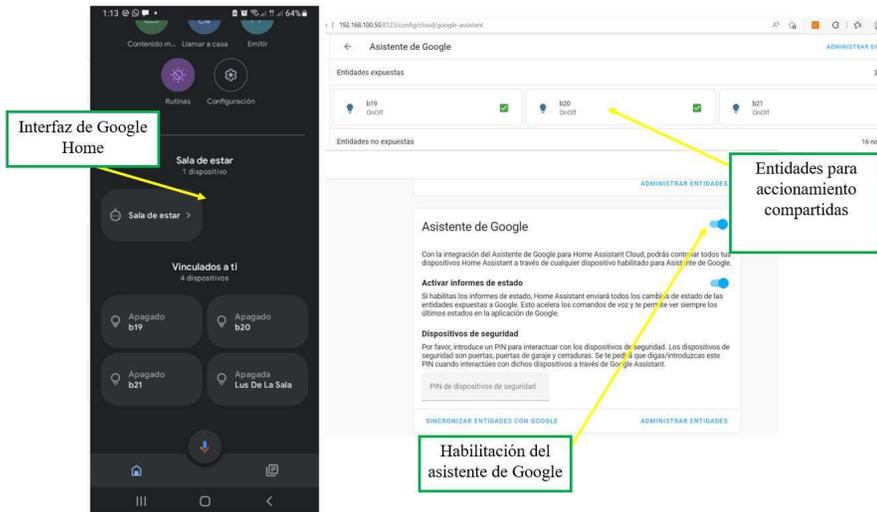
El proceso de configuración de automatizaciones para el (encendido/apagado) de indicadores se realiza en el apartado de “automatizaciones y escenas” de home Assistant. En la Figura 74 se muestra las automatizaciones realizadas para todo el sistema de forraje verde hidropónico.



**Figura 74.** Automatizaciones de los indicadores del tablero de control.

**Elaborado por:** el investigador

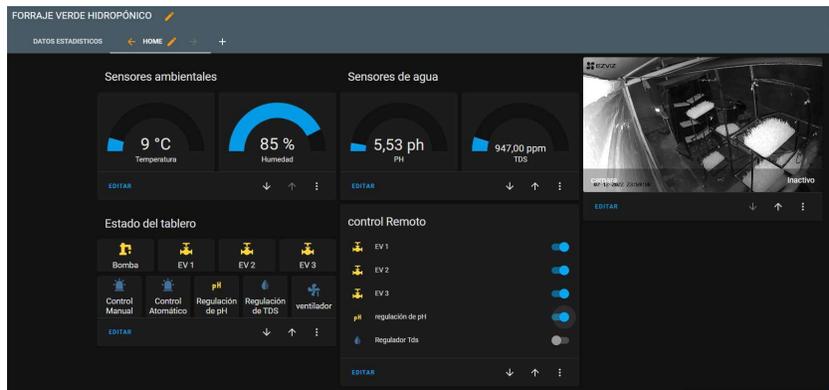
Para la configuración del asistente de Google se requiere tener una cuenta activa en Google, registrarse en home Assistant Cloud, luego se debe exponer las entidades a ser utilizadas en este caso se utilizó “b19, b20, b21” para el encendido/apagado de las electroválvulas 1,2,3 respectivamente junto con la bomba de agua, esto facilitaría el accionamiento para riego mediante comandos de voz. La integración se puede visualizar en la Figura 75.



**Figura 75.** Integración del asistente de Google a Home Assistant.

**Elaborado por:** el investigador.

La interfaz para la visualización consta de 2 ventanas, la primera ventana se utiliza para control y activación del sistema junto a la reproducción de video en tiempo real como se observa en la Figura 76.



**Figura 76.** Interfaz principal de visualización.

**Elaborado por:** el investigador.

En la segunda ventana se visualiza los datos estadísticos proporcionados por cada sensor de temperatura, humedad, PH y TDS durante cierto periodo de tiempo obteniendo el valor máximo, mínimo y medio de 60 muestras cada 5 minutos. La Figura 77 muestra la gráfica estadística de cada valor tomado.

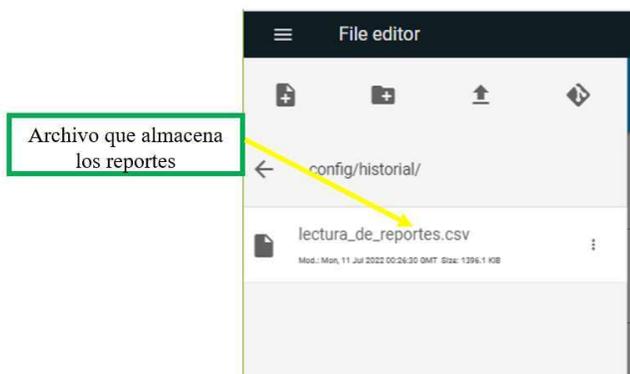


**Figura 77.** Interfaz secundaria de visualización.

**Elaborado por:** el investigador.

## Generación de reportes

Los reportes se generan mediante un archivo con extensión “.csv” que puede ser exportado a Excel para su visualización, los datos son generados cada 10 segundos y almacenados en la base de datos de mariadb de Home Assistant como se visualiza en la Figura 78.



**Figura 78.** Archivo que almacena los reportes en Home Assitant.

**Elaborado por:** el investigador.

Los reportes se guardan con la fecha, la hora y el valor de los sensores de temperatura, humedad, PH y TDS del sistema. La Figura 79 detalla cada parámetro generado.

	08/07/2022	10:01:30	temperatura	;18	Humedad	;38	ph	;5.24	TDS	;119.00
	08/07/2022	10:01:40	temperatura	;18	Humedad	;38	ph	;5.63	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:01:50	temperatura	;18	Humedad	;38	ph	;5.46	TDS	;105.00
	08/07/2022	10:02:00	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.61	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:02:10	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.31	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:02:20	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.78	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:02:30	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.16	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:02:40	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.41	TDS	;112.00
Fecha	08/07/2022	10:03:00	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.53	TDS	;114.00
	08/07/2022	10:03:10	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.27	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:03:20	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.32	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:03:30	temperatura	;18	Humedad	;37	ph	;5.19	TDS	;110.00
Hora	08/07/2022	10:03:40	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.41	TDS	;110.00
	08/07/2022	10:03:50	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.76	TDS	;114.00
	08/07/2022	10:04:00	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.29	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:04:10	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.98	TDS	;112.00
Temperatura	08/07/2022	10:04:20	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.21	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:04:30	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.42	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:04:40	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.70	TDS	;124.00
Humedad	08/07/2022	10:04:50	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.77	TDS	;126.00
	08/07/2022	10:05:00	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.54	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:05:10	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.55	TDS	;119.00
PH	08/07/2022	10:05:20	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.42	TDS	;124.00
	08/07/2022	10:05:30	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.49	TDS	;119.00
	08/07/2022	10:05:40	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.01	TDS	;114.00
TDS	08/07/2022	10:05:50	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.00	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:06:00	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.78	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:06:10	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.62	TDS	;110.00
	08/07/2022	10:06:20	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.89	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:06:30	temperatura	;18	Humedad	;36	ph	;5.46	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:06:40	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.43	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:06:50	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.39	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:07:00	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.49	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:07:10	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;6.06	TDS	;112.00
	08/07/2022	10:07:20	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.98	TDS	;121.00
	08/07/2022	10:07:30	temperatura	;18	Humedad	;35	ph	;5.54	TDS	;114.00
	08/07/2022	10:07:40	temperatura	;18	Humedad	;33	ph	;5.53	TDS	;121.00
	08/07/2022	10:07:50	temperatura	;18	Humedad	;32	ph	;5.67	TDS	;108.00
	08/07/2022	10:08:00	temperatura	;18	Humedad	;32	ph	;5.46	TDS	;114.00
	08/07/2022	10:08:10	temperatura	;18	Humedad	;32	ph	;5.08	TDS	;117.00
	08/07/2022	10:08:20	temperatura	;18	Humedad	;32	ph	;5.27	TDS	;108.00

**Figura 79.** Reportes generados en un intervalo de tiempo.

**Elaborado por:** el investigador.

Una vez generado el reporte se puede exportar a una de hoja de cálculo en Microsoft Excel para su manipulación y visualización como se muestra en la Figura 80.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Home Assistant notifications (Log started: 2022-07-08T15:01:30.021390+00:00)								
2	-----								
3	8/7/2022 10:01	temperatura	18	Humedad	38	ph	5.24	TDS	119.00
4	8/7/2022 10:01	temperatura	18	Humedad	38	ph	5.63	TDS	108.00
5	8/7/2022 10:01	temperatura	18	Humedad	38	ph	5.46	TDS	105.00
6	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.61	TDS	108.00
7	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.31	TDS	108.00
8	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.78	TDS	112.00
9	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.16	TDS	112.00
10	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.41	TDS	112.00
11	8/7/2022 10:02	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.40	TDS	112.00
12	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.53	TDS	114.00
13	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.27	TDS	108.00
14	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.32	TDS	112.00
15	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	37	ph	5.19	TDS	110.00
16	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.41	TDS	110.00
17	8/7/2022 10:03	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.76	TDS	114.00
18	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.29	TDS	108.00
19	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.98	TDS	112.00
20	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.21	TDS	112.00
21	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.42	TDS	117.00
22	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.70	TDS	124.00
23	8/7/2022 10:04	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.77	TDS	126.00
24	8/7/2022 10:05	temperatura	18	Humedad	35	ph	5.54	TDS	117.00
25	8/7/2022 10:05	temperatura	18	Humedad	36	ph	5.55	TDS	119.00
26	8/7/2022 10:05	temperatura	18	Humedad	35	ph	5.42	TDS	124.00
27	8/7/2022 10:05	temperatura	18	Humedad	35	ph	5.49	TDS	119.00

**Figura 80.** Reportes generados en un intervalo de tiempo exportados a Microsoft Excel.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.3 Implementación del Sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IoT.

#### 3.3.1 Implementación de la infraestructura

En base al diseño analizado se construyó el invernadero tipo capilla utilizando madera para el montaje de la estructura y plástico transparente blanco de alta resistencia para forrar paredes y techo como se observa en la Figura 81. (fotos adicionales en el Anexo F)



**Figura 81.** Invernadero tipo Capilla con ventana cenital y ventanas laterales.

**Elaborado por:** el investigador.

Los módulos fueron elaborados en metal (ángulo de  $\frac{3}{4}$  \* 1 mm de espesor) para contención de las bandejas de FVH, estos cumplen con las medidas y especificaciones calculadas con anterioridad.



**Figura 82.** Modularles para FVH.

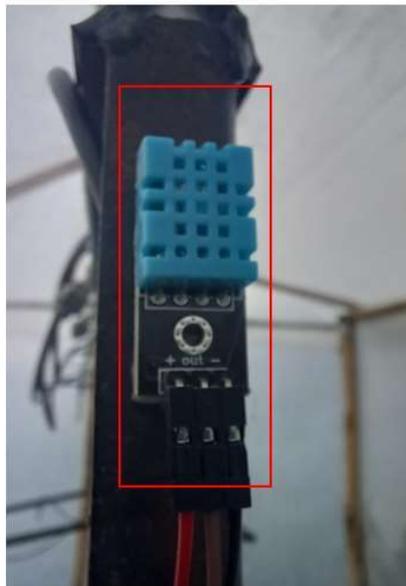
**Elaborado por:** el investigador.

### 3.4 Implementación del sistema Eléctrico/Electrónico

#### 3.4.1 Nodo sensores

El nodo sensores se compone de sensores ambientales y sensores de agua, los sensores ambientales están ubicados en el centro del invernadero a una altura de 1.75 metros del piso.

El sensor de humedad relativa (DTH-11) se ubicó a un costado de la estantería central para cubrir un mayor rango de obtención de datos como se muestra en la Figura 83.



**Figura 83.** Ubicación del sensor de humedad.

**Elaborado por:** el investigador.

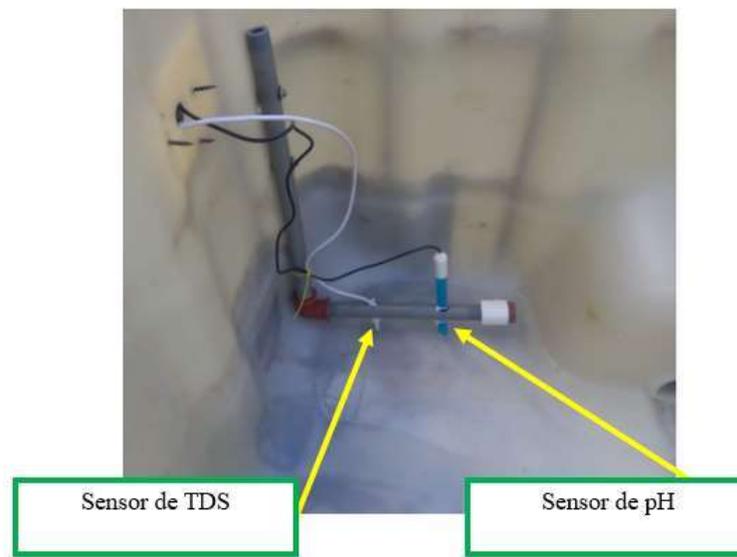
El sensor de temperatura se ubicó sobre la estantería central junto a los aspersores, al ser un sensor diseñado para ser utilizado en sitios húmedos o incluso el agua no le afecta la nebulización proporcionada por el riego. La Figura 84 muestra la ubicación del sensor de temperatura.



**Figura 84.** Ubicación del sensor de temperatura.

**Elaborado por:** el investigador.

Los sensores de agua se ubicaron en el fondo del tanque para obtener el valor de PH y TDS aun cuando el tanque tenga poca agua. Mediante el análisis de necesidades de agua diaria y la selección del tanque realizado con anterioridad se determinó que se requiere un tanque con capacidad mayor a 100 litros para cubrir los 15 días de riego del sistema. El agua no debe cubrir por completo al sensor de PH ya que ocasionaría lecturas incorrectas. La Figura 85 muestra la ubicación de los sensores.

