



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

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

**INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**MICROHUERTO INTELIGENTE APLICADO AL CULTIVO  
HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA**

---

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

**ÁREA:** Comunicaciones

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de la información y Comunicación

**AUTOR:** Juan Abel Jinde Jinde

**TUTOR:** Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg

**AMBATO – ECUADOR**

**septiembre – 2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: MICROHUERTO INTELIGENTE APLICADO AL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA, desarrollado bajo la modalidad de Proyecto de Investigación por el señor Juan Abel Jinde Jinde, 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. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg.

TUTOR

## **AUTORÍA**

El presente Proyecto de Investigación titulado: MICROHUERTO INTELIGENTE APLICADO AL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiones responsabilidad del autor.

Ambato, septiembre 2022



---

Juan Abel Jinde Jinde

C.I.:1804804258

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Juan Abel Jinde Jinde, 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 MICROHUERTO INTELIGENTE APLICADO AL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA, 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. Pilar Urrutia Mg.

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Marco Jurado Lozada

**PROFESOR CALIFICADOR**

---

Ing. Paulina Ayala

**PROFESOR CALIFICADOR**

## **DERECHOS DEL 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



---

Juan Abel Jinde Jinde

C.I.:1804804258

AUTOR

## **DEDICATORIA**

*El presente Trabajo de Titulación está dedicado a Dios, quien con su infinita bondad nos permite la vida, para poder perseguir nuestros sueños.*

*A mis padres Gaspar y Sara, por su sabiduría y el apoyo que me ofrecen día a día, por el sacrificio que han realizado con su diario vivir para seguir cumpliendo mis metas. A mis hermanos, Dario y Orlando que me han motivado en el trascurso de mi carrera.*

*Juan Abel*

## AGRADECIMIENTO

*Un agradecimiento fraterno a mis maestros de la Universidad Técnica de Ambato de la Carrera de Electrónica y Comunicaciones, quienes en el transcurso de mis estudios me brindaron sus conocimientos para cumplir con mis objetivos.*

*A mi tutor al Ing. Juan Pablo Pallo por guiarme en el desarrollo de esta investigación, por su comprensión y apoyo con su conocimiento.*

*De manera especial quiero expresar también el agradecimiento, a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mi pilar para seguir adelante. A mi familia, por brindarme sus consejos, por ser los principales promotores de mis sueños y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.*

*Juan Abel*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Contenido

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
AUTORÍA.....	ii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO .....	iii
DERECHOS DEL AUTOR .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xix
ABSTRACT .....	xx
CAPÍTULO 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 .....	5

1.4.1	Hidroponía.....	5
1.4.2	Sistema Hidropónico NFT .....	6
1.4.3	Temperatura del Agua en Cultivo Hidropónico.....	7
1.4.4	PH.....	7
1.4.5	Importancia del pH en hidroponía.....	7
1.4.6	Conductividad eléctrica (CE).....	8
1.4.7	Calidad de luz en los cultivos.....	8
1.4.8	Soluciones nutritivas en la hidroponía .....	9
1.4.9	Invernaderos.....	10
1.4.10	Sistemas Electrónicos.....	11
1.4.11	Control on-off.....	11
1.4.12	Control PID .....	11
1.4.13	Sensores.....	13
1.4.14	Transductor .....	13
1.4.15	WIFI.....	14
1.4.16	Sistemas Open-Source .....	14
1.4.17	Placa de desarrollo de microcontroladores .....	15
1.4.18	Base de datos.....	15
1.4.19	Internet de las cosas .....	16
1.4.20	Ubicación del proyecto .....	16
1.5	Objetivos.....	17

1.5.1	Objetivo General .....	17
1.5.2	Objetivos específicos .....	17
2	CAPÍTULO II.....	18
	METODOLOGÍA .....	18
2.1	Materiales .....	18
2.2	Método.....	18
2.2.1	Modalidad de investigación .....	18
2.3	Población y Muestra.....	19
2.4	Recolección de información .....	19
2.5	Procesamiento y análisis de datos .....	20
2.6	Desarrollo del Proyecto .....	20
3	CAPÍTULO III.....	22
	RESULADOS Y DISCUSIÓN .....	22
3.1	Introducción.....	22
3.2	Desarrollo de la propuesta .....	22
3.2.1	Selección de una variedad de la especie de lechuga .....	22
3.2.2	Selección del sistema con soluciones nutritivas.....	24
3.2.3	Infraestructura del invernadero para el sistema hidropónico .....	24
3.2.4	Requerimientos ambientales óptimos de una lechuga dentro de un sistema hidropónico. ....	26
3.2.5	Generalización del sistema hidropónico .....	27

3.2.6	Selección de la placa microcontroladora.....	28
3.2.7	Sistema de control para la nutrición.....	29
3.2.8	Selección del sistema de comunicación .....	30
3.2.9	Selección del sistema para la visualización local.....	31
3.2.10	Selección de plataforma IoT .....	32
3.2.11	Selección de sensores .....	33
3.2.12	Selección del sensor de luz .....	34
3.2.13	Selección del sensor de humedad y temperatura.....	35
3.2.14	Sensor de temperatura del agua.....	35
3.2.15	Sensor del nivel de líquido.....	36
3.2.16	Selección del sensor para la medición de conductividad eléctrica (EC) 38	
3.2.17	Selección del sensor para la medición de nivel de pH.....	39
3.2.18	Selección de actuadores .....	40
3.2.19	Sistema lumínico.....	40
3.2.20	Mini Bomba de agua .....	41
3.2.21	Bomba de agua sumergible para el tanque principal .....	42
3.2.22	Selección del ventilador .....	43
3.2.23	Electroválvula .....	44
3.2.24	Modulo relé .....	45
3.2.25	Determinación de la capacidad del invernadero .....	46

3.2.26	Riego y con soluciones nutritivas .....	49
3.2.27	Recipiente del mezclador y envase de las soluciones nutritivas concentradas.....	49
3.3	Diseño e implementación del sistema de control .....	50
3.3.1	Configuración electrónica de sensores.....	53
3.4	Sistema de visualización con pantalla HMI .....	57
3.5	Procesamientos de datos.....	59
3.6	Configuración en la plataforma Thinger.io v .....	65
3.7	Diseño de la placa electrónica PCB.....	68
3.8	Montaje y ubicación de componentes electrónicos.....	71
3.8.1	Instalación del sistema de iluminación .....	73
3.9	Pruebas de funcionamiento del sistema.....	73
3.9.1	Verificación de datos en plataforma IoT.....	74
3.9.2	Verificación de los dispositivos electrónicos.....	75
3.9.3	Pruebas de sensores.....	75
3.9.4	Análisis de resultados.....	77
3.9.5	Verificación de actuadores.....	80
3.9.6	Verificación de microcontroladores.....	81
3.9.7	Análisis del espectro lumínico generado por las lámparas. ....	82
3.9.8	Cálculo del flujo fotónico fotosintético.....	84
3.10	Análisis y resultado en el cultivo.....	85

3.11	Costos del proyecto .....	88
3.11.1	Costo de diseño y mano de obra .....	89
3.11.2	Costo de materiales .....	89
3.11.3	Costos de materiales para el invernadero.....	89
3.11.4	Costos del sistema de riego y soporte para riego NFT.....	90
3.11.5	Costos de dispositivos e implementos electrónicos .....	91
3.11.6	Costo total del proyecto .....	93
4	CAPÍTULO IV .....	94
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
4.1	Conclusiones.....	94
4.2	Recomendaciones .....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema NFT o solución recirculante.....	6
Figura 2: Sistemas Electrónicos.....	11
Figura 3: Esquema de bloques de un proceso con realimentación.....	12
Figura 4: Control PID, calcula su acción de control .....	13
Figura 5: Arduino Due .....	15
Figura 6: Ubicación geográfica del proyecto .....	17
Figura 7: Generalización del sistema a implementar .....	27
Figura 8: Representación de un sensor EC [51].....	39
Figura 9: Dimensiones del invernadero hidropónico.....	47
Figura 10: Diseño exterior del invernadero hidropónico .....	48
Figura 11: Recipiente mezclador con capacidad de 40 litros.....	50
Figura 12: Diseño general del sistema .....	51
Figura 13: Representación esquemática general .....	51
Figura 14: Diagrama para la adquisición, acondicionamiento.....	52
Figura 15: Acondicionamiento de las variables físicas.....	53
Figura 16: Arduino Due y modulo PH-4502C.....	54
Figura 17: HI 7031de 500 ml de la marca Hanna Instruments .....	55
Figura 18: Conexión del sensor EC entre el Arduino Due.....	55
Figura 19: Sensores ultrasónicos para la detección del volumen del líquido .....	56
Figura 20: Diagrama de conexión del sensor DHT22.....	57