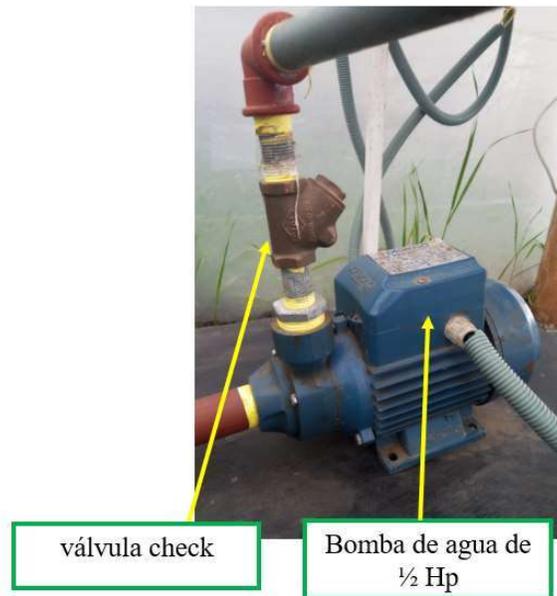


**Figura 85.** Ubicación de los sensores de agua.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.4.2 Nodo Actuadores

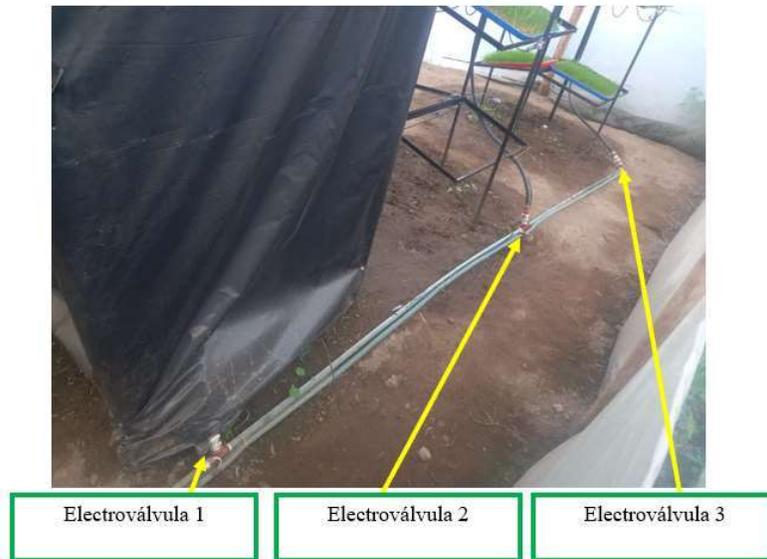
La bomba de agua seleccionada con anterioridad se ubicó por debajo del nivel del tanque de agua debido a que para el correcto funcionamiento no debe tener bolsas de aire en el interior de la tubería, con esto se asegura que todos los gases sean eliminados y no necesite cebado ya que el agua por gravedad llega al sistema de aspersión de la bomba. Además, se colocó una válvula check para permitir el fluido de líquidos en una sola dirección y sellar la tubería cuando la bomba no este encendida como se muestra en la Figura 86.



**Figura 86.** Ubicación de la bomba de agua de 1/2 hp.

**Elaborado por:** el investigador.

Las electroválvulas están instaladas en la parte inferior de cada estantería como se visualiza en Figura 87, permitiendo el paso de la solución nutritiva por la tubería, esto permite el riego independiente de cada percha y controlar el tiempo de riego.



**Figura 87.** Ubicación de las electroválvulas.

**Elaborado por:** el investigador.

Los nebulizadores están ubicados sobre las estanterías a una distancia de 50cm entre ellos como se muestra en la Figura 88, así se mejora la oxigenación de la solución nutritiva, se utilizó 1 nebulizador para cada bandeja, así todas las semillas del cultivo se encuentran hidratadas.



**Figura 88.** Ubicación de los nebulizadores.

**Elaborado por:** el investigador.

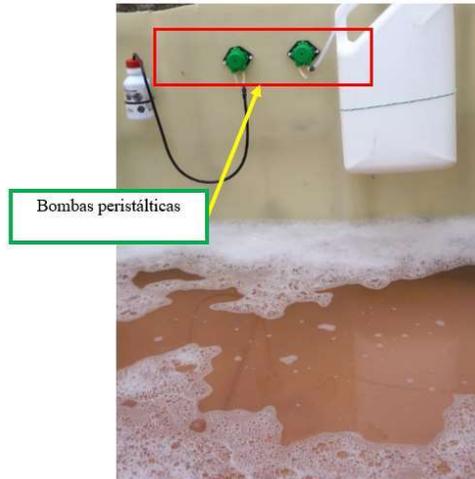
Para que la temperatura en el invernadero sea menor a 28 grados centígrados se utilizó un ventilador de 110VCA para la circulación de aire, además se requirió que las cortinas del invernadero permanezcan abiertas para no quemar las raíces y perjudicar al cultivo. La Figura 89 muestra el ventilador utilizado en el sistema.



**Figura 89.** Ubicación del ventilador.

**Elaborado por:** el investigador.

Las bombas peristálticas se ubicaron dentro del tanque sin tener contacto con el agua, teniendo que estar conectadas al depósito que contiene el líquido regulador de PH y al depósito que contiene la solución nutritiva como se visualiza en la Figura 90.



**Figura 90.** Ubicación del líquido regulador de PH y la solución nutritiva.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.4.3 Etapa de acondicionamiento, control y comunicación

En esta etapa del proyecto se requirió de la implementación de una placa de circuito impreso para interconectar el Arduino Mega encargado del control del sistema con el módulo wifi que permite la comunicación con el servidor, además se incluyó el módulo de reloj para el control de riegos temporizados, junto a resistencias y borneras como se observa en la Figura 91.



**Figura 91.** Circuito de control del sistema de forraje verde hidropónico.

**Elaborado por:** el investigador.

La placa de circuito impreso se elaboró basado en la norma IPC 2221, la cual ayudo principalmente para determinar el ancho mínimo y grosor de los conductores de la placa, teniendo en cuenta que el voltaje de alimentación es de 5VCD y la corriente no debe superar los 40mA. (fotos del diseño e implementación en el Anexos D y E)

Para el montaje de componentes como mínimo se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Requerimiento eléctrico para el diseño del circuito.
- Selección de componentes electrónicos y hardware.
- Consideraciones térmicas.
- Requisitos de utilidad
- Consideraciones de mantenimiento y reparación
- La distancia mínima entre caminos 0.13mm
- Ubicación de los componentes.

El circuito de potencia se ensablo en un tablero eléctrico de 30\*30\*15 cm de metal, donde se incorporó elementos como: guardamotor, disyuntor y un contactor encargado del funcionamiento de la bomba de agua de ½ hp. Además, se utilizó pulsadores y luces piloto que permiten e indican el funcionamiento manual del sistema, también se incluyó un botón de paro de emergencia que corta la alimentación de la bomba de agua para salvaguardar el funcionamiento del sistema, teniendo un selector para activar el control manual y automático como se muestra en la Figura 92.



**Figura 92.** Circuito de potencia del sistema de forraje verde hidropónico.

**Elaborado por:** el investigador.

Los componentes del tablero eléctrico de la Figura 93 tiene la siguiente descripción:(fotografías adicionales Anexo I y H)

Luces piloto:

- Encendido y apagado de la bomba
- Indicadores del funcionamiento de las electroválvulas

Pulsadores:

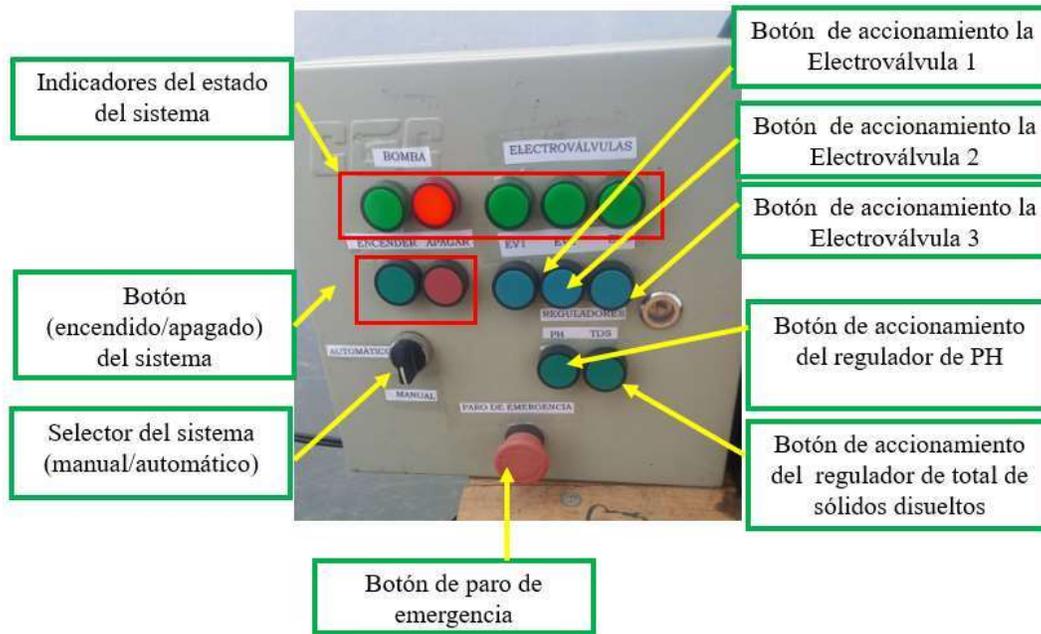
- Para encendido y apagado de la bomba
- Para el encendido de electroválvulas
- Para regular el PH y el TDS del sistema

Selector:

- Selección del control manual y automático del sistema

Botón de paro Emergencia:

- Desactivación de la bomba.

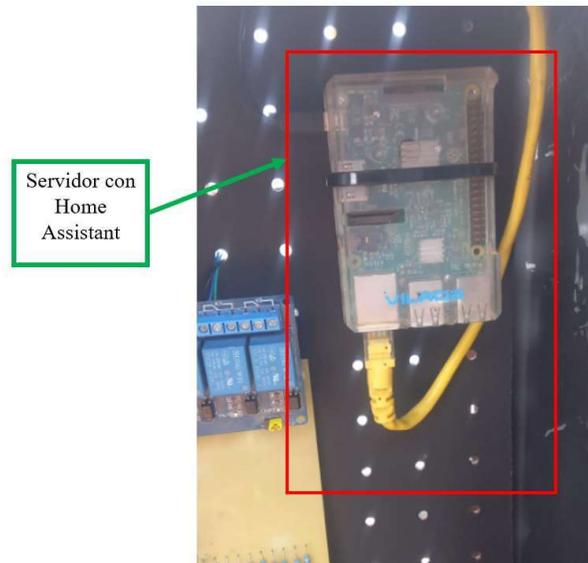


**Figura 93.** Componentes del tablero eléctrico.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.4.4 Etapa de monitorización

Los elementos utilizados en esta etapa son: raspberry pi 3B V1.2, una micro SD de 32Gb donde aloja el servidor de Home Assistant que permite la interacción del usuario con el sistema, se requirió de una conexión mediante cable ethernet para enlazar el servidor con la nube que gestiona Nabu casa, colocándola en una caja de protección como se visualiza en Figura 94.



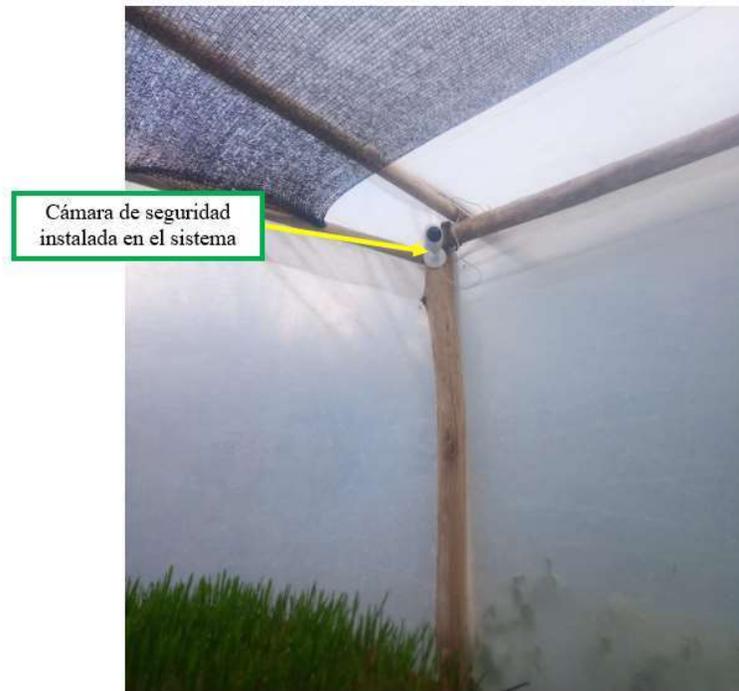
**Figura 94.** Ubicación del servidor del sistema.

**Elaborado por:** el investigador.

Nabu casa gestiona la comunicación entre Home Assistant y la nube permitiendo el control y la conexión a internet del sistema, a pesar de que los datos están alojados en servidor es posible agregar, configurar y quitar dispositivos desde fuera de la red a través de Home Assistant Cloud formando una red de dispositivos con los cuales se puede recibir y transferir datos mediante redes inalámbricas haciendo uso mínimo de intervención humana.

En base a los requerimientos que soporta Home Assistant mencionado con anterioridad se eligió la cámara modelo Ezviz c2c 720p con lente angular de 111 a 135 grados con audio bidireccional compatible con wifi de 2.4 Ghz con Codec H.264.

Esta cámara es parte del monitoreo del sistema inteligente, que se integra a la interfaz de monitorización para visualizar el estado del cultivo, supervisar el estado del sistema eléctrico y mantener controlado y vigilado el espacio, ubicada en una esquina superior de la estructura como se observa en la Figura 95 para tener un mayor ángulo de visualización del entorno.



**Figura 95.** Ubicación de la cámara.

**Elaborado por:** el investigador.

El sistema inteligente consta de la integración con el asistente de Google para ejecutar acciones mediante comando de voz encender/apagar las electroválvulas juntamente con la bomba de  $\frac{1}{2}$  hp, independientemente del modo con el que esté operando En la Figura 96 se visualiza la integración de los botones de accionamiento en la interfaz del asistente de Google.

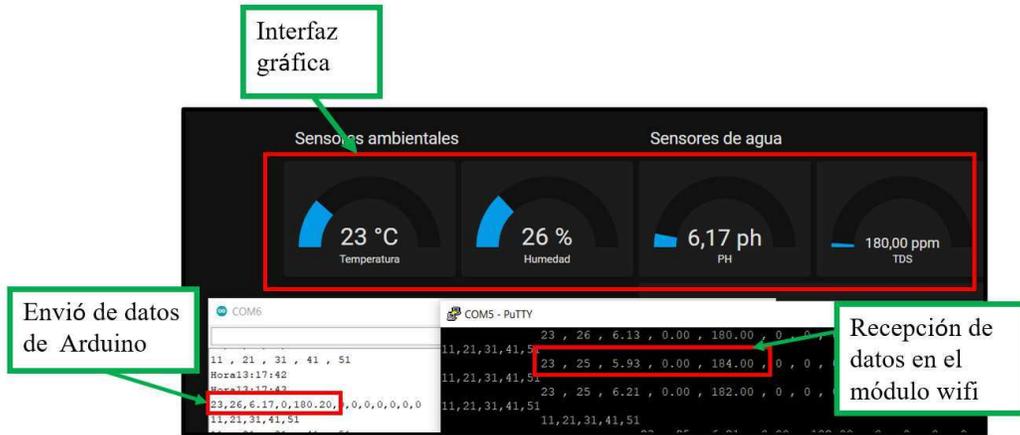


**Figura 96.** Interfaz de configuración de Google home.

**Elaborado por:** el investigador.

### **3.5 Pruebas de funcionamiento**

En la Figura 97 se muestra los datos enviados desde el Arduino por el puerto serial “COM6” que están separados por el signo de puntuación coma “,” que son receptados por el puerto serial del módulo wifi “COM5” y luego enviados al bróker de MQTT para ser mostrados en la interfaz gráfica.