Figura 21: Creación de un nuevo proyecto de interfaz. ....	57
Figura 22: Modo de configuración del dispositivo de la pantalla touch. ....	58
Figura 23: Creación de la pantalla principal HMI .....	58
Figura 24: Diagrama de conexión Arduino Due y HMI .....	59
Figura 25: Flujograma sensor dht22 .....	60
Figura 26: Flujograma sonda lm35 .....	61
Figura 27: Flujograma sensor de luz.....	62
Figura 28: Flujograma del proceso de recirculación y llenado del tanque principal .	64
Figura 29: Creación de un dispositivo en Thinger.io.....	65
Figura 30: Creación de una credencial en Thinger.io .....	66
Figura 31: Visualización Humedad y Temperatura .....	66
Figura 32: Diseño de aplicación para Android en App Inventor .....	67
Figura 33: Generación de Tokens desde Thinger .....	67
Figura 34: Generación de código de acceso Acces Token para App.....	68
Figura 35: Desarrollo de App para acceso remoto en Android.....	68
Figura 36: PCB conexiones diseño en Proteus 8.10 .....	69
Figura 37: PCB control hidropónico.....	70
Figura 38: Placa electrónica PCB del control hidropónico.....	71
Figura 39: Interfaz principal de la pantalla HMI .....	71
Figura 40: Protección para HMI, módulo de comunicación, microcontrolador y placa electrónica .....	72

Figura 41: Montaje de dispositivos electrónicos dentro de una caja de protección...	72
Figura 42: Montaje de lámparas led's rojo y azul .....	73
Figura 43: Visualización en plataforma IoT Thinger Dashboard .....	74
Figura 44: Medidor digital y visualización en plataforma.....	77
Figura 45: Espectro de las lámparas leds rojo y azul en nm .....	83
Figura 46: Gráfica del espectro las luces leds del sistema. ....	83
Figura 47: Comparativa entre luz Led (Red & Gren) y luz natural .....	84
Figura 48: Planta de lechuga hidropónica.....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación grado de acidez. ....	8
Tabla 2: Macronutrientes y micronutrientes .....	10
Tabla 3: Comparativa entre algunas variedades de la lechuga dentro de sistemas hidropónicos.....	23
Tabla 4: Comparación entre diferentes sistemas con soluciones nutritivas.....	24
Tabla 5: Comparación entre algunos tipos de invernaderos .....	25
Tabla 6: Requerimientos ambientales y fisiológicos .....	26
Tabla 7: Comparativa entre diferentes Microcontroladores.....	28
Tabla 8: Características principales de algunos sistemas de control.....	29
Tabla 9: Comparativa entre dispositivos para comunicación. ....	31
Tabla 10: Comparativa para la selección de la interfaz de visualización .....	32
Tabla 11: Comparativa entre plataformas IoT .....	33
Tabla 12: Comparativa entre algunos tipos de sensores de luz .....	34
Tabla 13: Comparativa entre los sensores de humedad y temperatura DHT22, .....	35
Tabla 14: Comparativa entres sensores de temperatura sumergibles .....	36
Tabla 15:Comparativa entres sensores de nivel.....	37
Tabla 16: Comparativa de los sensores de conductividad eléctrica.....	38
Tabla 17: comparativa para el sensor de Ph.....	39
Tabla 18: Sistemas lumínicos para el desarrollo del cultivo.....	40
Tabla 19: Características principales de bombas el sistema de nutrición .....	42

Tabla 20: Comparativa entre algunos tipos de bombas sumergibles .....	43
Tabla 21: Comparativa entre algunos tipos de bombas sumergibles .....	44
Tabla 22: Comparativa entre algunas electroválvulas de ½.....	45
Tabla 23: Tabla comparativa entre módulos reles. ....	46
<b>Tabla 24:</b> Características de construcción del invernadero tipo túnel .....	47
Tabla 25: Instalación del sistema NFT.....	48
Tabla 26: Tiempo de riego del cultivo .....	49
Tabla 27: Información de los sensores desde Thingier io.....	75
Tabla 28: Verificación de los sensores en un sistema hidropónico .....	75
Tabla 29 : Comparativa con instrumentos de medición y datos de plataforma IoT ..	77
Tabla 30: Cálculo de errores del pH .....	78
Tabla 31: Cálculo de error de la conductividad eléctrica.....	79
Tabla 32: Cálculo de errores para la temperatura .....	80
Tabla 33: Funcionamiento de los sensores.....	81
Tabla 34: Revisión de los microcontroladores y de los dispositivos de comunicación .....	82
Tabla 35: Ciclos de siembra de lechuga cressa en el sistema hidropónico .....	87
Tabla 36: Consideración venta de lechuga.....	88
<b>Tabla 37:</b> Costos de la mano de obra .....	89
<b>Tabla 38:</b> Costos de la etapa de la construcción del invernadero .....	90
<b>Tabla 39:</b> Costo de etapa de la construcción del sistema de riego NFT .....	91

Tabla 40: Etapa del diseño e implementación de componentes y dispositivos electrónicos. ....	92
Tabla 41: Costo total del proyecto .....	93

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación tiene como fin el diseño de un sistema de control inteligente para un invernadero hidropónico NFT *Nutrient Film Techiquel* que está enfocado en el cultivo de la lechuga cresspa. El sistema se desarrolló con la finalidad de implementar el uso de nuevas tecnologías para el sector agrícola, acelerando el tiempo de cosecha, utilizando un espacio físico reducido para cultivar a gran escala asegurando la calidad y saneamiento de los productos, altamente recomendados para el consumo humano.

En cuanto en la parte electrónica del prototipo, está compuesto por una placa controladora con un microcontrolador CortexM3 ARM, posee conectividad WiFi estándar para el monitoreo de las variables, conectividad con una plataforma IoT y una aplicación desarrollada para Android Os, además de la visualización local con una pantalla táctil HMI. Los sensores de pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, intensidad lumínica, nivel ayudan con la recolección de datos para el monitoreo y automatización de las soluciones nutritivas con control PID, control on-off para la ventilación, llenado de tanque y encendido del sistema lumínico led. La luz led abarca los colores rojo y azul de 450-680 nm de longitud de onda del espectro electromagnético, la importancia de la iluminación ayuda aumentar la biomasa a través de la absorción de luz en el proceso de la fotosíntesis incrementando el tiempo de luz día DLI.

En virtud de los resultados, el sistema desarrollado para el cultivo hidropónico ayuda con el ahorro de recursos económicos, humanos, hídricos. Por lo tanto, resulta rentable y puede aportar grandes beneficios a los agricultores, al ecosistema y a los consumidores.

**Palabras clave:** Hidroponía NFT, IoT, automatización, HMI, Iluminación Led.

## ABSTRACT

The objective of this research work is to design an intelligent control system for a hydroponic greenhouse NFT (Nutrient Film Techiquel) that is focused on the cultivation of curly lettuce (sativa var. Crispa). The system was developed to implement the use of technologies for the agricultural sector, speed up harvest time, using a small physical space to cultivate on a large scale, ensuring the quality and sanitation of the products, highly recommended for human consumption.

As for the electronic part, it is composed of a controller board with a CortexM3 ARM microcontroller, it has standard WiFi connectivity for monitoring variables, connectivity with an IoT platform and an application developed for Android Os, as well as local visualization with an HMI touch screen. Sensors pH, electrical conductivity, temperature, humidity, light intensity, and level are those that collect the data for the monitoring and automation of nutritional solutions with PID control, on-off control for ventilation, tank filling and system start-up led light. LED light covers the red and blue colors of 450-680 nm wavelength of the electromagnetic spectrum, the importance of lighting helps increase biomass through the absorption of light in the photosynthesis process increasing the time of daylight DLI.

Due to the results, the system developed for hydroponic cultivation helps with the saving of economic, human and water resources. Therefore, it is profitable and can bring great benefits to farmers, the ecosystem, and consumers.

**Keywords:** NFT hydroponics, IoT, automation, HMI, Led lighting.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Tema de investigación

Microhuerto Inteligente Aplicado Al Cultivo Hidropónico De La Lechuga

### 1.2 Antecedentes investigativos

Una vez revisado las diferentes fuentes de información bibliográfica, repositorios de varias Universidades, búsqueda de documentos de carácter técnico y científico. Se ha encontrado proyectos similares para el control y monitoreo en sistemas hidropónicos que utilizan diferente tipo de tecnología, dicha información ayudará como guía para el desarrollo del proyecto.