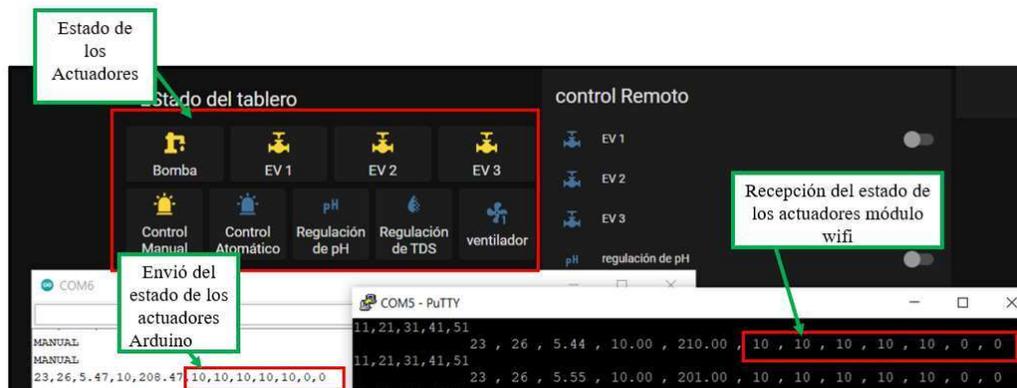


**Figura 97.** Subida de datos de los sensores desde Arduino

**Elaborado por:** el investigador

Los recuadros marcados en rojo de la Figura 97 muestran los valores de los sensores: temperatura, humedad, PH, TDS en el mismo orden que se visualiza en la imagen. Los valores restantes pertenecen a las variables de indicadores.

Se envía desde la placa de desarrollo Arduino con el numero “10” para indicar que el actuador este encendido, mientras que se envía el numero “0” para indicar que esta apagado, en la interfaz del usuario se muestra el icono de color amarillo para encendido y color azul para indicar que el actuador esta apagado.



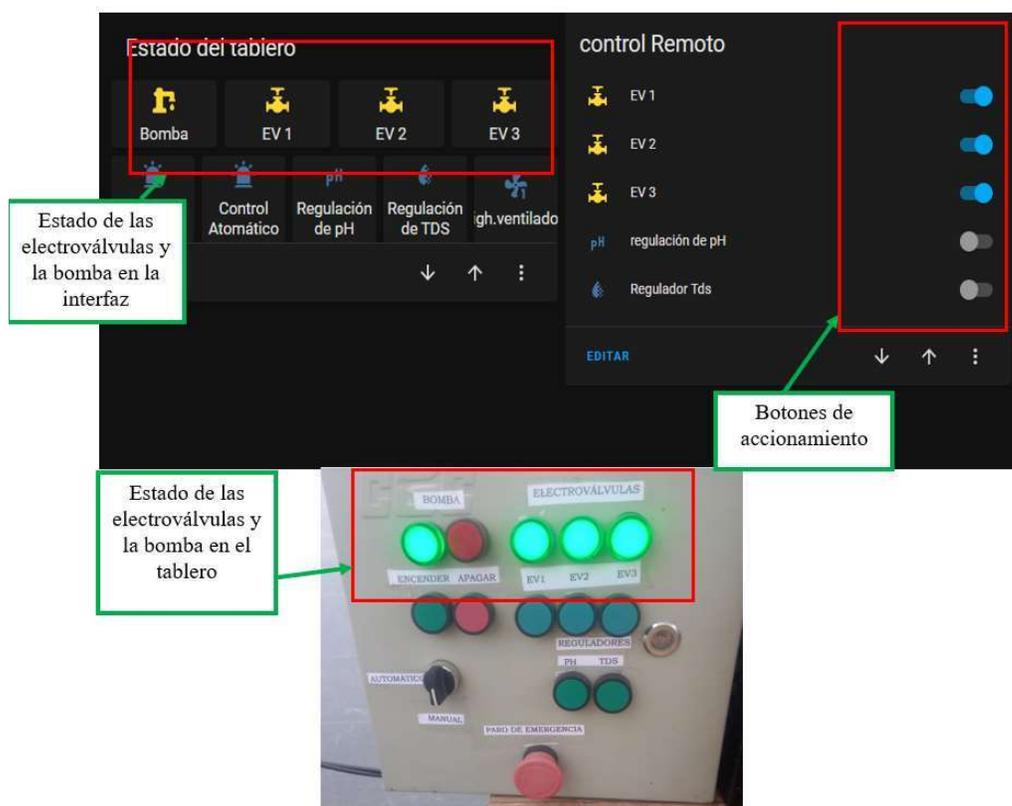
**Figura 98.** Subida de estados de los actuadores desde Arduino.

**Elaborado por:** el investigador.

Los recuadros marcados en rojo de la Figura 98 muestran que se envía el numero 10 para indicar que está encendido la Bomba, las electroválvulas y el control manual del sistema, mientras que el numero 0 indica que esta apagado la regulación de PH, TDS y la ventilación.

Para el control fuera de la red del sistema se utilizó botones en la interfaz de home Assistant que encienden los actuadores e indicadores en el tablero eléctrico.

En la Figura 99 se observa la activación de las 3 electroválvulas y la bomba para el riego del cultivo, observando el mismo estado en el tablero eléctrico y en la interfaz gráfica.



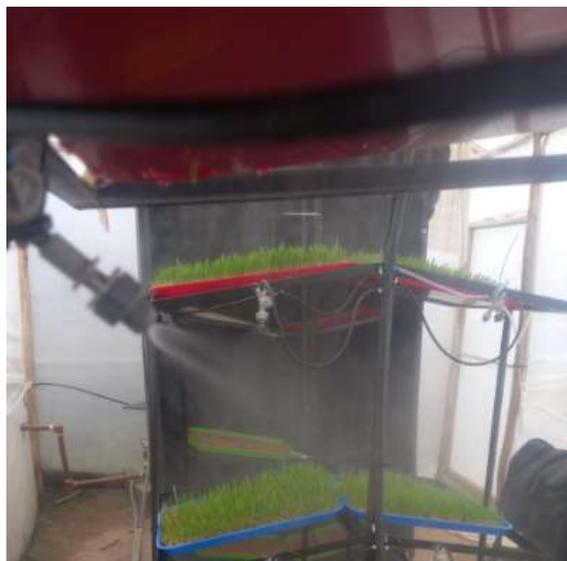
**Figura 99.** Botones e iconos que muestran el accionamiento del sistema.

**Elaborado por:** el investigador

Para el accionamiento del sistema se cuenta con un control manual y automático utilizando un selector, el sistema de ventilación funciona independientemente del control seleccionado al llegar a la temperatura de 24 grados centígrados se enciende.

Cuando se ha seleccionado el control manual se opera el sistema mediante los pulsadores en el tablero eléctrico y los botones en la interfaz del usuario, para el accionamiento de las electroválvulas de manera independiente y las bombas peristálticas para la regulación de PH y total de sólidos disueltos.

Cuando se ha seleccionado el control automático el sistema opera de manera autónoma realizando 4 riegos con duración de 1 minuto cada uno, programados a las 9H00, 12H00, 15H00,16H00. La Figura 100 muestra el cultivo de la avena siendo regada.

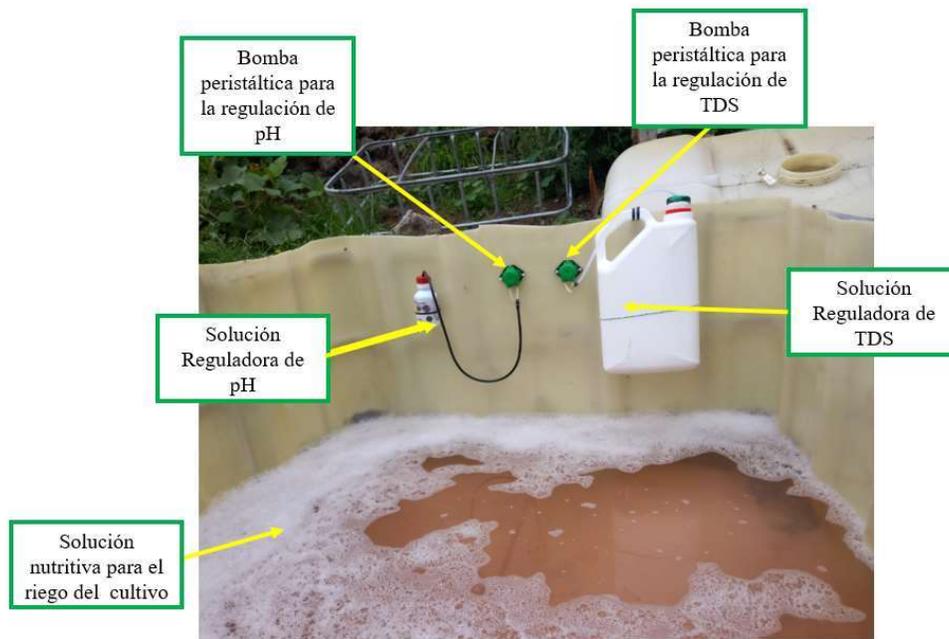


**Figura 100.** Riego del cultivo.

**Elaborado por:** el investigador.

### **3.5.1 Forma de operación del PH y TDS**

La regulación del PH y el total de sólidos disueltos (TDS)son activadas de manera manual independientemente del modo de operación y se utilizó bombas peristálticas programadas para proporcionar 3ml de solución en cada activación, debido a que la solución reguladora y las soluciones nutritivas se deben dispersar en volúmenes exactos para precautelar la salud y desarrollo del cultivo. La Figura 101 muestra las bombas peristálticas en funcionamiento y el tanque con la solución nutritiva.



**Figura 101.** Tanque con la soluci3n nutritiva despu3s de la regulaci3n.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.5.2 Verificaci3n de mediciones

Se tomaron 10 datos en un periodo de 10 d3as, las mediciones fueron realizadas de 9H00-10H00 obteniendo los valores de temperatura, humedad, PH y TDS del cultivo con dispositivos electr3nicos propios para cada medici3n y mediante los sensores del sistema.

Para la medici3n de la temperatura y de total de s3lidos disueltos se utiliz3 el dispositivo “TDS-3” del fabricante HM ELECTRONICS que cuenta con un sensor integrado que tiene la capacidad de medir temperatura y TDS, para medir la variable del PH del agua se utiliz3 un PH metro digital de la marca Basnge, y para medir la humedad relativa se utiliz3 un Term3metro Higr3metro.

Los valores obtenidos mediante medici3n se detallan en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Adquisición de medidas del sistema

**Elaborado por:** el investigador

N	Sistema de FVH				Instrumentos de medición			
	Temperatura (°C)	PH (Niveles de PH)	Humedad (%)	TDS (ppm)	Temperatura (°C)	PH (Niveles de PH)	Humedad (%)	TDS (ppm)
1	24	5,93	31	721	23	5,93	32	720
2	18	5,53	75	768	19	5,40	72	750
3	18	5,19	63	802	17	5,32	64	799
4	13	5,06	65	851	13	5,12	62	845
5	13	5,73	68	725	18	5,70	67	732
6	19	5,90	42	730	19	5,84	43	733
7	20	5,54	42	745	21	5,69	44	742
8	18	6,02	46	795	18	5,97	43	801
9	18	6,23	48	780	19	6,15	45	782
10	13	6,22	70	775	15	6,16	72	776

Para analizar la calidad de medición del sistema se requiere calcular el error absoluto y relativo.

Cálculo del error absoluto

Ecuación 5

$$\text{Error absoluto} = \text{Valor medido por el instrumento} - \text{Valor medido del sistema FVH}$$

Cálculo del error relativo

Ecuación 6

$$\text{Error relativo} = \frac{\text{Error absoluto}}{\text{Valor medido por el instrumento}} * 100$$

Utilizando la ecuación 5 y 6 se calcula el error absoluto y relativo mostrado en la tabla 16.

**Tabla 16.** Cálculo del error absoluto y relativo

**Elaborado por:** el investigador

N	Error Absoluto				Error Relativo (%)			
	Temperatura (°C)	PH (niveles de PH)	Humedad (%)	TDS (ppm)	Temperatura	PH	Humedad	TDS
1	0,8	0,01	1	1	3,45	0,17	3,13	0,14
2	0,7	0,13	3	3	3,74	2,41	4,17	0,39
3	0,5	0,13	1	3	2,86	2,44	1,56	0,38
4	0,1	0,06	3	6	0,76	1,17	4,84	0,71
5	0,7	0,03	1	3	4,46	0,53	1,49	0,41
6	0	0,06	1	3	0,00	1,03	2,33	0,41
7	1	0,15	2	3	4,76	2,64	4,55	0,40
8	0	0,05	2	4	0,00	0,84	4,55	0,50
9	0,9	0,08	2	2	4,76	1,30	4,35	0,26
10	0,6	0,06	2	1	4,41	0,97	2,78	0,13

### **Análisis:**

El error absoluto muestra una determinada imprecisión en las medidas tomadas siendo en la temperatura el valor máximo de imprecisión 1, en el nivel de PH el valor máximo de imprecisión 0.15, en la humedad el valor máximo de imprecisión 3 y en total de sólidos disueltos el valor máximo de imprecisión 6. Al ser valores bajos no tiene gran impacto en el desarrollo del cultivo.

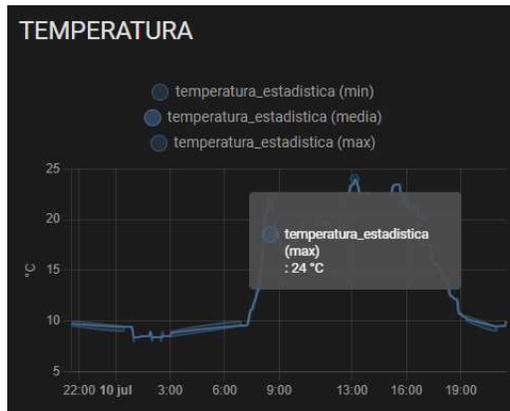
El cálculo del error relativo en temperatura arroja un máximo de 4.46%, en PH un máximo de 2.64%, en humedad un máximo de 4.84% y en TDS un máximo de 0.71%.