La startup NIWA, en la ciudad Ottawa de Canada, en el año 2018, ha desarrollado el *“Niwa ONE: El primer sistema para el cultivo hidropónico completamente automatizado”*, este sistema es adecuado para utilizar en zonas urbanas, el cultivo es totalmente automatizado de acuerdo al tipo de planta, el usuario no necesita amplios conocimientos en la agricultura para desarrollar su producto. El sistema se monitorea a través del internet (IoT) mediante dispositivos móviles (Smartphone) y está disponible para sistema operativos iOS y Android. El usuario puede seleccionar que tipo de planta quiere cultivar, para esto se usa sensores de temperatura y luz para el control automático. Su plataforma es privada y desarrollada por de la empresa NIWA que mediante la obtención de datos a través de sensores y dispositivos electrónicos se puede enviar la información al conectarse al internet. El sistema es de alto costo y se limita el cultivo para varias plantas debido al reducido espacio. [1]

En el año 2017 en la Universidad de Sumatera Utara de Indonesia, B. Siregar, S. Efendi, H. Pranoto, R. Ginting, U. Andayani y F. Fahmi desarrollaron el proyecto llamado *“Remote Monitoring System for Hydroponic Planting Media”*. El sistema de monitoreo remoto para medios de plantación hidropónica hace uso de la tecnología Open Source y se basa principalmente en un sistema electrónico llamado

Open Garden Hydroponic. Los elementos que inciden en los cultivos hidropónicos, tales como: pH, conductividad eléctrica, humedad, temperatura son obtenidos por sensores y conjuntamente con las placas electrónicas Open Garden Shield, Open Garden Hydroponic y Arduino Uno que trabaja como microcontrolador principal, además de la comunicación GSM/GPRS, este sistema es capaz de enviar información en tiempo real hacia el servidor alojando en una base de datos Mysql, posteriormente se puede acceder a través de una página web o un teléfono inteligente. Los componentes electrónicos Open Garden Hydroponic son de bajo costo, pero solo están disponibles a la venta en Europa, por lo cual se incrementaría el costo en un factor considerable al importar el producto. [2]

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de la ciudad de Bogotá, Colombia, en el año 2016 los Ingenieros A. Amaya, L. Cruz desarrollaron el proyecto llamado “*Diseño e Implementación de un Control de PH, Conductividad y Monitoreo del Nivel de Agua para el Cuidado Cultivos Hidropónicos de uso Doméstico*”, en este artículo se detallan las etapas de diseño e implementación para el cuidado automatizado. La estructura del hardware está formada por un microcontrolador ATmega328P con el fin de mantener condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos hidropónicos mediante el control automático de las soluciones nutritivas y el nivel de ph, la información se muestra en una pantalla LCD. Este es un sistema de bajo costo en la implementación a fin de obtenerse un producto que sea asequible al usuario final. La finalidad de este proyecto fue obtener la mínima intervención humana en el cultivo. [3]

Rubio Mena Carsten, en la Universidad Politécnica Sede Quito, año del 2017, en su proyecto de titulación “Automatización de un Cultivo Hidropónico NFT para el control de Temperatura, Riego y Mezcla de la Solución Nutritiva, Ubicada en la Zona Urbana de Quito”, emplea prototipos electrónicos de código abierto open-source, el sistema es automatizado en una placa de un Arduino Mega, una pantalla LCD para visualizar la temperatura y se puede seleccionar la cantidad de litros de llenado del tanque, la mezcla de una solución nutritiva con el agua se realizara mediante la lógica Fuzzy o lógica de difusión, está basado en un análisis previo de 700 y 1500 ppm (parte por millón) ideal para los cultivos en hortalizas. Además,

controla la solución nutritiva y el enfriamiento del aire mediante la obtención de datos los sensores de temperatura para evitar el marchitamiento del cultivo. Sin embargo, el sistema carece de la monitorización a distancia, por lo que es necesario vigilar permanentemente el lugar del cultivo, además no incluyen el monitoreo de la temperatura del agua y conductividad eléctrica del sistema hídrico que son factores importantes para que la planta pueda absorber los nutrientes de forma correcta. [4]

En el año 2015, en Shenzhen República popular China, R. Chen, H. Liu, S. Song, G. Sun and R. Chen en su artículo científico titulado “*Effects of Light Quality on Growth and Quality of Lettuces in Hydroponic*”, menciona la importancia de los efectos de la incidencia de la luz en los cultivos hidropónicos de la lechuga, experimentado con varios tipos de colores de luz del espectro visible pertenecientes a la región del espectro electromagnético. El sistema lumínico es un proceso manual por lo que se requiere de un personal para el encendido de las lámparas led para proveer de energía lumínica al cultivo. De los resultados obtenidos, las plantas se desarrollaron mejor con el color rojo (luz led de rojo  $660 \pm 20$  nm) y combinado con un poco de luz azul, las lechugas tardaron 35 días en desarrollarse. [5]

Con la información recopilada de los antecedentes investigativos y como aporte al proyecto de titulación se concluye lo siguiente, los cultivos hidropónicos ahorran recursos hídricos y son sustentables para el medio ambiente. Sin embargo, es necesario mantener un control óptimo respecto a las variables que influyen en el desarrollo de las plantas, entre ellos: la temperatura, humedad, luminosidad, nivel de pH, conductividad eléctrica. Por esta razón, se ha puesto énfasis para el control de las variables primordiales del cultivo a través del control y monitorización del cultivo.

### **1.3 Contextualización del problema**

La agricultura es parte de un proceso de desarrollo evolutivo de la humanidad, que abarca la producción primaria de alimentos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), señala que producir alimentos de calidad y resguardar la seguridad

alimentaria, se ve limitada por la falta de disponibilidad de agua saneada para el riego, así como, la poca exigencia de la calidad de los productos en el mercado y la salubridad para el consumo fresco. A nivel mundial, lagos, ríos y fuentes de aguas subterráneas se van agotando por el cambio climático, los suelos se degradan y se van reduciendo el área para la explotación debido al crecimiento poblacional que se dará en un 25% alrededor de 1.000 millones de personas entre el año 2015 al 2030, con mayor porcentaje de crecimiento en los países en desarrollo. [6] [7]

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en su informe “El agua para la agricultura” menciona el compromiso realizado con los ministros de agricultura de las Américas para impulsar gestiones integradas del agua y enfrentar los desafíos del cambio climático, focalizando los esfuerzos en innovaciones para el mejoramiento de la productividad del agua mediante tecnologías para el uso sostenible que son: agricultura de precisión, hidroponía y manejo de cuencas. La hidroponía se trata del cultivo sobre el agua y sin suelo, ahorrando recursos hídricos y áreas, sin embargo, este tipo de sistemas requiere de la recirculación del líquido para oxigenar las plantas en las raíces, llevar un correcto control del nivel de pH, temperatura y conductividad eléctrica que son fundamentales para el cultivo. [8]

En el Ecuador, la hidroponía es un tema desconocido por muchos agricultores, por lo cual pueden estar en desventaja frente a otros competidores en los mercados locales e internacionales. Sin embargo, en los últimos años se han implementado proyectos para promover este tipo de sistemas principalmente en las provincias de Azuay y El Oro en zonas de escasez de agua para el regadío, coordinados por el Ministerio de Agricultura (MAG) donde, se han cultivado lechugas y fresas obteniendo resultados favorables, además de proyectar cultivos para áreas rurales y urbanas. No obstante, muchos agricultores no implementan este tipo de sistemas por carecer de manejo técnico adecuado, además, de necesitar recursos humanos para llevar a cabo una óptima producción, ya que se necesita tomar muestra de datos físico de manera constante para conocer las condiciones en la que se encuentra el cultivo, con estos se incrementa el costo de producción. [9]

En la provincia de Tungurahua el cultivo hidropónico se ha implementado con fines académicos, mientras que un reducido número de agricultores posee este sistema, los cultivos de fresa y hortalizas son los más viables. Por otra parte, en la agricultura tradicional de la región no se cuenta con un control adecuado para la sanidad y calidad del agua de regadío para la producción agrícola, de acuerdo a un informe presentado por el Ministerio de Salud Pública (MSP) se menciona que se utilizan aguas negras, residuales y contaminadas provenientes de los ríos Cutuchi perteneciente al cantón Ambato, que presentan un alto riesgo para la salud, se ha encontrado principalmente hortalizas y legumbres regadas con estas aguas y, sus productos se comercializan libremente en diferentes ciudades del Ecuador. [10]

Los cultivos hidropónicos dependen de los factores físicos, si estos no son correctos pueden generar enfermedades por: la mala calidad del agua, soluciones nutritivas contaminadas, temperatura inadecuada en el sistema hídrico, exceso de sales e incorrecto nivel de pH en el agua que impide el crecimiento adecuado. Un sistema hidropónico requiere del monitoreo constante de los iones de la solución nutritiva. Además, en las épocas climáticas difíciles, cuando la temperatura baja drásticamente las plantas reducen el proceso de fotosíntesis y se estresan, por lo tanto, no se desarrollan rápidamente, mientras que en la época de la sequía los agricultores no cuentan con los suficientes recursos hídricos para el cultivo, esto conduce a que los productos en los mercados se vuelvan escasos y su valor comercial aumente considerablemente. [11]

## **1.4 Fundamentación Teórica**

### **1.4.1 Hidroponía**

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de las plantas en un medio libre de suelo, cuyo crecimiento es posible gracias al suministro hídrico-nutricional a través del agua, los elementos minerales esenciales son aportados por una solución nutritiva. Son ideales para las investigaciones con plantas en ambientes controlados o semicontrolados. En este sistema la absorción de nutrientes es un factor importante para el desarrollo de cada planta. Cuando se cultiva en el suelo, las plantas emplean una cantidad considerable de energía para encontrar los nutrientes, a través de sus raíces. En el cultivo hidropónico, las raíces están

continuamente en contacto con las cantidades apropiadas de nutrientes, ya que se trasplantan en un medio de crecimiento muy adecuado. El exceso de energía la planta la utiliza para desarrollar las partes superiores, como son las flores y los frutos. [12]