El valor máximo de error relativo se muestra en la variable humedad con 4.84% que no supera el 5% que es el límite para considerar una buena calidad de en la toma de mediciones, comprobando la efectividad de la toma de mediciones del sistema de forraje verde hidropónico.

### **3.5.3 Interpretación gráfica**

Mediante el análisis de la Figura 102 la temperatura en el sistema de forraje verde hidropónico no supero los 28 grados centígrados que recomienda la FAO, teniendo un valor máximo de 26 grados entre las 13H00 y las 15H00 como se visualiza en la gráfica, comprobando así que el sistema de ventilación tuvo un desempeño optimo.

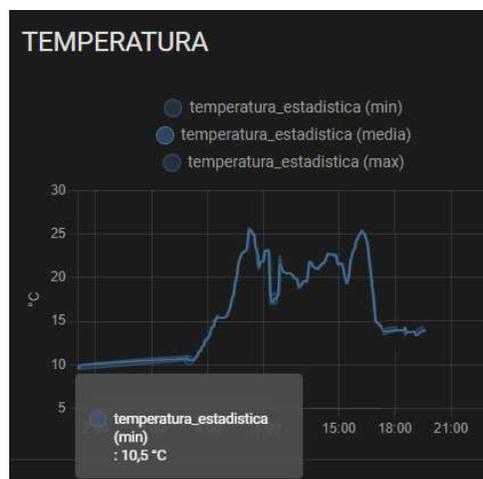
Para una visualización más clara se eligió únicamente las fechas en las cuales la temperatura tuvo sus picos máximos y mínimos.



**Figura 102.** Grafica estadística de la temperatura máxima alcanzada.

**Elaborado por:** el investigador.

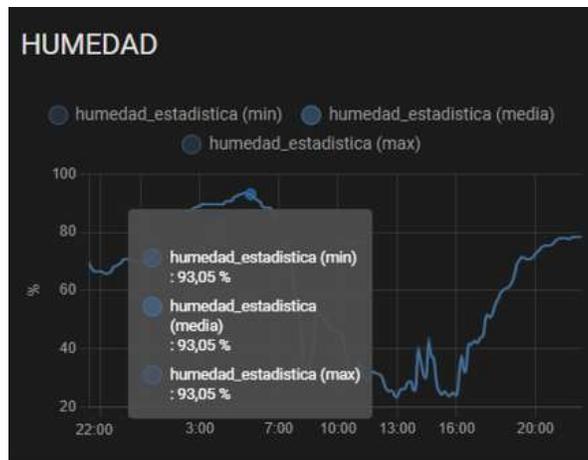
El valor mínimo de la temperatura con las cortinas cerradas se obtuvo en la noche a partir de 01H00 a las 03H00 obteniendo un valor de 10.5 grados centígrados como se visualiza en la Figura 103, por esta razón se eligió la avena para el forraje debido a que la temperatura óptima para germinación y desarrollo para este tipo de semilla no debe estar por debajo de los 10 grados centígrados. Comprobando que el ambiente para germinación y desarrollo es el adecuado para la producción de forraje verde hidropónico de la avena.



**Figura 103.** Grafica estadística de la temperatura mínima alcanzada.

**Elaborado por:** el investigador.

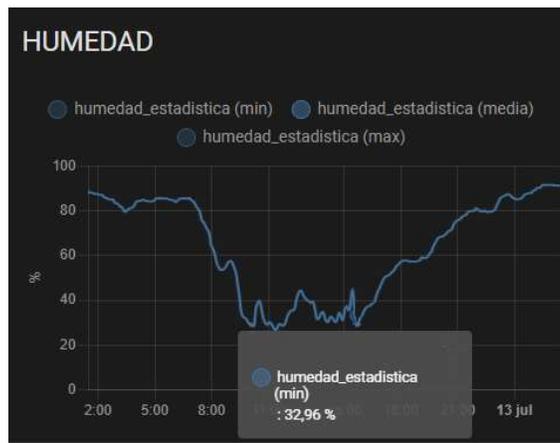
El valor máximo de la humedad relativa del sistema se dio entre las 05H00 a 06H00 con un valor de 93.05% como se observa en la Figura 104 que no está alejado del rango que se recomienda.



**Figura 104.** Grafica estadística de la humedad máxima alcanzada.

**Elaborado por:** el investigador.

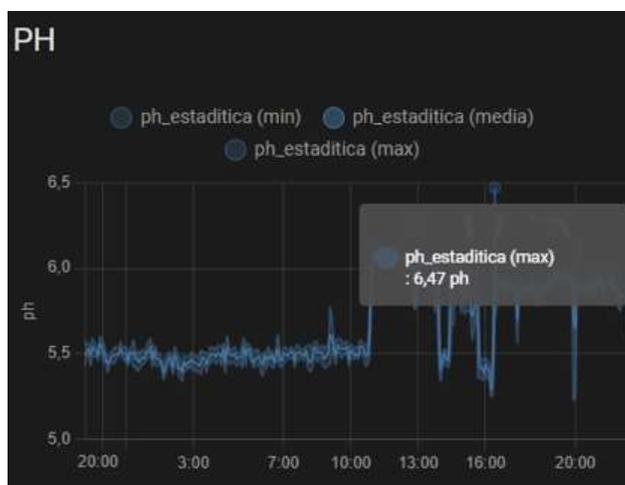
El valor mínimo de la humedad relativa del sistema se dio entre las 14H00 a 15H00 con un valor de 32.96% como se visualiza en la Figura 105, que no sale del rango recomendado mínimo 30% para el crecimiento de forraje hidropónico, en el caso que supere el límite mínimo se informara al usuario mediante notificación para realizar un riego extra con el fin de evitar el descenso de humedad y devolver a las condiciones óptimas al sistema.



**Figura 105.** Grafica estadística de la Humedad mínima alcanzada.

**Elaborado por:** el investigador.

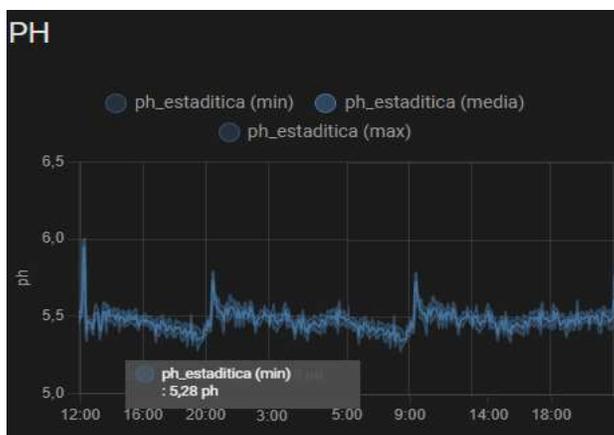
El valor del PH máximo recomendado para hidroponía es de 7 y obteniendo un valor máximo de PH en el tanque de 6.47 a las 16H00 como se visualiza en la Figura 106, comprobando así el funcionamiento óptimo del sistema.



**Figura 106.** Grafica estadística del PH máximo alcanzado.

**Elaborado por:** el investigador.

El valor mínimo recomendad de PH es de 5.2 por debajo de este valor las raíces de las plantas se deterioran y afecta al desarrollo del forraje verde. El sistema presento un valor mínimo de PH de 5.28 como se observa en la Figura 107 al aplicar una dosis de 12 ml de regulador de PH profixol.

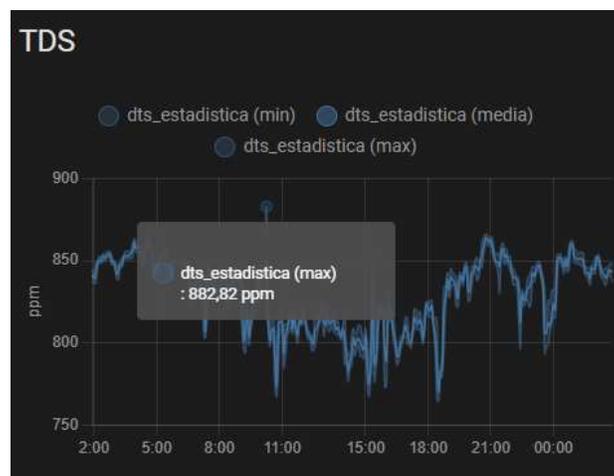


**Figura 107.** Grafica estadística del PH mínimo alcanzado.

**Elaborado por:** el investigador.

Se recomienda que el valor de TDS este entre el rango de 750 a 1500 ppm para ello se utilizó la mezcla de solución nutritiva en proporciones de 1 litro solución por cada 100 litros de agua. Desde el primer día se prepara la solución nutritiva mezclando los componentes (A, B, C) en ese orden con el agua. Reservando la mezcla de componentes en un recipiente para luego aportar los nutrientes faltantes al tanque que contiene la solución, los nutrientes son aportados mediante la activación de bomba peristáltica en proporciones de 3 ml por activación. (fotografías del producto utilizado en el Anexo J)

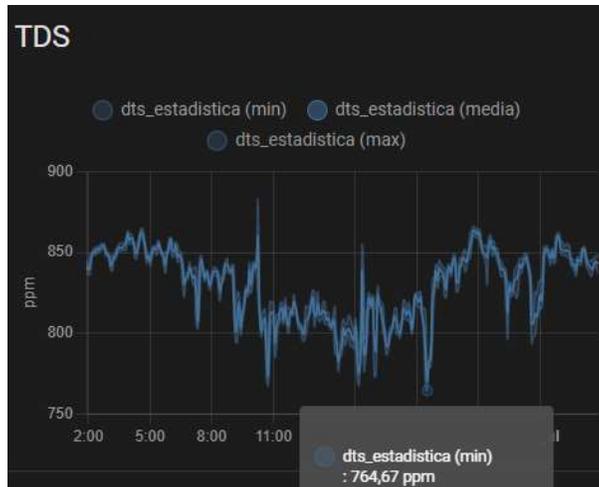
El valor máximo del total de sólidos disueltos obtenidos en el cultivo 882.82ppm como se observa en la Figura 108, comprobando la eficacia del funcionamiento del sistema.



**Figura 108.** Grafica estadística del TDS máximo alcanzado.

**Elaborado por:** el investigador.

El valor mínimo del TDS fue 764 ppm en las horas 12H00 a las 15H00 como se observa en la Figura 109, el valor se encuentra dentro del rango permitido, en el caso que saliera del rango el sistema notifica para activar las bombas y compensar la falta de nutrientes.



**Figura 109.** Grafica estadística del TDS mínimo alcanzado.

**Elaborado por:** el investigador.

### 3.5.4 Funcionamiento de las notificaciones

Las notificaciones de las alertas fueron programadas en Home Assistant para enviar diariamente los valores de los sensores en la mañana a las 08H00 y en la tarde a las 18H00 en un mensaje de telegram como se observa en la Figura 110.

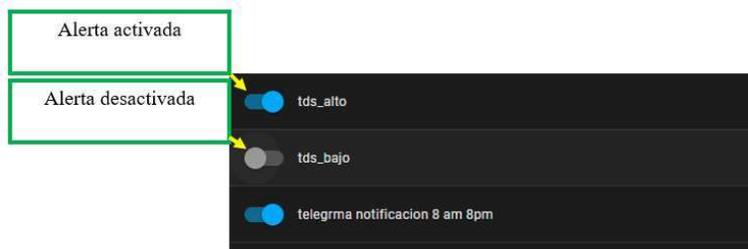
Las alertas para control del sistema se envían en un mensaje al sobrepasar los límites permitidos de: Temperatura menor a 10 grados y mayor a 28 grados centígrados, PH menor a 5.5 y mayor 7 y el TDS cuando sea menor a 90 ppm y mayor a 250 ppm. Siendo estos valores óptimos para la germinación y desarrollo del cultivo de la avena.



**Figura 110.** Pantalla de notificaciones del sistema.

**Elaborado por:** el investigador.

Para evitar molestias por recibir exceso de alertas que lleguen al celular en forma de mensaje se puede desactivar o activar según las necesidades de monitoreo como se visualiza en la **Figura 112**Figura 111.



**Figura 111.** Pantalla desactivación de alertas.

**Elaborado por:** el investigador.

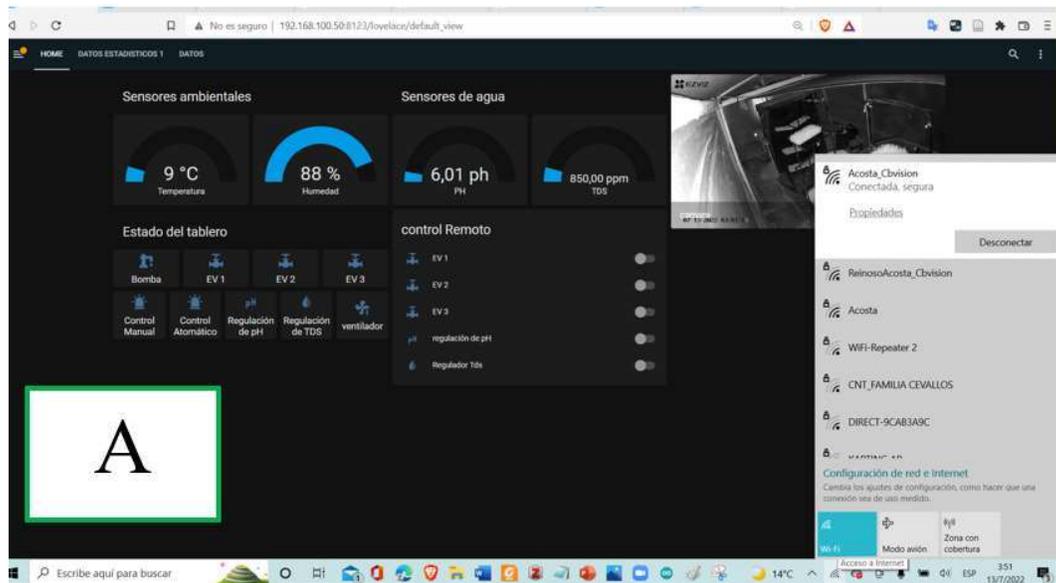
### 3.5.5 Pruebas de control y monitoreo desde cualquier dispositivo fuera de la red local

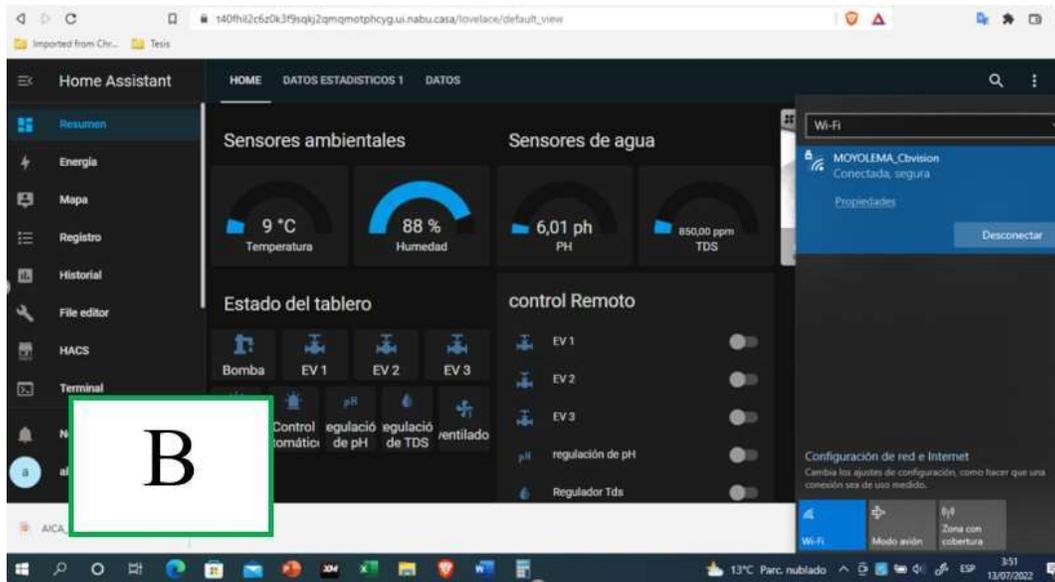
El control del sistema se realiza utilizando un enlace gestionado por Nabu Casa que brinda una conexión remota para control, monitoreo y configuración de la interfaz del usuario sin depender de la ubicación.

Se realizó las pruebas de ingreso a la interfaz del usuario alojadas en el servidor local desde distintos dispositivos y situados en diferentes locaciones. Comprobando así el ingreso exitoso del usuario a la interfaz de monitorización y control sin importar la ubicación o dispositivo de los cuales se conecte.

Para acceso a las funciones de la interfaz el usuario se requiere la dirección de conexión, usuario y contraseña, brindando seguridad y acceso para el sistema.

En la figura A de la Figura 112 se visualiza la interfaz del servidor conectado a red local “Acosta\_Cbvision” con dirección 192.168.100.50:8123 el día 13-07-2022 a las 03H51, mientras que en la figura B de la Figura 112 se visualiza la conexión desde un dispositivo a una red diferente denominada “MOYOLEMA\_Cbvision” a la misma hora y fecha. Comprobando el correcto funcionamiento fuera de la red local.





**Figura 112.** Pruebas de funcionamiento: (A) dispositivo conectado a red local, (B) dispositivo conectado fuera de la red.

**Elaborado por:** el investigador

### 3.6 Resultados del desarrollo del cultivo

Una vez probado el funcionamiento del sistema se procedió a realizar la germinación y crecimiento del FVH de la Avena.

Se peso 4.195 Kg de semilla para cultivar 11 bandejas de 350 gramos cada una, las semillas fueron preseleccionadas y limpiadas, eliminando las semillas rotas o deterioradas, luego se remoja las semillas 12 horas, se retira el agua por 1 hora y se deja nuevamente en remojo por 12 horas, posteriormente se desinfecto las semillas con hipoclorito de sodio(cloro) en porcentajes de 10 ml por litro de agua, no se debe sobrepasar los 2 min, luego enjuagar con abundante agua hasta eliminar los residuo como se observa en la Figura 113.



**Figura 113.** Selección, desinfección y lavado de la semilla.

**Elaborado por:** el investigador.

Se ubica las semillas en las bandejas las cuales se trasladan al cuarto oscuro durante 5 días proporcionando un ambiente adecuado en tanto a luz y humedad para una óptima germinación como se visualiza en la Figura 114. Además, se proporciona 4 riegos de 1 minuto de duración cada uno a lo largo del día.



**Figura 114.** Semillas ubicadas en el cuarto oscuro.

**Elaborado por:** el investigador.

Después de los 5 días de permanencia en el cuarto oscuro las semillas alcanzan una altura aproximada de 3 cm y son trasladadas a un ambiente donde reciben la luz solar para realizar la fotosíntesis colocándolas en las perchas para su posterior desarrollo y crecimiento, además se controla la temperatura, humedad, PH y TDS, mediante los actuadores de riego, ventilación y regulación de soluciones. En La Figura 115 se visualiza el cultivo al pasar 5 días, (fotografía adicional del desarrollo en el Anexo M)



**Figura 115.** Bandejas expuestas a la luz solar.

**Elaborado por:** el investigador.

Después de 10 días desde que se inició el cultivo y gracias al control y monitoreo adecuado del sistema la planta alcanzo los 12 cm como se visualiza en la Figura 116.



**Figura 116.** Crecimiento del cultivo después de 10 días.

**Elaborado por:** el investigador

La avena luego de 15 días y con una altura de 25 cm esta lista para ser cosechada y servir como alimento para los cuyes y otras especies de animales, aportando un complemento alimenticio saludable para su desarrollo y crecimiento, además se observa un buen crecimiento de tapete radicular de color blanco lo que indica que el cultivo se encuentra

saludable y libre de hongos como se observa en la Figura 117. El peso final de cada bandeja de FVH fue de 1.275 Kg (fotografía del peso final del cultivo en el Anexo L)



**Figura 117.** Cultivo listo para el consumo de varias especies animales.

**Elaborado por:** el investigador.

### **3.7 Presupuesto**

Para la implementación del sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción del forraje verde con arquitectura IoT se realizó un análisis de costos de: componentes eléctricos/electrónicos del sistema, infraestructura y desarrollo del cultivo, los precios ya incluyen IVA.

### 3.7.1 Costos de los componentes eléctricos /electrónicos del sistema

Tabla 17. Presupuesto de componentes eléctricos y electrónicos.

Elaborado por: el investigador.

Componente	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Sensor de temperatura DS18B20	c/u	1	2,3	2,3
Sensor de Humedad DTH-11	c/u	1	2,1	2,1
Sensor de PH PH-4502C	c/u	1	40	40
Sensor de TDS (CQRSENTDS01)	c/u	1	30	30
Módulo de reloj (DS3231)	c/u	1	5	5
Placa de desarrollo Arduino Mega 2560	c/u	1	25	25
Modulo wifi NodeMCU v1.0	c/u	1	12	12
Raspberry Pi 3b versión 1.2	c/u	1	85	85
Estaño	metros	1	1	1
Resistencias	c/u	10	0,3	3
Baquelita 30*30	plancha	1	8	8
Contactador (9) Amp	c/u	1	8,99	8,99
Guardamotor (6-10)Amp	c/u	1	12	12
Disyuntor de 10Amp	c/u	1	13	13
Bomba de agua Pedrollo ½ hp	c/u	1	40	40
Electroválvulas de 12V	c/u	3	8,3	24,9
Bombas peristálticas de 60ml/min	c/u	2	10	20
Tableros de protección	c/u	2	30	60
Pulsadores NA/NC	c/u	7	1,5	10,5
Luces piloto	c/u	5	1,5	7,5
Selector	c/u	1	3,5	3,5
Botón de paro	c/u	1	3	3
Modulo relé de 8CH	c/u	1	9,55	9,55
Modulo relé de 4CH	c/u	1	6	6
Conectores del tablero eléctrico	metros	10	0,5	5
Ventilador	c/u	1	20	20
Precio del nabu casa	Mensual	1	6.50	6.50
Cámara Ezviz 720 p	c/u	1	35	35
Fuente de Alimentación	c/u	1	12	12
Componentes varios	c/u	5	10	50
			<b>TOTAL</b>	<b>560.64</b>

### 3.7.2 Costos de infraestructura

**Tabla 18.** Presupuesto de infraestructura.

**Elaborado por:** el investigador.

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Invernadero	c/u	1	300	300
Perchas	c/u	3	25	75
Nebulizadores	c/u	36	1	36
Mangueras	metros	20	0,5	10
Tanque de agua	c/u	1	60	60
Bandejas 40*30 plásticas	c/u	36	2,5	90
			<b>TOTAL</b>	<b>616</b>

### 3.7.3 Costos para el desarrollo del cultivo

**Tabla 19.** Presupuesto para el desarrollo del cultivo.

**Elaborado por:** el investigador.

<b>Elementos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Semilla de avena	Kg	20	0,5	10
Solución nutritiva compuesto A	litros	1	6	6
Solución nutritiva compuesto B	litros	1	6	6
Solución nutritiva compuesto C	litros	1	6	6
Regulador de PH	litros	1	2,5	2,5
			<b>TOTAL</b>	<b>30,5</b>

### 3.7.4 Presupuesto Total

Se empleó 1 mes de trabajo para el diseño, implementación y puesta en marcha del proyecto y conociendo que el salario básico mensual que un profesional gana en Ecuador es de 425 dólares en el año 2022 se determina el costo de mano de obra empleado como se visualiza en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Presupuesto de construcción.

**Elaborado por:** el investigador.

<b>Costos de los componentes eléctricos /electrónicos del sistema</b>	\$ 560.64
<b>costos de la infraestructura</b>	\$ 616
<b>Costos para el desarrollo del cultivo</b>	\$ 30,5
<b>Costos de mano de obra</b>	\$ 425
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1632.14</b>

El presupuesto total es de 1632.14 dólares para construcción y desarrollo de un sistema inteligente con capacidad de mantener hasta 36 bandejas forrajeras distribuidas en 3 perchas con 3 niveles cada una, cuya producción es de 36 Kg cada 5 días.

### 3.8 Costo- beneficio

Mediante la alimentación complementaria con Forraje Verde hidropónico el cuy puede alcanzar un desarrollo óptimo 1200 a 1400 gramos para su comercialización dentro de 10 a 12 semanas con un valor de 6 a 8 dólares. Un cuy requiere una alimentación diaria combinada donde el 50% debe ser forraje lo que equivale 160 gramos de FVH, siendo la capacidad de producción constante del sistema de 36 Kg se puede alimentar 45 cuyes diarios.

Desde la etapa de desarrollo hasta etapa de comercialización un cuy consume 9.600 Kg de forraje que representa 4 dólares incluido los gastos de producción y de alimentación combinada, teniendo un margen de ganancia de 3 dólares por cada cuy cada tres meses, en un año se tiene un flujo neto de 540 dólares.

Se asume una tasa de descuento del 10% donde se engloba el financiamiento, riesgos y el valor de inflación promedio en Ecuador de 2.40%, se procede a calcular los indicadores

para evaluación de inversiones VAN y TIR del proyecto en 5 años como se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Cálculo de los indicadores VAN y TIR

**Elaborado por:** el investigador.

<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Flujo de Fondos (\$)</b>	-1632,14	540	540	540	540	540
<b>Saldo actualizado 10% (\$)</b>	-1632,14	491	446	406	369	335
<b>Saldo actualizado acumulado (\$)</b>	-1632,14	-1141,23	-694,95	-289,24	79,59	414,88
<b>Tasa de Descuento</b>	10%					
<b>VAN</b>	\$414,88					
<b>TIR</b>	20%					
<b>Periodo de recuperación (Años)</b>	3,8					

Para el cálculo del valor actual neto (VAN) se utilizó como inversión inicial el presupuesto total del proyecto que es de 1632,14 dólares, con una tasa de descuento del 10% para un plazo de 5 años que es la vida útil del plástico transparente blanco. En todos los años existe un flujo neto de 540 dólares.

El saldo actualizado 10% muestra la depreciación del proyecto anual en un lapso de 5 años y el saldo actualizado acumulado muestra el periodo de tiempo en el cual el proyecto empieza a ser rentable.

Al obtener el resultado del valor actual neto positivo de 414.88 dólares se considera que el proyecto es rentable, es decir que la inversión es aconsejable. Teniendo una tasa interna de retorno del 20% mayor a la tasa de descuento del 10% se determina que el proyecto es viable.

La inversión se recupera en 3 años y 9 meses con un panorama optimista considerando la comercialización de los 45 cuyes con el margen de ganancia de 3 dólares, a partir de este periodo se comienza a obtener utilidades.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Para el sector de San Bartolomé de Pinillo que se encuentra a una altitud de 2698.06 metros sobre el nivel del mar los límites óptimos encontrados mediante experimentación para el crecimiento y desarrollo del cultivo forrajero de la avena para una producción de 1.2 kg de forraje verde por cada 350 g de semilla son: temperatura ambiente entre 10°C y 28°C, humedad del ambiente entre 30% y 90% HR, PH de la solución entre 5.2 y 7 niveles y el total de sólidos disueltos en la solución debe estar entre 750 ppm y 1500 ppm.
- La evidencia presentada nos lleva a concluir que se logró disminuir las tareas manuales de riego y mezcla de soluciones nutritivas que demanda la germinación, evolución y crecimiento del cultivo de forraje verde hidropónico mediante la combinación de telecontrol y automatización permitiendo al hidrocultor tener mayor productividad en sus tareas diarias, ya que el tiempo de mantenimiento y cuidado del cultivo se reduce.
- De este modo se plantea la innovación de modernas prácticas de agricultura hidropónica mediante la combinación de TICs, automatización, investigación, conocimiento tecnológico y práctico junto a metodologías rústicas de agricultura desarrollando soluciones IoT a prácticas agrícolas cotidianas.
- Como aporte final los componentes del sistema son fácilmente adaptables a distintas variedades de cultivos de forraje verde hidropónico independientemente del tamaño que presente, pudiendo obtener una producción variada a mayor escala sin incurrir en gastos y trabajo extras en automatización, atendiendo a las necesidades del agricultor.

#### 4.2 Recomendaciones

- Seleccionar adecuadamente los sensores y actuadores que mejor se adapten a las condiciones de evolución del cultivo teniendo en cuenta como mínimo: rango de

medición, precisión y exactitud para generar mediciones de calidad aportando así un óptimo control en el cultivo.