#### 1.4.2 Sistema Hidropónico NFT

El sistema hidropónico NFT consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva constante y no requiere de un sustrato adicional. Los nutrientes disueltos son bombeados desde un depósito principal hasta las bandejas de crecimiento o tubos de PVC con plantas, las raíces entran en contacto con la solución y luego regresa al depósito. Este es uno de los sistemas más comunes, pero es muy sensible a fallos en las bombas y en la energía eléctrica. Se desarrolló en década de los 60 por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra y está destinado principalmente a la producción de hortalizas, especialmente especies de hoja, a gran y mediana escala con alta calidad de producción en invernaderos. En la figura 1 se muestra un ejemplo básico del sistema NFT. [13]

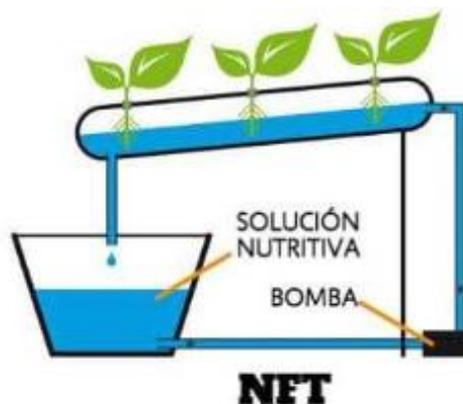


Figura 1: Sistema NFT o solución recirculante [13]

**Solución estática.-** Se considera a las soluciones nutritivas dentro de recipientes profundos o tanques donde las raíces se encuentran sumergidas, este sistema carece de la oxigenación necesaria. Aunque se puede realizar la oxigenación forzada por medio de una bomba de aire.

**Aeropónicos.-** Las raíces se encuentran directamente en el aire y la solución nutritiva es transportada mediante micro-aspersores que se encuentran bajo la

planta en recipientes profundos, de esta manera la planta adquiere el oxígeno suficiente.

### **1.4.3 Temperatura del Agua en Cultivo Hidropónico**

La temperatura del agua en el cultivo hidropónico es de vital importancia para que las soluciones nutritivas se encuentren en las condiciones adecuadas para que las soluciones nutritivas puedan ser absorbidas. La temperatura ideal depende prácticamente de cada planta, pero se sabe que la mayoría de las plantas se desarrollan bien cuando la temperatura de la región alrededor de las raíces se encuentra entre 20 y 25°C. Las plantas como la lechuga se desarrollan mejor cuando la temperatura ideal es de 18°C. Cuando la temperatura del agua desciende en la solución nutritiva se disminuye la absorción y asimilación de los nutrientes en las plantas. Las temperaturas menores a los 15 °C pueden dificultar la absorción de calcio, fósforo y hierro, además, favorece a la pudrición apical en caso de ser frutos, provoca la endodermis de la raíz se suberiza, reduciendo la permeabilidad y absorción de nutrientes. [14]

### **1.4.4 PH**

El pH es la medida de la acidez o alcalinidad de una solución que indica la concentración de iones o cationes de hidrogeno  $[H^+]$ . Su significado indica el potencial de hidrogeno, el químico Sørense definió que es un logaritmo de base 10 de la importancia de los iones de hidrogeno. El pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes, su rango se encuentre entre 0 y 14, cuando este se encuentra en el valor a 7 indica que es neutro, si es mayor a 7 es ácido, mientras si su valor es menor a 7 es básico. [15]

### **1.4.5 Importancia del pH en hidroponía**

La dificultad que tienen las raíces para captar las sustancias nutricionales depende del nivel de pH de la mezcla de agua con fertilizante. El pH indica la acidez de la mezcla, esto se expresa en una escala que va desde 0 hasta 14. Una mezcla de un pH 7 está al medio por lo que es neutra. El rango ideal de pH en el que todos los nutrientes son fáciles de absorber se encuentra entre 5,5 y 7. Sin embargo, para el cultivo de las lechugas el nivel óptimo del pH se encuentra entre 6 y 7.5 con un

nivel aceptable mínimo de 6.5 y máximo de 8, en la tabla 1 se especifica cada uno de ellos. [16] [17]

Tabla 1: Relación grado de acidez.

Relación acides con el agua	
Grado de acidez o alcalinidad	pH
Extremadamente acido	<4.6
Ácido	4.6-5.4
Moderadamente ácido	5.5-6.5
Neutro	6.5-7.3
Moderadamente alcalino	7.4-8.1
Alcalino	8.2-8.8
Extremadamente alcalino	>8.9

#### 1.4.6 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la concentración de sales disueltas en el agua, lo cual permite evaluar la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Esto es necesario debido a que las raíces utilizan las cargas para tomar los elementos, su valor se expresa en microSiemens/cm  $\frac{mS}{cm}$  para conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en  $\frac{g}{l}$  a elementos químicos fundamentalmente como: cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio son elementos esenciales en solución nutritiva que es importante en la hidroponía para el diseño de la solución nutritiva que sea soluble para facilitar la asimilación de los fertilizantes. [18]

#### 1.4.7 Calidad de luz en los cultivos

La calidad de luz juega un rol muy importante en la productividad de cultivos alimenticios y ornamentales, en las plantas se entiende su composición espectral de las diferentes longitudes de onda luz visible de 400 a 700 nm, los fotones son absorbidos por los pigmentos, como la clorofila, fitocromos, encargados de diferentes procesos. La energía de la de color azul y rojo son esenciales para el proceso de fotosíntesis. [19]

### **Flujo fotónico fotosintético o PPF**

El flujo fotofónico fotosintético es la energía para incitar la fotosíntesis está dada en unidades de energía radiante fotosintética activa llamado como RFA, para la densidad de flujo fotosintético PPF por sus siglas en inglés *Photosynthetic Photon Flux Density*, esta comprendidos en la dentro de la RFA, sus unidades son de moles de la cantidad de fotones que existe por metro cuadrado por segundo  $\text{Es}^{-2}\text{m}^{-2}$ . Existe un factor importante para la conversión de PPF a lux debido a que cada fuente de luz es diferente que puede ser solar, led, fluorescente. Por ejemplo, la radiación solar emite luz ultravioleta con lo cual cambia el factor de conversión de lux a PPF o viceversa. El DLI *Daily Light Integral* corresponde a la cantidad de luz diaria que recibe una planta durante una cantidad de tiempo. [20]

$$\text{Es}^{-2}\text{m}^{-2} = 1\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-2}. \text{ Ecuación 1. Cantidad de fotones}$$

En consecuencia, las plantas de lechugas pueden receptor altos niveles de energía lumínica con es el caso de las lechugas que puede tolerar mayores a 20 moles/día. De esta manera se puede proporcionar luz extra en días nublados o extender el tiempo de horas luz día.

#### **1.4.8 Soluciones nutritivas en la hidroponía**

Las soluciones nutritivas corresponden a la mezcla de los elementos nutritivos, son todos los elementos esenciales que se subministra sales disueltas en el agua. Las proporciones relativas de iones se introduce con la formulación necesaria de macronutrientes conocida como solución nutritiva A que requieren en mayor proporción y micronutrientes llamada como solución nutritiva B, que se requiere en menor cantidad, pero muy importantes para el desarrollo del cultivo. [21]

Tabla 2: Macronutrientes y micronutrientes

Solución A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fosfato mono amónico</li> <li>• Nitrato de potasio</li> <li>• Nitrato de calcio</li> </ul>
Solución nutritiva B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido bórico</li> <li>• Sulfato de zinc</li> <li>• Sulfato de manganeso</li> <li>• Sulfato de cobre</li> <li>• Sulfato de magnesio</li> <li>• Molibdato de amonio</li> <li>• Quelato de hierro</li> </ul>

Elabora por el investigador basado en: [21]

#### 1.4.9 Invernaderos

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada construida artificialmente con materiales transparentes para dar protección a las plantas de los exteriores. La instalación permite el control de determinados parámetros productivos, como: temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa, concentración de anhídrido carbónico en el aire, luz, etc., en lo más cercano posible al óptimo para el desarrollo de los cultivos que se establezcan. El volumen interior del recinto permite el desarrollo de los cultivos en todo su ciclo vegetativo. [22] Además, cabe mencionar que los cultivos se benefician durante su ciclo productivo gracias al microclima creado a diferencias de los cultivos al aire libre. Existen algunos tipos de invernaderos, para la producción de hortalizas. [23]

- **Invernadero de cristal.**- Los invernaderos de cristal permiten el paso de la luz de manera directa, además es ideal para lugares con climas extremos de baja temperatura. Sin embargo, debido a su estructura metálica y cubiertas de vidrio son muy costosos.
- **Invernadero capilla.**- Se caracteriza por estar formado con arcos curvos semicirculares y por su estructura totalmente metálica, su uso está pensado para usar en climas templados y fríos.