- Usar una plataforma que brinde parámetros como: gestión de dispositivos, conectividad, integración de protocolos, soporte, escalabilidad e interfaz gráfica amigable para con el usuario, además que brinde múltiples integraciones de diferentes dispositivos sin importar el fabricante ni el modelo.
- Emplear mini bombas peristálticas para dosificación milimétrica exacta de líquidos y no causar afectaciones al cultivo forrajero por exceso de soluciones, reguladores u otros solventes utilizados en hidroponía.
- Lavar el tanque y las bandejas que contiene la solución con hipoclorito de sodio (cloro) cada 15 días para evitar la proliferación y eliminar la presencia de hongos, además el tanque debe ser ubicado bajo sombra preferiblemente que sea fabricado de un material oscuro para impedir la pérdida de nutrientes por evaporización y al apareamiento de Algas.
- Usar filtros en el sistema hidráulico debido a que los nebulizadores tipo coolnet se taponan frecuentemente con impurezas, limitando el funcionamiento del riego hasta ser limpiados, pudiendo así tener repercusiones y afectaciones en los demás elementos del sistema.
- Realizar pruebas mediante experimentación partiendo de realización de 8 riegos de duración de 1 minuto cada riego, debido a que se observó la falta de desarrollo en la semilla y la aparición de puntos blancos por exceso de humedad, reduciendo el número de riegos hasta ajustar a los requerimientos ideales para conservar el estado del cultivo en esta zona.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. D. Murcia Vélez y L. F. Chacón Segura, «Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde», 2018.
- [2] V. Urdiales-Ponce y J. %J R. T. en M. Espín-Ortega, «Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura arduino (PARTE 1)», vol. 31, n.º 2, pp. 147-158, 2018.
- [3] J. G. Huilca Salcedo y P. F. Sichi qui Velecela, «Diseño e implementación de un sistema embebido de monitoreo de las variables climáticas para plantaciones de maíz», 2019.
- [4] M. Briceño Jejen y W. F. Cubides Porras, «Diseño de una solución IOT para monitoreo de las condiciones óptimas de un cultivo hidropónico de flores en invernadero», 2020.
- [5] C. F. B. Muñoz, M. O. M. Leal, y N. D. H. Uribe, «CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO PARA IMPLEMENTACIÓN EN COMUNIDAD WAYÚU DEL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA», p. 200, 2021.
- [6] «La producción de forraje hidropónico: una solución novedosa en épocas de sequía», Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
<http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1375101/> (accedido 7 de junio de 2022).
- [7] «Desnutrición Crónica Infantil».  
<https://www.unicef.org/ecuador/desnutrici%C3%B3n-cr%C3%B3nica-infantil> (accedido 7 de junio de 2022).
- [8] «mejorando\_nutricion\_huertos\_granjas.pdf». Accedido: 7 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/mejorando\\_nutricion\\_huertos\\_granjas.pdf](https://redmujeres.org/wp-content/uploads/2019/01/mejorando_nutricion_huertos_granjas.pdf)
- [9] C. R. %J H. internacional Arano, «Hidroponía: algunas páginas de su historia», n.º 58, pp. 24-33, 2007.
- [10] HYDRO ENVIRONMENT S. A, «sistema de NFT (Nutrient Film Technique)», 2019.
- [11] Macrovector - Freepik. com, «Greenhouse vertical farming hydroponics aeroponics cartoon composition with plants in tube bath vector illustration».
- [12] J. L. Castañares, «El ABC de la Hidroponía», EEA AMBA, 2020.
- [13] FAO, «Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico», feb. 2002.

- [14]P. A. Reyes, C. A. Aguilera, L. S. Rubio, D. M. López, y J. C. Jiménez, «PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO PARA LA PEQUEÑA AGRICULTURA», p. 26.
- [15]M. Técnico, «Forraje Verde Hidropónico», Organ. Las N. U. Para Agric. Aliment. Oficina Reg. FAO Para América Lat. El Caribe Santiago Caribe, 2002.
- [16]D. Mora L., J. Carrasco J., P. Abarca R., C. Aguirre A., J. Olguín R., y L. Silva R., «Construcción de invernadero tipo capilla», En: Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias, 2016, Accedido: 7 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://biblioTeca.inia.cl/handle/20.500.14001/6481>
- [17]S. CERMEÑO, ZOILO, Construcción de invernaderos. Mundi-Prensa Libros, 2005.
- [18]«Forraje Verde Hidropónico (F.V.H) Para La Alimentación De Animales (Guía completa)»,  [infopastosyforrajes.com](https://infopastosyforrajes.com) , 3 de junio de 2019.  
<https://infopastosyforrajes.com/suplementacion/forraje-verde-HIDROPÓNICO/> (accedido 7 de junio de 2022).
- [19]A. Chavarria-Torrez y S. del Socorro Castillo-Castro, «El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja», Rev. Iberoam. Bioeconomía Cambio Climático, vol. 4, n.º 8, pp. 1032-1039, 2018.
- [20]P. JUAREZ LOPEZ et al., «Producción de forraje verde hidropónico», CONACYT, 2013.
- [21]«REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES DEL CULTIVO DE AVENA», ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/requerimientos-nutrimientales-del-cultivo-de-avena> (accedido 10 de julio de 2022).
- [22]I. Ginés y I. de L. Mariscal Sancho, «Incidencia de los fertilizantes sobre el PH del suelo», 2002.
- [23]N. W. Osorio, «PH del suelo y disponibilidad de nutrientes», Manejo Integral Suelo Nutr. Veg., vol. 1, n.º 4, pp. 1-4, 2012.
- [24]J. L. Castañares, «El ABC de la Hidroponía», EEA AMBA, 2020.
- [25]N. W. Romero Samaniego y V. S. Yáñez Morillo, «Construcción y automatización de un prototipo de invernadero hidropónico», Quito, 2016., 2016.
- [26]«Humedad», meteoblue. <https://content.meteoblue.com/en/specifications/weather-variables/humidity/> (accedido 12 de junio de 2022).

- [27]Shopkit, «¿Cómo controlar la humedad? | Hidroponía España - Tienda Oficial», Hidroponía España. <https://www.groho.es/post/como-controlar-la-humedad> (accedido 10 de julio de 2022).
- [28]J. M. Salvador-Castillo, M. A. Bolaños-González, A. K. Cedillo-Aviles, Y. Vázquez-Chena, S. A. Varela-de Gante, y J. L. Meza-Discua, «Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de Avena sativa y Hordeum vulgare», *Terra Latinoam.*, vol. 40, 2022.
- [29]A. Espinosa, D. Ponte, S. Gibeaux, y C. González, «Estudio de Sistemas IoT Aplicados a la Agricultura Inteligente», *Rev. Plus Econ.*, vol. 9, n.º 1, pp. 33-42, 2021.
- [30]L. C. Trenado, «Ressenya del llibre Internet de las cosas, de Moisés Barrio Andrés (2018), Editorial Reus», *IDP Rev. Internet Dret Política*, n.º 28, 2019.
- [31]M. L. i Seuba, «Internet de las cosas», *Transform. Digit. Soc. Madr. RA-MA*, p. 46, 2019.
- [32]«Internet De Las Cosas por Luis Joyanes - 9789587786927», *ALPHA Editorial*. <https://www.alPHA-editorial.com/Papel/9789587786927/Internet+De+Las+Cosas> (accedido 7 de junio de 2022).
- [33]N. M. Banu y C. Sujatha, «IoT architecture a comparative study», *Int J Pur Appl Math*, vol. 117, n.º 8, pp. 45-49, 2017.
- [34]P. Sethi y S. R. Sarangi, «Internet of things: architectures, protocols, and applications», *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017, 2017.
- [35]A. A. R. Brito Valle, «Computación en la niebla: arquitectura, aplicaciones y seguridad.», 2019.
- [36]S. P. G. Ati, «IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA BAJO EL ESTÁNDAR 802.11 n/ac Y UN ENLACE DE DATOS PARA COMUNICAR LAS OFICINAS PRINCIPALES CON EL LOCAL DE BODEGA PARA LA EMPRESA ALITECNO S.A.», p. 141.
- [37]L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez, y J. M. Carreño, *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria, 2014.
- [38]«IoT: El Internet de las cosas en las empresas Cordobesas - ESP8266». <https://sites.google.com/ieslafuentsanta.es/IoT/proceso/estudio-plataformas-IoT/hardware/esp8266> (accedido 7 de junio de 2022).
- [39]A. S. V. Fernández-Pacheco, *Robótica Educativa. Prácticas y Actividades*. Grupo Editorial RA-MA.

- [40]«Ebook DESARROLLO DE APLICACIONES IOT EN LA NUBE PARA ARDUINO Y ESP8266 EBOOK de TOMAS DOMINGUEZ MINGUEZ | Casa del Libro», casadellibro, 25 de mayo de 2020. <https://www.casadellibro.com/ebook-desarrollo-de-aplicaciones-IoT-en-la-nube-para-arduino-y-esp8266-ebook/9788426729750/11570738> (accedido 7 de junio de 2022).
- [41]A. S. M. Sala, «Diseño y desarrollo de una aplicación web de monitorización de dispositivos Bluetooth Low Energy», p. 25.
- [42]«Forraje Verde Hidropónico (F.V.H) Para La Alimentación De Animales (Guia completa)»,  infopastosyforrajes.com , 3 de junio de 2019. <https://infopastosyforrajes.com/suplementacion/forraje-verde-HIDROPÓNICO/> (accedido 8 de junio de 2022).
- [43]«Crianza de cuyes ayuda a reconversión de actividades productivas – Ministerio de Agricultura y Ganadería». <https://www.agricultura.gob.ec/crianza-de-cuyes-ayuda-a-reconversion-de-actividades-productivas/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [44]«Tesis-309 Ingeniería Agronómica - Vaca Altamirano Cristhian Ivan.pdf». Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34779/1/Tesis-309%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20%20Vaca%20Altamirano%20Cristhian%20Ivan.pdf>
- [45]«Tesis 166 Medicina Veterinaria y Zootecnia -CD 660.pdf». Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31394/1/Tesis%20166%20Medicina%20Veterinaria%20y%20Zootecnia%20-CD%20660.pdf>
- [46]html.alldatasheet.es, «LM35 Datasheet(6/10 Pages) TGS | Precision Centigrade Temperature Sensors». <https://html.alldatasheet.es/html-pdf/1188696/TGS/LM35/389/6/LM35.html> (accedido 7 de junio de 2022).
- [47]MAXIM [Maxim Integrated Products, «DS18B20 Datasheet (PDF) - Maxim Integrated Products», p. 20, 2019.
- [48]L. Leija, Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores, 1st edition. Barcelona: Editorial Reverté, 2010.
- [49]«SHT1x\_SHT7x\_Datasheet.pdf». Accedido: 7 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.mi.fu-berlin.de/inf/groups/ag-tech/projects/ScatterWeb/moduleComponents/SHT1x\\_SHT7x\\_Datasheet.pdf](https://www.mi.fu-berlin.de/inf/groups/ag-tech/projects/ScatterWeb/moduleComponents/SHT1x_SHT7x_Datasheet.pdf)

- [50]«DFRobot PH sensor - Gravity Analog PH Sensor | DFRobot Electronics».  
<https://www.dfrobot.com/product-1782.html> (accedido 7 de junio de 2022).
- [51]«PH-sensor-PH-4502c.pdf». Accedido: 7 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.awsli.com.br/969/969921/arquivos/PH-sensor-PH-4502c.pdf>
- [52]  
«Gravity\_\_Analog\_Electrical\_Conductivity\_Sensor\_\_Meter\_V2\_\_K=1\_\_SKU\_DFR0300-DFRobot».  
[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_Electrical\\_Conductivity\\_Sensor\\_\\_Meter\\_V2\\_\\_K=1\\_\\_SKU\\_DFR0300](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300) (accedido 7 de junio de 2022).
- [53]«Ocean: TDS (Total Dissolved Solids) Meter Sensor for Raspberry Pi and Arduino.»  
[https://www.cqrobot.com/index.PHP?route=product/product&product\\_id=1122](https://www.cqrobot.com/index.PHP?route=product/product&product_id=1122) (accedido 7 de junio de 2022).
- [54]«Reloj y calendario en Arduino con los RTC DS1307 y DS3231», Luis Llamas.  
<https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [55]«Arduino Uno Rev3», Arduino Official Store.  
<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (accedido 7 de junio de 2022).
- [56]«Arduino Mega 2560 Rev3», Arduino Official Store.  
<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (accedido 7 de junio de 2022).
- [57]R. P. Ltd, «Buy a Raspberry Pi 3 Model B», Raspberry Pi.  
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/> (accedido 7 de junio de 2022).
- [58]«Jetson Nano», NVIDIA Developer, 6 de marzo de 2019.  
<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano> (accedido 7 de junio de 2022).
- [59]cris, «Node-RED vs. Home Assistant: Why not use both?», <https://home-assistant-guide.com/>. <https://home-assistant-guide.com/2020/09/27/node-red-vs-home-assistant-why-not-use-both/> (accedido 7 de junio de 2022).
- [60]«▷ Asistente de hogar vs. OpenHAB», La tecnología a tu alcance, 15 de agosto de 2020. <https://latecnologiaatualcance.com/asistente-de-hogar-vs-openhab/> (accedido 7 de junio de 2022).

- [61]«openHAB VS Node-RED - compare differences & reviews?»  
<https://www.saashub.com/compare-openhab-vs-node-red> (accedido 7 de junio de 2022).
- [62]«La Hidroponía: Cultivos sin Suelo | Intagri S.C.»  
<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo> (accedido 12 de julio de 2022).
- [63]«NEBULIZADOR COOLNET DE NETAFIM», riegoyaccesorios.es.  
<https://riegoyaccesorios.es/es/microaspersion/601-nebulizador-coolnet.html>  
(accedido 9 de junio de 2022).
- [64]«PK\_ES\_60Hz.pdf». Accedido: 11 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK\\_ES\\_60Hz.pdf](https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK_ES_60Hz.pdf)
- [65]«cg00789.pdf». Accedido: 22 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://biblioTeca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00789.pdf>
- [66]«[PDF] Factor de Servicio en Motores Electricos - Free Download PDF».  
[https://nanopdf.com/download/factor-de-servicio-en-motores-electricos\\_pdf](https://nanopdf.com/download/factor-de-servicio-en-motores-electricos_pdf)  
(accedido 22 de junio de 2022).
- [67]«CPE-19.pdf». Accedido: 23 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE-19.pdf>
- [68]«Valvula Solenoide 1/2 pulg Electrovalvula 12v Agua Aire», UNIT Electronics.  
<https://uelectronics.com/producto/valvula-solenoide-1-2-pulg-electrovalvula-12v-agua-aire/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [69]H. Assistant, «Raspberry Pi», Home Assistant. <https://www.home-assistant.io/installation/raspberrypi/> (accedido 29 de junio de 2022).
- [70]«El PH de la Solucion Nutritiva.pdf». Accedido: 10 de julio de 2022. [En línea].  
Disponible en:  
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20PH%20de%20la%20Solucion%20Nutritiva.pdf>

# ANEXOS

## Anexo A

### Programación del Módulo Wifi

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SUART(4, 0); //Srx=2 y STX=3

String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 14;
;
float data[dataLength];
char val1, val2, val3=5;
int temperatura;
int humedad;
const char* ssid = "Acosta";
const char* password = "fernando1983";
const char* mqtt_server = "192.168.100.50";