- **Invernadero Góticos.**-Esta formado por arcos de tipo ojiva, permite albergar mayor cantidad de aire y proporciona una mejor iluminación en el interior.
- **Invernadero Túnel.**- Tiene paredes totalmente curvas desde el punto de fijación hasta la cumbre, está formada por una estructura en forma de arcos.

#### 1.4.10 Sistemas Electrónicos

Son conjuntos de circuitos que trabajan con señales eléctricas y las tratan para ejecutar una determinada función. Constan de una etapa de entrada, con la que se recogen datos del exterior (humedad, luz, movimiento, pulsación en un teclado, temperatura, entre otros.) y de una etapa de proceso o control, donde se interpretan, gestionan y elaboran los resultados que permiten o no activar los dispositivos de salida, que forman la última etapa, en la figura 2 se puede observar el modelo de un conjunto de sistemas electrónicos de forma generalizada. [24]



Figura 2: Sistemas Electrónicos.

#### 1.4.11 Control on-off

El controlador on-off, también conocido como todo o nada, usa un algoritmo simple con el fin de solo revisar la variable de proceso y verificar si se encuentra por en rango del umbral denominado setpoint. En la práctica, la variable manipulada cambia en dos sentidos en on o en off, sin estados intermedios. El tipo de accionamiento hace que provoque muchas oscilaciones a la variable del proceso de control. Como ejemplo común se tiene un termostato que activa al arie frio (on) y si la temperatura es mayor a la de la referencia (off). [25]

#### 1.4.12 Control PID

El control PID Proporcional Integral Derivativo, se basa en la idea simple de la realimentación para la implementación de un proceso, tiene la capacidad de

eliminar los errores en estado estacionario mediante una acción integral y siendo capaz de anticipar un futuro con una acción derivativa. Los controladores PID están presentes en muchas industrias de diferentes maneras, ya sea en un dispositivo o algunos lazos de control. El control PID es lo más similar a un sistema de realimentación que puede ser representado mediante un diagrama de bloques con se indica en la figura 3, se conoce también como realimentación negativa (-1). [26]

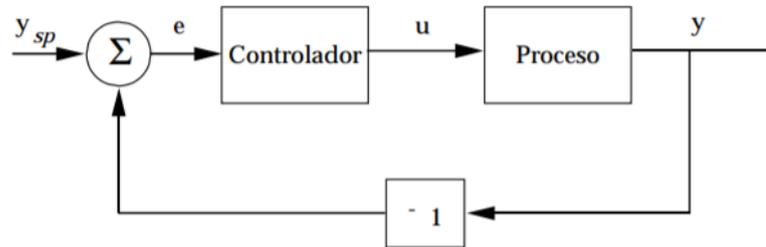


Figura 3: Esquema de bloques de un proceso con realimentación. [26]

En la figura 3 se muestra que el sistema de retroalimentación posee dos características importantes, el controlador y el proceso estableciendo una relación entre las entradas y salidas. Para el proceso se tiene una entrada  $u$ , también conocida como variable de control que influirá sobre el proceso a través de un actuador. La salida del proceso está representada por  $y$  donde se puede medir con un sensor. El valor deseado de la variable se denota por  $y_{sp}$  o llamado también valor de referencia. Mientras que  $e$  representa el error de control donde su valor es la diferencia de  $y_{sp}$  entre  $y$ . [26]

Para para generar una única señal de control  $u(t)$ . El controlador PID es capaz de eliminar los errores, la acción derivativa anticipa el comportamiento del proceso, mientras que la acción proporcional ayuda a que el sistema reaccione de manera instantánea a las oscilaciones en la referencia. Las tres acciones están definidas por el pasado, presente y el futuro representado por una extrapolación,  $T_d$  es una predicción lineal del error en tiempo futuro,  $T_i$  es el tiempo integral. Mientras que la variable  $K$  representa la ganancia del controlador, la figura 4 indica la acción de control del PID de manera visual. [27]

$$u(t) = K \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \text{ Ecuación. 2 controlador PID}$$

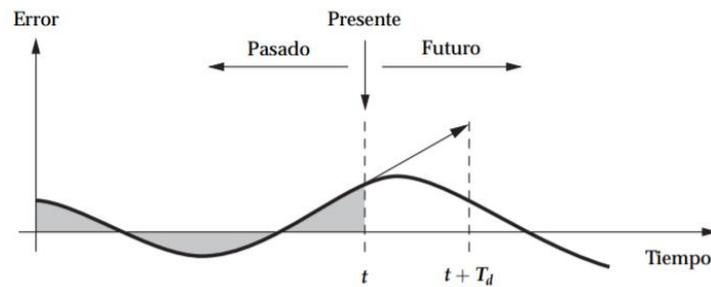


Figura 4: Control PID, calcula su acción de control [26]

#### 1.4.13 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar una magnitud física, llamada variable de instrumentación, y convertirla en una señal eléctrica que puede ser procesada, almacenada o transmitida de acuerdo con la finalidad definida por el usuario.

#### 1.4.14 Transductor

El transductor, es un dispositivo que transforma la magnitud física en una magnitud generalmente eléctrica. El sensor es un transductor que se usa para medir las variables físicas necesarias, algunos de ellos se deben calibrar para ser útil como dispositivo de medida, un proceso para establecer la relación entre la variable de medida y la señal de salida. Los transductores se clasifican básicamente en dos tipos dependiendo de la forma de señal de salida. [28]

- **El transductor analógico.-** El transductor analógico, proporciona una señal continua ya sea de voltaje o corriente eléctrica, relacionando la señal con la variable física.
- **Los transductores digitales.-** Generan señales digitales formando un conjunto de bits de estado en serie o paralelo, formando valores representativos de la variable física medida. Además, gracias a la digitalización se puede acondicionar para la compatibilidad con ordenadores para la automatización y control de procesos.

### 1.4.15 WIFI

WiFi, es una tecnología de comunicación inalámbrica denominado genéricamente a los productos que incorporan la variante tecnológica 802.11, permitiendo bajo la misma crear redes de trabajo sin cables también llamadas WLAN o Redes inalámbricas de área personal, el estándar con la tecnología opera en la frecuencia 2.4 GHz. Con el fin de evitar confusiones en la compatibilidad e interoperabilidad con los dispositivos en la red el estándar tecnológico se fue expandiendo (en los estándares 802.11.1.a, 802.11.1.b, 802.11.1.g, 802.11.1.i, 802.11.1.h, 802.11.1.e), con diferentes frecuencias y velocidades de transmisión. [29]

Características de las WLAN

- **Movilidad.-** información en tiempo real en cualquier lugar, mejora la productividad y posibilidad de servicio
- **Facilidad de instalación.-** debido al no uso de cables facilita el aspecto físico y reduce el tiempo de instalación, permite el acceso instantáneo a la red.
- **Flexibilidad.-** Puede superar cualquier obstáculo donde es difícil la instalación de cables para la conexión, incluso atravesar paredes y se reduce el costo de instalación por cables, además, de poder utilizar en parques, o zonas escarpadas.

### 1.4.16 Sistemas Open-Source

Los sistemas Open-Source, se refiere al desarrollo de software y hardware cuya tecnología es de código abierto, donde cualquier persona puede modificarla o mejorar. [30]

- **Sistemas Open software.-** Los usuarios tienen la libertad para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software.
- **Sistemas Open Hardware.-** Ofrece al usuario libertad de uso, de estudio y modificación, de distribución, y de redistribución de las mejoras. Además, existen licencias que las garantizan y que dan una cobertura legal, como por ejemplo la GPL (Licencia Pública General).