//variables retorno de datos//

int retorno=0;
int retorno1=0;
int retorno2=0;
int retorno3=0;
int retorno4=0;
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
unsigned long lastMsg = 0;
unsigned long lastMsg1 = 0;
#define MSG_BUFFER_SIZE (50)
char msg[MSG_BUFFER_SIZE];
#define MSG1_BUFFER_SIZE (50)
char msg1[MSG1_BUFFER_SIZE];
#define MSG2_BUFFER_SIZE (50)
char msg2[MSG2_BUFFER_SIZE];
#define MSG3_BUFFER_SIZE (50)
char msg3[MSG3_BUFFER_SIZE];
#define MSG4_BUFFER_SIZE (50)
char msg4[MSG4_BUFFER_SIZE];
#define MSG5_BUFFER_SIZE (50)
char msg5[MSG5_BUFFER_SIZE];
#define MSG6_BUFFER_SIZE (50)
char msg6[MSG6_BUFFER_SIZE];
#define MSG7_BUFFER_SIZE (50)
char msg7[MSG7_BUFFER_SIZE];
#define MSG8_BUFFER_SIZE (50)
char msg8[MSG8_BUFFER_SIZE];
#define MSG9_BUFFER_SIZE (50)
char msg9[MSG9_BUFFER_SIZE];
#define MSG10_BUFFER_SIZE (50)
char msg10[MSG10_BUFFER_SIZE];
#define MSG11_BUFFER_SIZE (50)
char msg11[MSG11_BUFFER_SIZE];

int value = 0;

void setup_wifi() {
    delay(10);
    // We start by connecting to a WiFi network
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

    WiFi.mode(WIFI_STA);
```

```

WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

randomSeed(micros());

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  String topicstr= topic;

if(topicstr.equals("electrovalvulas/E1")){
  if(payload[0]==48){
    returno=0;
  }
  else if (payload[0]==49){
    returno=1;
  }
}

if(topicstr.equals("electrovalvulas/E2")){
  if(payload[0]==48){
    returno1=0;
  }

  else if (payload[0]==49){
    returno1=1;
  }
}

if(topicstr.equals("electrovalvulas/E3")){
  if(payload[0]==48){
    returno2=0;
  }
  else if (payload[0]==49){
    returno2=1;
  }
}

if(topicstr.equals("electrovalvulas/E4")){
  if(payload[0]==48){
    returno3=0;
  }
  else if (payload[0]==49){
    returno3=1;
  }
}

if(topicstr.equals("electrovalvulas/E5")){
  if(payload[0]==48){
    returno4=0;
  }
  else if (payload[0]==49){
    returno4=1;
  }
}

}

void reconnect() {
  // Loop until we're reconnected
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    // Create a random client ID
    String clientId = "ESP8266Client-";
    clientId += String(random(0xffff), HEX);
    // Attempt to connect
    if (client.connect("ESP8266Client", "user", "password")) {
      Serial.println("connected");
      client.subscribe("electrovalvulas/E1");
      client.subscribe("electrovalvulas/E2");
      client.subscribe("electrovalvulas/E3");
      client.subscribe("electrovalvulas/E4");
      client.subscribe("electrovalvulas/E5");
    } else {
      Serial.print("failed, rc=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" try again in 5 seconds");
      // Wait 5 seconds before retrying
      delay(5000);
    }
  }
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT); // Initialize the BUILTIN_LED pin as
  Serial.begin(9600);
  setup_wifi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
  if (client.connect("ESP8266Client", "user", "password")) {
    client.subscribe("electrovalvulas/E1");
    client.subscribe("electrovalvulas/E2");
    client.subscribe("electrovalvulas/E3");
    client.subscribe("electrovalvulas/E4");
    client.subscribe("electrovalvulas/E5");
  }
}

void loop() {
  if (!client.connected()) {
    reconnect();
  }
  client.loop();

  //retorno datos//
  unsigned long now1 = millis();
  if (now1 - lastMsg1 > 1800) {
    lastMsg1 = now1;
  }
}

```

```

//retorno datos//
unsigned long now1 = millis();
if (now1 - lastMsg1 > 1800) {
    lastMsg1 = now1;

    Serial.print("1"+String(retorno) + ", " + "2"+String(retorno1) + ", " + "3"+String(retorno2) + ", " + "4"+String(retorno3)+", " + "5"+String(retorno4)+"\n");
    SUART.print("1"+String(retorno)+" , " + "2"+String(retorno1)+", " + "3"+String(retorno2)+", " + "4"+String(retorno3)+", " + "5"+String(retorno4)+"\n");

}

if (SUART.available()) {
    str = SUART.readStringUntil('\n');
    for (int i = 0; i < dataLength; i++)
    {
        int index = str.indexOf(separator);
        data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
        str = str.substring(index + 1);
    }
    // DEBUG_ARRAY(data);
}

int dato1=data[0];
int dato2=data[1];
float dato3=data[2];
float dato4=data[3];
float dato5=data[4];

int dato6=data[5];
int dato7=data[6];
int dato8=data[7];
int dato9=data[8];
int dato10=data[9];
int dato11=data[10];
int dato12=data[11];

unsigned long now = millis();
if (now - lastMsg > 2000) {
    lastMsg = now;

    snprintf (msg, MSG_BUFFER_SIZE, "%d", dato1 );
    snprintf (msg1, MSG1_BUFFER_SIZE, "%d", dato2 );
    snprintf (msg2, MSG2_BUFFER_SIZE, "%.2f", dato3 );
    snprintf (msg3, MSG3_BUFFER_SIZE, "%.2f", dato4 );

    snprintf (msg5, MSG5_BUFFER_SIZE, "%d", dato6 );
    snprintf (msg6, MSG6_BUFFER_SIZE, "%d", dato7 );
    snprintf (msg7, MSG7_BUFFER_SIZE, "%d", dato8 );
    snprintf (msg8, MSG8_BUFFER_SIZE, "%d", dato9 );
    snprintf (msg9, MSG9_BUFFER_SIZE, "%d", dato10 );
    snprintf (msg10, MSG10_BUFFER_SIZE, "%d", dato11 );
    snprintf (msg11, MSG11_BUFFER_SIZE, "%d", dato12 );

    client.publish("temperatura", msg);
    client.publish("humedad", msg1);
    client.publish("ph", msg2);
    client.publish("temperaturads18b20", msg3);
    client.publish("dts", msg4);

    client.publish("b1", msg5);
    client.publish("b2", msg6);
    client.publish("b3", msg7);
    client.publish("b4", msg8);
    client.publish("b5", msg9);
    client.publish("b6", msg10);
    client.publish("b7", msg11);
}

```

## Anexo B

### Programación de la placa de desarrollo Arduino Mega 2560

```

#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"
#include <Wire.h> //librerias reloj
#include <RTClib.h>
RTC_DS3231 rtc; //objeto rtc
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
OneWire ourWire(23);
DallasTemperature sensors(&ourWire);
//variables sincronizacion ///
unsigned long lastMsg = 0;
unsigned long lastMsg1 = 0;

SoftwareSerial SUART(10, 11); //rx=10 y TX=11
String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 6;
float data[dataLength];
int dato1, dato2, dato3;
String dato = "";
//CONTROL MANUAL
const int bev1 = 3;
const int bev2 = 4;
const int bev3 = 5;
const int automatico = 6;
const int bph = 2;
const int btds = 14;
const int bmotoron = 7;
const int bmotorof = 43;
int bbev1 = 0;
int bbev2 = 0;
int bbev3 = 0;
int bbautomatico = 0;

int bbmanual = 0;
int bbph = 0;
int bbtds = 0;
int bbmotoron = 0;
int bbmotorof = 0;
unsigned long trm=60000;
unsigned long trml=3272;
unsigned long tinicio=0;
unsigned long tinicio1=0;
unsigned long tinicio2=0;
unsigned long pbomba=0;
unsigned long bph11=0;
unsigned long btds11=0;
unsigned long mot1=0;
unsigned long rph=0;
unsigned long rtds=0;
int td =0;
int td1 =0;
int td2 =0;
int td3 =0;
int td4=0;
int td5=0;
int td6=0;
int td7=0;

// envio de valores tablero
int b1,b2,b3,b4,b5,b6,b7=0;
//////////encendido de electrovalvulas
const int ev1 = 35;
const int ev2 = 37;
const int ev3 = 33;

const int ev2 = 37;
const int ev3 = 33;

// encendido del motor ///
const int motor12 = 39;
const int sph = 29;
const int stds = 31;
const int ventilador = 41;

#define DHTPIN 25 // DHT11
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float h,t;
//MEDIDOR DE PH
float tempds18b20;
float calibration = 10.34; //change this value to calibrate
const int analogInPin = A1;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;
float ph_act= 0.0;

#define TdsSensorPin A0
GravityTDS gravityTds;
float temperature = 15.2,tdsValue = 0;
void setup() {
  dht.begin();
  SUART.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor ds18b20
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5); //reference voltage on ADC, default 5.0V on Arduino UNO
  gravityTds.setAdcRange(1024); //1024 for 10bit ADC;4096 for 12bit ADC
  gravityTds.begin(); //initialization

  pinMode(ev2, OUTPUT);
  pinMode(ev3, OUTPUT);
  pinMode(motor12, OUTPUT);
  pinMode(ventilador, OUTPUT);
  pinMode(sph, OUTPUT);
  pinMode(stds, OUTPUT);
  pinMode(bev1, INPUT);
  pinMode(bev2, INPUT);
  pinMode(bev3, INPUT);
  pinMode(bautomatico, INPUT);

  pinMode(bph, INPUT);
  pinMode(btds, INPUT);
  pinMode(bmotoron, INPUT);
  pinMode(bmotorof, INPUT_PULLUP);

  digitalWrite(ev1,HIGH);
  digitalWrite(ev2,HIGH);
  digitalWrite(ev3,HIGH);
  digitalWrite(motor12, HIGH);
  digitalWrite(sph, HIGH);
  digitalWrite(stds, HIGH);
  digitalWrite(ventilador,HIGH);
  if (! rtc.begin()) { // si falla la inicializacion del modulo
    Serial.println("Modulo RTC no encontrado!"); // muestra mensaje de error
    // bucle infinito que detiene ejecucion del programa
  }

  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  // This line sets the RTC with an explicit date & time, for example to set
  // January 21, 2014 at 3am you would call:
  // rtc.adjust(DateTime(2014, 1, 21, 3, 0, 0));
}

void loop() {
int dato1=0;
int dato2=0;
int dato3=0;
int dato4=0;
int dato5=0;

temperaturads18b20();
medirph();
tds();
dth11();
ventilador1();

//envio datos
unsigned long now = millis();
if (now - lastMsg > 2000) {
  lastMsg = now;
  Serial.print((int)t,DEC);
  Serial.print(",");
  Serial.print((int)h,DEC);
  Serial.print(",");
  Serial.print((float)ph_act,2);
  Serial.print(",");
  Serial.print(b1);
}

```



```

if (td == 1){
digitalWrite(ev1, LOW);
digitalWrite(ev2, LOW);
digitalWrite(ev3, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
b1=10;
b2=10;
b3=10;
b4=10;

}

if (millis() >= mot1 && td == 1){
digitalWrite(ev1, HIGH);
digitalWrite(ev2, HIGH);
digitalWrite(ev3, HIGH);
digitalWrite(motor12, HIGH);
b1=0;
b2=0;
b3=0;
b4=0;
td=0;
}

if ( dato1== 10){
  inicio= millis()+trml;
  td1=1; }

  if(td1==1) {
digitalWrite(ev1, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
b1=10;
b4=10;
}
if (millis() >= tinicio && td1==1){

}
if (millis() >= tinicio && td1==1){
digitalWrite(ev1, HIGH);
digitalWrite(motor12, HIGH);
b1=0;
td1=0;
b4=0;
}

}

if ( dato2== 20){
  tinicio1= millis()+trml;
  td2=1;}
  if(td2==1){
digitalWrite(ev2, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
b2=10;
b4=10;
}
if (millis() >= tinicio1 && td2==1){
digitalWrite(ev2, HIGH);
digitalWrite(motor12, HIGH);
b2=0;
td2=0;
b4=0;
}
}

if (dato3== 30){
  tinicio2= millis()+trml;
  td3=1;
}
if(td3==1){
digitalWrite(ev3, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
b3=10;
}

void ventilador1(){
digitalWrite(ventilador, HIGH);
if (t >= 24) {
digitalWrite(ventilador, LOW);
}
}
void reloj(){

DateTime fecha = rtc.now();
Serial.print("Hora"+String(fecha.hour())+" "+String(fecha.minute()) + " "+String(fecha.second())+"\n");
int hora2=8; int min2=52;
int hora5=12; int min5=1;
int hora8=15; int min8=1;
int hora11=18; int min11=1;

digitalWrite(motor12, HIGH);
digitalWrite(ev1, HIGH);
digitalWrite(ev2, HIGH);
digitalWrite(ev3, HIGH);
if ( (fecha.hour() == hora2) && (fecha.minute() == min2) ){
digitalWrite(ev1, LOW);
digitalWrite(ev2, LOW);
digitalWrite(ev3, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
}
if ( (fecha.hour() == hora5) && (fecha.minute() == min5) ){
digitalWrite(ev1, LOW);
digitalWrite(ev2, LOW);
digitalWrite(ev3, LOW);
digitalWrite(motor12, LOW);
}
if ( (fecha.hour() == hora8) && (fecha.minute() == min8) ){

}
}
}

avgValue=0;
for(int i=2;i<8;i++)
avgValue+=buf[i];
float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
float pHValue = -1.7361 * pHVol + calibration;
pH_act=pHValue;

}

void temperaturads18b20(){
sensors.requestTemperatures(); //Se envia el comando para leer la temperatura
tempds18b20= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C

}
void tds(){
gravityTds.setTemperature(temperature); // set the temperature and execute temperature compensation
gravityTds.update(); //sample and calculate
tdsValue = gravityTds.getTdsValue()*4.5; // then get the value

}
void dth11(){
h = dht.readHumidity();
t = dht.readTemperature();
}

```

## Anexo C

Programación del archivo configuration.yaml del servidor de Home Assistant

```
default_config:
  # Text to speech
  tts:
    -- platform: google_translate
  automation: !include automations.yaml
  script: !include scripts.yaml
  scene: !include scenes.yaml
  ffmpeg:
  stream:
  camera:
    -- platform: ffmpeg
    -- input: rtsp://_
    -- name: "camara"
  mqtt:
    -- broker: 192.168.100.50
    -- client_id: central
    -- discovery: true
    .....
```

```

# Example configuration.yaml entry
light:
  -- platform: mqtt .....
  -- name: "ventilador" .....
  -- state_topic: "ventilador"
  -- command_topic: "ventilador"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- #ev2
  .....
```

```

  -- platform: mqtt .....
  -- name: "b11" .....
  -- state_topic: "b11"
  -- command_topic: "b11"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- #ev2
  .....
```

```

  -- platform: mqtt
  -- name: "b12"
  -- state_topic: "b12"
  -- command_topic: "b12"
  -- #ev3
  -- platform: mqtt
  -- name: "b13"
  -- state_topic: "b13"
  -- command_topic: "b13"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- platform: mqtt
  #bomba de succion
  -- name: "b14"
  -- state_topic: "b14"
  -- command_topic: "b14"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- platform: mqtt
  # automatico
  -- name: "b15"
  -- state_topic: "b15"
  -- command_topic: "b15"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- platform: mqtt
  #manual
  -- name: "b16"
  -- state_topic: "b16"
  -- command_topic: "b16"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- platform: mqtt
  #ph
  -- name: "b17"
  -- state_topic: "b17"
  -- command_topic: "b17"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
  -- #tds
  -- platform: mqtt
  -- name: "b18"
  -- state_topic: "b18"
  -- command_topic: "b18"
  -- payload_on: "0"
  -- payload_off: "1"
  -- optimistic: false
```

```
-- platform: mqtt -----
--- name: "b19" -----
--- state_topic: "electrovalvulas/E1"
--- command_topic: "electrovalvulas/E1"
--- payload_on: "0"
--- payload_off: "1"
--- optimistic: false
-- platform: mqtt -----
--- name: "b20" -----
--- state_topic: "electrovalvulas/E2"
--- command_topic: "electrovalvulas/E2"
--- payload_on: "0"
--- payload_off: "1"
--- optimistic: false
-- platform: mqtt -----
--- name: "b21" -----
--- state_topic: "electrovalvulas/E3"
--- command_topic: "electrovalvulas/E3"
--- payload_on: "0"
--- payload_off: "1"
--- optimistic: false
-- platform: mqtt -----
--- name: "b22" -----
--- state_topic: "electrovalvulas/E4"
--- command_topic: "electrovalvulas/E4"
--- payload_on: "0"
--- payload_off: "1"
--- optimistic: false
-- platform: mqtt -----
--- name: "b23" -----
--- state_topic: "electrovalvulas/E5"
--- command_topic: "electrovalvulas/E5"
--- payload_on: "0"
--- payload_off: "1"
--- optimistic: false
```

```

sensor:
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "temperatura" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "temperatura" #Tema mqtt en el que el sensor publica
    unit_of_measurement: '°C' ..... #Unidad de medida del dato.
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "humedad" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "humedad" #Tema mqtt en el que el sensor publica
    unit_of_measurement: '%' ..... #Unidad de medida del dato.
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "ph" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "ph" #Tema mqtt en el que el sensor publica
    unit_of_measurement: 'ph' ..... #Unidad de medida del dato.
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "Temperatura DS18B20" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "temperaturads18b20" #Tema mqtt en el que el sensor publica
    unit_of_measurement: 'C' ..... #Unidad de medida del dato.
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "DTS" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "dts" #Tema mqtt en el que el sensor publica
    unit_of_measurement: 'ppm' ..... #Unidad de medida del dato.

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b1" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b1" #Tema mqtt en el que el sensor publica

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b2" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b2" #Tema mqtt en el que el sensor publica

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b3" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b3" #Tema mqtt en el que el sensor publica

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b4" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b4" #Tema mqtt en el que el sensor publica

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b5" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b5" #Tema mqtt en el que el sensor publica

  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "b6" ..... #Nombre que le das al sensor.
    state_topic: "b6" #Tema mqtt en el que el sensor publica
  - platform: mqtt ..... #Es la plataforma utilizada
    name: "h7" ..... #Nombre que le das al sensor.

##### ..... TELEGRAM ..... #####

telegram_bot:
  - platform: polling
    api_key: 5113295561:AAEJAgubZ5M1ZYZXU8Xu7cHDzPwLhG18fI
    allowed_chat_ids:
      - 1531817810

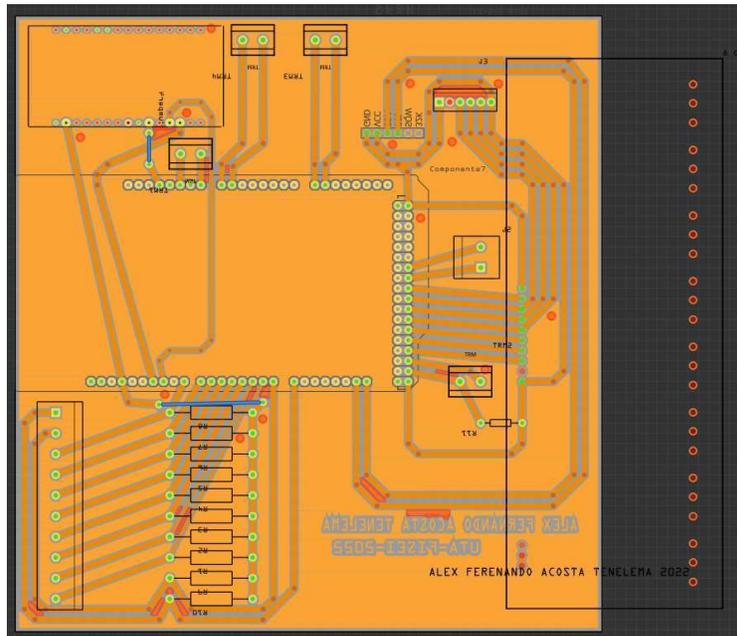
# Example configuration.yaml entry for the notifier
notify:
  - platform: telegram
    name: Bot_home_assistant
    chat_id: 1531817810
  - platform: file
    name: reportes
    filename: /config/historial/lectura_de_reportes.csv

recorder:
  - db_url: mysql://homeassistant:alexftda@core-mariadb/homeassistant?charset=utf8mb4

```

## Anexo D

Diseño de la placa del circuito impreso para implementación del sistema de FVH.



## Anexo E

Elaboración de la placa del circuito impreso para implementación del sistema de FVH



## Anexo F

### Construcción del invernadero



## Anexo G

### Depósito de solución nutritiva con capacidad de 102 litros



## Anexo H

Tablero de control y caja de protección que aloja la placa de componentes electrónicos y el servidor.



## Anexo I

Elementos que conforman el circuito de potencia de control de la bomba de ½ Hp Pedrollo.



## Anexo J

Soluciones y compuestos utilizados para el desarrollo del forraje



## Anexo K

Soluciones utilizadas en la calibración del sensor de PH.



## Anexo L

Peso del cultivo final del FVH



## Anexo M

### Evolución del Cultivo de FVH



## Anexo N

### Ficha técnica de la bomba de agua de ½ hp marca Pedrollo



#### Electrobombas con rodete periférico

 Agua limpia

 Uso doméstico

#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

#### LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (+50 °C para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65,
  - **7 bar** para PK 70, PK 80
  - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

#### EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

#### USOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados, bien aireados y protegidos de la intemperie.

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Soporte: patente n° IT1243605
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 008802466
- **PKm 60** Marca registrada n° 009875394

#### EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

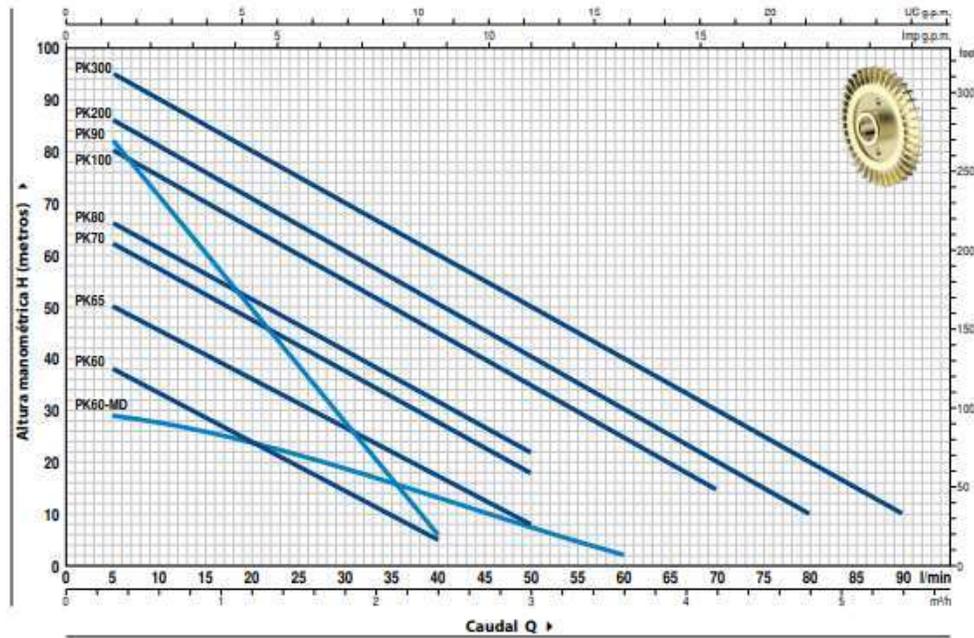
- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		▲	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	2.7	3.6	4.2	4.8	5.4	
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55	60	70	80	90		
PKm 60	PK 60	0.37	0.50	IE2	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 60-MD	PK 60-MD	0.37	0.50		30	29	27.5	26	23.8	21.5	18.5	16	13.2	7.5	5	2					
PKm 65	PK 65	0.55	0.75	IE2	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1	IE3	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	IE3	85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	30	25	15				
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	35	30	20	10			
PKm 300	PK 300	2.2	3	IE3	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	45	40	30	20	10		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

**POS. COMPONENTE      CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

**1 CUERPO BOMBA**      Hierro fundido con bocas roscadas ISO 228/1  
(PK 60, PK 60-MD con tratamiento de cataforesis)

**2 SOPORTE**      Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)

**3 RODETE**      Latón, del tipo aletas periféricas radiales

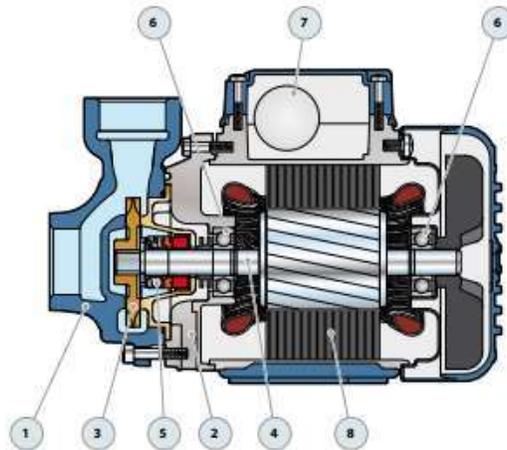
**4 EJE MOTOR**      Acero inoxidable AISI 431  
(EN 10088-3 - 1.4104 para PK 60, PK 60-MD, PK 65)

5 SELLO MECANICO	Electrobomba	Sello	Eje	Materiales		
	Modelo	Modelo	Diámetro	Anillo fijo	Anillo móvil	Elastómero
	PK 60-65-70-80 PK 60-MD	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	PK 90	ST1-12	Ø 12 mm	Carburo de silicio	Grafito	NBR
	PK 100-200-300	FN-14	Ø 14 mm	Grafito	Cerámica	NBR

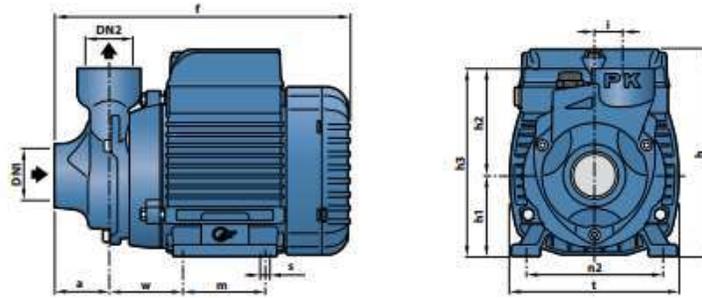
6 RODAMIENTOS	Electrobomba	Modelo
	PK 60-65 PK 60-MD	6201 ZZ / 6201 ZZ
	PK 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ
	PK 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ

**7 CONDENSADOR**      EN 60252-1/A1  

**8 MOTOR ELÉCTRICO**      **PKm:** monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.  
**PK:** trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.  
→ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P<sub>2</sub>=0.55 kW y en clase IE3 desde P<sub>2</sub>=0.60 kW (IEC 60034-30-1)  
– Aislamiento: clase F  
– Protección: IP X4



## DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg		
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	t	n2	w	s	1-	3-	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	38	208	145	56	75	131	20	55	118	94-100	53	7	5.2	5.2	
PKm 60*-MD	PK 60*-MD				237	153	63		138							80	120	100
PKm 65	PK 65			55	285	179*	71	85	156		90	140	112	62		7.0	6.3	
PKm 70	PK 70															10.0	10.0	
PKm 80	PK 80	3/4"	3/4"	46	278	84	155	19	88	168	19	100	152	125	95	9	9.9	10.0
PKm 90	PK 90																10.2	10.1
PKm 100	PK 100																15.0	14.9
PKm 200	PK 200	1"	1"	62	356	212	80	88	168	19	100	152	125	95	9	15.9	15.9	
PKm 300	PK 300															376	—	18.6

(\*) h=199 mm para versión monofásica en 110 V

## CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSIÓN		
	220 V	110 V	127 V
PKm 60*	2.6 A	5.5 A	5.3 A
PKm 60*-MD	3.3 A	6.5 A	6.0 A
PKm 65	5.8 A	11.5 A	10.0 A
PKm 70	5.2 A	10.8 A	9.0 A
PKm 80	6.5 A	13.0 A	12.0 A
PKm 90	6.0 A	12.0 A	10.4 A
PKm 100	9.0 A	18.0 A	15.6 A
PKm 200	12.0 A	24.0 A	20.8 A
PKm 300	12.5 A	-	-

MODELO	TENSIÓN			
	220 V	380 V	220 V	440 V
PK 60*	2.0 A	1.15 A	2.1 A	1.2 A
PK 60*-MD	2.4 A	1.4 A	2.5 A	1.4 A
PK 65	3.2 A	1.85 A	3.5 A	2.0 A
PK 70	3.8 A	2.2 A	3.8 A	2.2 A
PK 80	3.8 A	2.2 A	4.3 A	2.4 A
PK 90	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
PK 100	6.2 A	3.6 A	6.2 A	3.15 A
PK 200	9.2 A	5.3 A	7.0 A	4.2 A
PK 300	10.0 A	5.8 A	8.2 A	4.8 A

## CONDENSADOR

MODELO	CAPACIDAD	
	220 V	110 V y 127 V
PKm 60*	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL
PKm 60*-MD	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL
PKm 65	14 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL
PKm 70	16 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL
PKm 80	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL
PKm 90	20 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL
PKm 100	31.5 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL
PKm 200	45 µF - 450 VL	-
PKm 300	50 µF - 450 VL	-

## PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	Trifásica	n° bombas	n° bombas
PKm 60*	PK 60*	240	330
PKm 60*-MD	PK 60*-MD	240	330
PKm 65	PK 65	189	243
PKm 70	PK 70	102	170
PKm 80	PK 80	102	170
PKm 90	PK 90	102	170
PKm 100	PK 100	72	96
PKm 200	PK 200	72	96
PKm 300	PK 300	72	96