#### 1.4.17 Placa de desarrollo de microcontroladores

Las placas de desarrollo son dispositivos electrónicos que tiene un microcontrolador capaz de reprogramar y ejecutar instrucciones con un fin específico. Cuentan con entradas, salidas analógicas y digitales, donde se puede conectar sensores, actuadores. Existen, diferentes lenguajes para la programación de estos microcontroladores, entre las opciones se puede elegir C, C++, Python, dependiendo de las características del fabricante. [31]

#### Arduino Due

Arduino Due, es una tarjeta de desarrollo construida con un microcontrolador de 32 bits CortexM3 ARM de arquitectura RISC, Ordenador con un Conjunto Reducido de Instrucciones en español. El procesamiento de proyectos con Arduino se incrementa permitiendo una compatibilidad con el lenguaje de programación. Posee 54 pines entrada/salida de los cuales 12 pueden se configurados para PWM, 12 análogas de entrada, 2 análogas de salida, pose 4 UART para la conexión serial, estas son algunas de sus características importantes. Para la compilación de código de programación es necesario tener una versión superior al IDE de Arduino 1.5.0, en la figura 5 se tiene la placa microcontroladora. [32]

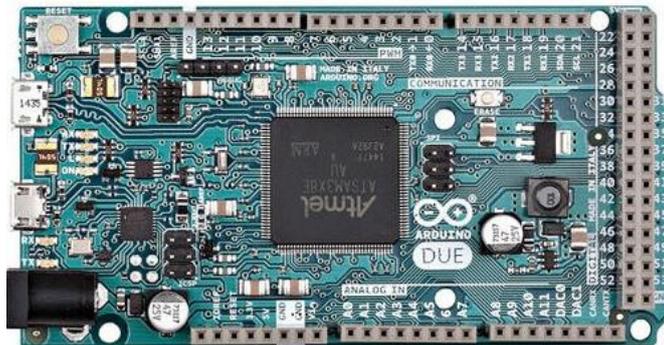


Figura 5: Arduino Due [32]

#### 1.4.18 Base de datos

Se denomina base de datos a un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso, lo cuales están indexados para la consulta. Para esto existen programas gestores de bases de datos;

los sistemas de gestión de bases de son un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan. [33]

#### **1.4.19 Internet de las cosas**

La denominada Internet de las Cosas IoT *Internet of Things*, es la nueva revolución en internet, haciendo que cualquier objeto se pueda conectar a internet e integrarse de manera fluida en los canales de información y servicios. Su impacto en el mundo es significativo por su contribución a la automatización, productividad y seguridad.

Según el grupo de Soluciones Empresariales para Internet (IBSG) de Cisco, el IoT es el momento que hay más “cosas u objetos” que personas conectadas a internet. Puede considerarse una evolución de las comunicaciones máquina-máquina, o M2M que se ha extendido progresivamente desde las redes cerradas originales, como a las redes de telemetría y control, a la red abierta de internet. Una de las claves ha sido la convergencia de los protocolos de comunicación hacia protocolos de internet “IP”. Por esto, IoT enriende de asociar un extenso número de sistemas y estándares. [34]

#### **1.4.20 Ubicación del proyecto**

El proyecto se ubica en la comunidad de Misquilli, Parroquia Santa Rosa, Cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, ubicada a 3175 metros sobre el nivel del mar m s. n. m. Posee un clima variante andino, existen dos estaciones secas y húmedas. La temperatura del sector es constante con un promedio de 12°C a 13°C mensuales. En la figura 6 se puede observar el sitio de se realizó el proyecto correspondiente a las coordenadas geográficas: -1.3221356,-78.6798505 [35]

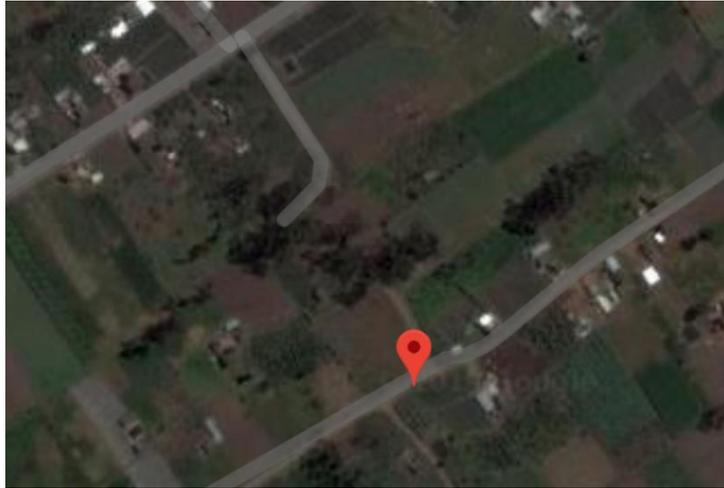


Figura 6: Ubicación geográfica del proyecto

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar un microhuerto inteligente aplicado al cultivo hidropónico de la lechuga.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar los parámetros técnicos que requiere un sistema hidropónico.
- Analizar los sistemas electrónicos para la comunicación y adquisición de datos.
- Diseñar el prototipo de un microhuerto inteligente aplicando al cultivo hidropónico.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales**

Para el desarrollo e implementación del proyecto de titulación, se utilizó la información de diferentes fuentes bibliográficas de carácter investigativo, como son: artículos científicos, libros electrónicos desde bibliotecas virtuales y tesis, todas estas relacionadas con los cultivos hidropónicos, esto se realizó con el fin de obtener los valores correctos para el óptimo desarrollo del cultivo a implementar en el sistema hidropónico. Además, en lo que se refiere a los sistemas electrónicos, se utilizó los siguientes materiales: un microcontrolador principal Arduino Due para la adquisición de los datos de los diferentes tipos de sensores. Los sensores principalmente usados son, el Bh170 para la intensidad lumínica, E-201-C para el nivel de pH, para de humedad y temperatura DHT-22, temperatura del agua lm35 sumergible y nivel de líquido. Con la información obtenida de los sensores, se realiza el control de las variables más importantes.

De igual forma en el sistema de visualización de datos de las variables del cultivo, se utilizó la pantalla HMI Nextion de 3.2” táctil y la visualización remota en una plataforma IoT llamada Thinger IoT, donde los datos se envían a través de un segundo microcontrolador NodeMCU ESP-32 con capacidad de comunicación WiFi. Adicionalmente, en el lugar se cuenta con los actuadores de control de riego, con una bomba de agua sumergible, luz led roja y azul, ventilador con características de tipo industrial.

#### **2.2 Método**

##### **2.2.1 Modalidad de investigación**

###### **Investigación aplicada**

El proyecto corresponde a la modalidad de investigación aplicada, debido que se apoyó con las tecnologías de última generación que permiten realizar el monitoreo

y control para conocer las vulnerabilidades del cultivo de las lechugas en un sistema hidropónico.

### **Investigación Bibliográfica-Documental**

La recopilación de información de libros y artículos de carácter científico es fundamental para obtener un óptimo desarrollo en el proyecto, basándose principalmente en los sistemas hidropónicos y de la lechuga.

### **Investigación de Campo**

Debido a la naturaleza del proyecto, fue necesario realizar la investigación de campo con el fin de recopilar los datos de variables físicas que incide en el cultivo, por lo cual fue necesario mantener un control y monitoreo constante en el lugar en donde se construyó un pequeño invernadero, con la finalidad de obtener un mejor enfoque del sistema.

### **Investigación Experimental**

Por último, se aplicó la investigación experimental debido a que se realizó las respectivas pruebas a fin de obtener un correcto funcionamiento de sistema implementado.

### **2.3 Población y Muestra**

Para el proyecto no se necesita de una población o muestra para su desarrollo, debido a que corresponde a Investigación Aplicada.

### **2.4 Recolección de información**

Para el desarrollo del proyecto, la información fue recopilada de libros, revistas científicas, bibliotecas virtuales y proyectos de titulación de los últimos años, que están relacionados con los sistemas hidropónicos y la integración de los sistemas de control juntamente con el monitoreo. Además, se fundamentó en la información agrícola y de los dispositivos electrónicos necesarios para la adquisición de datos, por lo que se requirió de la información bibliográfica.

## **2.5 Procesamiento y análisis de datos**

Al concluir con la información necesaria recolectada, se procedió con los siguientes pasos.

1. De la información bibliográfica en libros, revistas se procedió a realizar un análisis comparativo para determinar si estos son los adecuados.
2. Se determinaron las variables físicas a ser monitoreadas.
3. Se determinó los dispositivos electrónicos más adecuados para la adquisición de datos, los cuales se realizaron a través de cuadros comparativos.
4. La información obtenida de los sensores se almacena en una base de datos en la web para poder acceder a ellos cuando se requiera monitorear el sistema, con lo cual también fue necesario elegir un método de comunicación.

## **2.6 Desarrollo del Proyecto**

El proyecto se desarrolló en base a las siguientes actividades mostradas:

1. Determinación de los factores que inciden en el desarrollo del cultivo para la producción de las lechugas en un sistema hidropónico.
2. Descripción de las vulnerabilidades que existen dentro de los cultivos hidropónicos.
3. Construcción de la infraestructura para el sistema hidropónico de acuerdo con los parámetros técnicos agrícolas.
4. Selección de los dispositivos electrónicos, que permiten la adquisición de datos a través de los sensores.
5. Análisis de los sistemas electrónicos y tecnologías para la comunicación.
6. Diseño del prototipo de un microhuerto inteligente para el cultivo hidropónico de la lechuga utilizando tecnología de vanguardia.
7. Implementación de un microhuerto inteligente aplicado al cultivo hidropónico de la lechuga.
8. Ejecución y pruebas de funcionamiento.
9. Análisis del sistema hidropónico implementado.

## **10. Elaboración del informe final.**

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Introducción**

El presente proyecto se ha desarrollado con la finalidad de aplicar nuevas tecnologías al sector agrícola con el fin de reducir el tiempo de crecimiento en el cultivo y disminuir los problemas de las enfermedades que se presentan dentro de los sistemas hidropónicos, con la implementación también se provee los nutrientes necesarios para el cultivo de manera automática y sin exceder los límites de pH, conductividad eléctrica EC que son los más importantes para la absorción correcta de nutrientes en las plantas, como es el caso de la lechuga ya que son sensibles a problemas de salinidad. Además, es primordial la recolección de los parámetros fisiológicos vegetales como la temperatura y humedad para adecuar a un nivel ambiental ideal en el cultivo de la lechuga.

Para el diseño e implementación del sistema hidropónico se realizó un estudio y análisis previo, donde, se determinó los requerimientos y las necesidades para el cultivo. Asimismo, se realizó la construcción del invernadero y la adecuación de los dispositivos electrónicos para el sistema de control y monitoreo. El sistema fue desarrollado con software y hardware Open Source en su mayoría, disminuyendo notablemente los costos que representa la producción.

En este apartado se describe los métodos empleados para la corrección a los problemas que representan dentro de los sistemas hidropónicos, el desarrollo de la propuesta, así como, su implementación, las pruebas de funcionamiento y los análisis de resultados obtenidos.

#### **3.2 Desarrollo de la propuesta**

##### **3.2.1 Selección de una variedad de la especie de lechuga**

Debido a que la planta de lechuga posee diferentes variedades fue necesario seleccionar una variedad que tenga un valor comercial atractivo para el productor y que se pueda comercializar por diferentes zonas del Ecuador o ya sea directamente a supermercados. A continuación, se indica algunas variedades de la especie de la lechuga en la tabla 3.

Tabla 3: Comparativa entre algunas variedades de la lechuga dentro de sistemas hidropónicos

<b>Características</b>			
<b>Especie</b>	Criolla	Crespa	Romana
<b>Clima</b>	Semi-templado	Semi-templado	Semi-templado
<b>Técnica de siembra recomendada</b>	Sustrato	Indirecta	Indirecta
<b>Tiempo de Cosecha aproximado</b>	95 días	30-45 días (hidropónico)	30-45 días

Elaborado por el investigador basado en [36]

Una vez analizado las variedades de la lechuga de la tabla 3, se eligió a la lechuga crespa, ya que tienen una gran ventaja competitiva en el mercado. Está formado por una estructura abierta de hojas grades y de manera uniforme, tiene una tonalidad verde suave y delicada, además por su delicioso sabor llega a ser muy apreciado por el consumidor. Se puede cultivar en invernaderos y también en sistemas hidropónicos donde el sustrato para el cultivo es opcional. Su tiempo de producción en sistemas hidropónicos son cortos variando desde 30 a 40 días.

### 3.2.2 Selección del sistema con soluciones nutritivas

Tabla 4: Comparación entre diferentes sistemas con soluciones nutritivas

Características	Solución Estática	Recirculante o NFT	Aeropónicos
Costo	Bajo	Alto (al iniciar)	Alto
Oxigenación de raíces	Deficiente	-Buena	-Muy buena
Método de absorción	Pozos profundos con solución nutritiva	Tubería con nutriente recirculante	Un aspersor con la solución nutritiva alimenta a la raíz suspendida en el aire.
Densidad del cultivo	8 – 14 pl/m <sup>2</sup>	8 a 24 pl/m <sup>2</sup>	8 –14 pl/m <sup>2</sup>
Incremento de área del cultivo por niveles	no	si	no
Caudal del cultivo	-	2 a 6 l/min	2 l/min

Elaborado por el investigador

Para la selección del sistema hidropónico se realizó un análisis de la tabla comparativa 4. Se eligió el sistema NFT debido a que es uno de los mejores sistemas hidropónicos por la facilidad de oxigenación del agua para la raíz de la planta, de esta manera se evita enfermedades a causa de estrés.

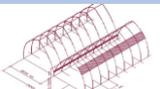
### 3.2.3 Infraestructura del invernadero para el sistema hidropónico

El invernadero para el sistema hidropónico está construido en base a materiales estándares para la durabilidad de este, además se optó de acuerdo con el costo y en dependencia del ambiente que requiere el cultivo de la lechuga para poder protegerse de los virus, hongos y bacterias que se presentan mayormente los ambientes abiertos, así como también la protección frente a climas extremos.

La transmisión de la luz requerida a través de la cubierta debe ser buena por lo cual se eligió de un material de policarbonato de alta calidad y con buena durabilidad para evitar el cambio continuo del material y aumentar el tiempo de vida útil de la

cubierta, así como de su infraestructura en general. A continuación, en la tabla 5 se observa algunos tipos de invernaderos.

Tabla 5: Comparación entre algunos tipos de invernaderos

<b>Características técnicas</b>	<b>De cristal o venlo</b>	<b>Tipo Capilla</b> 	<b>Tipo Túnel</b> 	<b>Góticos</b> 
<b>Costos</b>	Alto	Medio	Económico	Medio
<b>Estructura</b>	Metálica prefabricada	Metálica prefabricada o madera	Metálica prefabricada	Metálica prefabricada o madera
<b>Material de la cubierta</b>	Vidrio	Policarbonato	Policarbonato Malla	Policarbonato y Malla
<b>Nivel de complejidad de construcción</b>	Alto	Medio	Bajo	Alto
<b>Ideal para cultivos</b>	En general	En general	Hortalizas sistemas hidropónicos	Sistemas hidropónicos de uso extendido
<b>Reparto de luminosidad</b>	Muy Bueno	Bueno	Muy Buena	Muy Buena
<b>Climatización</b>	Buena	Buena	Buena	Muy Buena
<b>Ideal para climas</b>	Cálido o templado	templados y fríos	Templados y fríos	Templados y fríos

Elaborado por el investigador basado en [37]

De la tabla 5 se eligió el invernadero tipo túnel por presentar buena transmisión de luz natural para acelerar el desarrollo del cultivo de manera óptima a través de un rendimiento fotosintéticos máximo, también se tomó en cuenta que son muy recomendados para sistemas hidropónicos debido a su estructura tipo túnel que ayuda a obtener un máximo aprovechamiento energético.

### 3.2.4 Requerimientos ambientales óptimos de una lechuga dentro de un sistema hidropónico.

Es necesario conocer los parámetros fisiológicos adecuados para evitar problemas en el crecimiento de la lechuga para que se desarrolle de manera óptima el cultivo, así como conocer cuáles son sus valores máximos o mínimos, para poder alertar si existe un deficiente o exceso en las variables físicas que requiere el cultivo, de esta manera poder corregir o informar al agricultor, en caso de no informar la persona encargada de cuidar el cultivo no podrá corregir las deficiencias que se presenten de manera que pueden afectar al desarrollo del cultivo de forma directa causando posibles enfermedades. En la tabla 6 se puede observar los parámetros que requiere el sistema hidropónico para la lechuga tipo cressa, además cabe mencionar que otras variedades de lechuga también necesitan un mismo tipo de requerimiento ambiental.

Tabla 6: Requerimientos ambientales y fisiológicos

<b>Requerimientos Ambientales</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Valores aceptables</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>valores Mínimos y máximo</b>
Temperatura en fase de desarrollo	14-23°C (diurna)	18°C (diurna) y 6°C (nocturna)	t ≥ -0.2°C Temperatura critica daño por heladas. 6 °C temperatura mínima de crecimiento 30°C permite la floración min -0.2, máx. 30 °C
Temperatura para la raíz	14°C ~18°C	16°C	t ≥ 30c°C
Nivel de pH	5.5 -7.5 pH	5.5-6.5 pH	-
Electro-conductividad	1 a1,5 mS/cm 750 ppm a 1500 ppm	1000 ppm	EC ≥3 mS/cm o 1500 ppm, no absorbe la solución nutritiva
Fotoperiodo	18 horas	12 horas	6-20 horas
Nivel óptimo de iluminación	9000 lux	1200 a 3000 lux	200> y <6000 lux

Elaborado por el investigador basado en [38] [39]

Para establecer un correcto control de las variables fisiológicas se hace uso de los parámetros técnicos agrícolas que requiere el cultivo de la lechuga mostrado en la tabla 6. Cada uno de los parámetros fue analizado con información bibliográfica.

### 3.2.5 Generalización del sistema hidropónico

De acuerdo con los requerimientos generales del sistema hidropónico, se necesita seguir los siguientes pasos:

- Obtención los datos
- Procesamiento de datos
- Sistema de control
- Visualización local y remota.

Seleccionar la tecnología para la visualización de forma remota.

En la figura 7, se detallan los requerimientos de forma generalizada para la implementación del sistema.

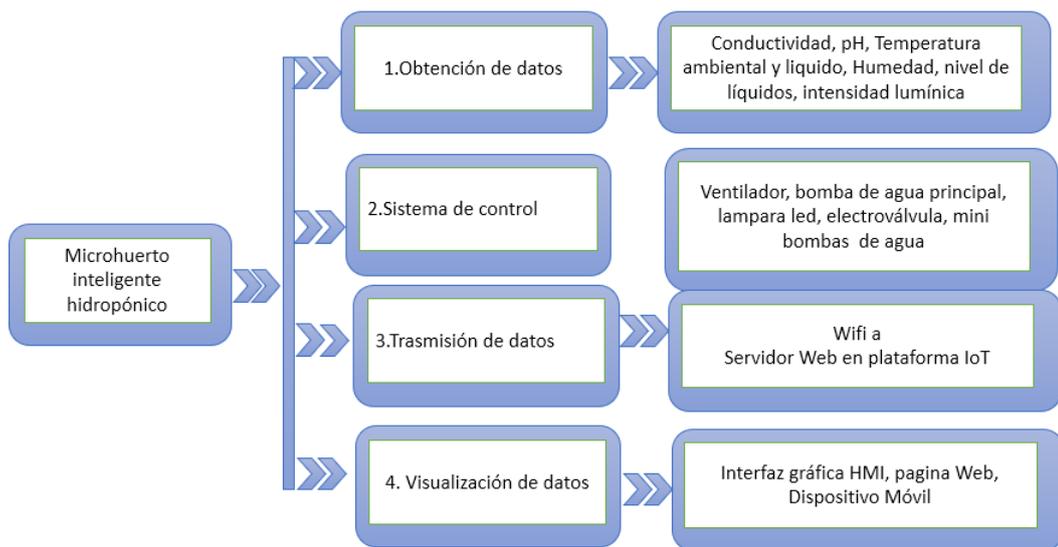


Figura 7: Generalización del sistema a implementar

Elaborado por el investigador

### 3.2.6 Selección de la placa microcontroladora

Para procesar y controlar las variables adquiridas por los sensores, es necesario el uso de un microcontrolador donde se ejecuten las instrucciones y procesos requeridos para el sistema hidropónico. De acuerdo con el número de variables y tecnologías se realizó una comparativa mostrada en la tabla 7 entre algunas placas controladoras.

**Tabla 7:** Comparativa entre diferentes Microcontroladores

Parámetros Técnicos	Arduino Due	Microcontrolador Pic	NodeMCU
Microcontrolador	AT91SAM3X8E	PIC 18F4550	ESP8266
Frecuencia	84 MHz	48 MHz (oscilador externo)	80MHz
Pines E/S Digitales	54 tiene 12 PWM	35 (Entradas y Salidas)	16
Pines E Analógicos	16 entrada	13 canales	1 (0-1V)
Tipo de comunicación	UART, I2C, SPI	EUSART, SPP, SPI, I2C.	UART, SPI, SDIO, I2C
Memoria EEPROM	4KB	256 Bytes	-
Memoria RAM	96 KB (dos bancos: 64KB and 32KB)	2048 Bytes	32KB
Memoria Flash	512 KB	32KB	4 Mb
Voltaje operativo	3.3V	4.2V-5.5V	5V
Corriente de operación	800 mA 130 mA DC I/O	25mA	3.3V 80 mA
Precio	\$15	\$ 13	\$14

Elaborado por el investigador

Al analizar la tabla 7 y de acuerdo con los parámetros que requiere el microhuerto hidropónico, se optó por un microcontrolador Arduino Due debido a que tiene mayor número de pines digitales E/S 35 y 16 entradas analógicas, además de operar un voltaje de 5V a 50mA necesarios para control de dispositivos electrónicos como

sensores, actuadores. Las interfaces de comunicación SPI, I2C, y USART son necesarios para la interconexión entre HMI y tarjetas adicionales para la conexión a Ethernet que gracias a sus librerías disminuye el nivel de complejidad de programación.

### 3.2.7 Sistema de control para la nutrición

Existen diversas formas para el control automático con el fin optimizar la cantidad de soluciones nutritivas en el sistema hidropónico, entre ellas se encuentran Control on-off, un modelo simple que está basada en el comportamiento de alto y bajo, pero las perturbaciones ondulatorias pueden exceder o minimizar las cantidades de la nutrición haciendo que este sea ineficiente.

Tabla 8: Características principales de algunos sistemas de control

Características	Control on-off	PID	IA
Mecanismo de realimentación	Simple	Lazo cerrado	
Tipo de control	On-Off	Proporcional Integral Derivativo	Red neuronal
Técnica		Lineal	No lineal
Procedimiento	Alto-bajo	-Control simultaneo y Predictivo -	-Aprendizaje -Variables con procedimiento de entrenamiento
Parámetros del controlador	Entrada	(K) Ganancia Proporcional (T <sub>i</sub> ) Tiempo Integral (T <sub>d</sub> ) Tiempo Derivativo	(w) Pesos
Nivel de perturbación	Alta	Baja	-Depende del entrenador
Capacidad anticipativa	No	Si	Si
Recursos de hardware para el procesamiento	Bajo	Intermedio	Alto

Elaborado por el investigador

El controlador PID tiene características ideales para la corrección de las oscilaciones extremas entre mínimas y máximas, como se muestra en la tabla 8.

Actualmente, el desarrollo de la inteligencia artificial IA ha sido uno de los proyectos que está creciendo día a día gracias a la innovación tecnológica, sin embargo, distintas placas controladoras o SoCs no pueden operar en su totalidad complicados procesos haciendo que no se opte por esta tecnología con relación al costo.

Para el sistema de control de la nutrición es necesario seleccionar el tipo de hardware, lenguaje de programación, relacionado al nivel del procesamiento, complejidad y el costo que tenga la placa microcontrolador o CPU. De la tabla 8 se seleccionó el control PID debido a su complejidad media, requerimientos de recursos de hardware que la tarjeta controladora Arduino Due puede brindar para el proceso, además, es un sistema que tiene bajas oscilaciones o perturbaciones en comparación con el control on-off.

### **3.2.8 Selección del sistema de comunicación**

El sistema de comunicación debe ser eficiente y de bajo costo para poder enviar los datos recolectados de los sensores por el microprocesador. A continuación, se detalla alguna de las tecnologías para la comunicación en la tabla 9.

Con el fin de evitar el cableado físico para el enlace con la plataforma IoT, se optó por la ESP-32 WROOM para la transmisión de datos de manera inalámbrica hacia la red desde la tarjeta principal controladora Arduino Due a través de la interfaz SPI. Una de las características principales de la ESP 32 es su conexión inalámbrica Wifi capaz de llegar hasta una velocidad de 150 Mbps con el protocolo 802.11n. La ESP32. A diferencia del Arduino Nano y la Wiznet W5100 es que posee un reloj interno RTC para poder sincronizar las tareas asignadas por el programador. Además, su diseño físico reducido ayuda con el ahorro de espacio para poder ubicar sobre una placa electrónica PCB y dentro de la caja de protección en el sistema principal.

Tabla 9: Comparativa entre dispositivos para comunicación.

<b>Características técnicas</b>	Arduino NANO 33 IoT	Ethernet Shield	EPS32 WOROOM
Costo	\$10	\$12	\$12
Tecnología para conexión	Wifi 802.11 b/g/n	Ethernet TCP/IP	Wifi (protocolo 802.11 b/g/n)
Velocidad de conexión	Hasta 150 Mps	Hasta 100 Mbps	Hasta 150 Mbps
CPU	SAMD21 ARM Cortex 32 bits	Wiznet W5100	Dual Core Tensilica Xtensa LX6
Reloj interno RTC	No	No	Si
Compatibilidad con Network Time Protocolo NTP	Si	Si	Si
Módulo de interfaces	UART, SPI I2C, PWM, DAC	SPI	GPIO, UART, SPI, I2C, PWM, DAC
Temperatura de trabajo	-40°C ~ 85°C	5°C~45 °C	-40°C ~ 85°C
Voltaje de operación	3.3 V	5V	3.3V ~3.6V
Corriente operación	7 mA		80 mA promedio

Desarrollado por el investigador basado en [40] [41]

### 3.2.9 Selección del sistema para la visualización local

La interfaz de visualización es esencial para presentar la información, la cual adquiere los datos desde la placa microcontroladora del sistema hidropónico de forma local. Dado que, en el mercado existe una gran variedad de dispositivos que pueden usarse para visualizar la información, es necesario establecer o definir los parámetros principales, entre ellos:

- Compatibilidad con la placa controladora
- Interfaz de control y visualización HMI

- Facilidad de conectividad y programación
- Software y hardware para facilitar la programación y conectividad.

**Tabla 10:** Comparativa para la selección de la interfaz de visualización

Características técnicas	Nextion 3.5 NX4827T043_011	ITDB02 TFT LCD Display 3.2"	TP1700 7"
Costo	\$35	\$35	\$200
Tamaño	3.5 "pulgadas	3.2" pulgadas	7" pulgadas
Tipo de pantalla	TFT táctil resistivo	TFT táctil resistivo	TFT, táctil capacitivo
Memoria Flash	16 MB	-	128 MB
Memoria RAM	2Kbyte	Expandible con SD hasta 1Gb	12 Mbyte
Comunicación	UART, TTL	N/A	Ethernet PROFINET
Voltaje de operación	5V	3.3 V con adaptador shield	24V (19.2~28.8 V)

Elaborado por el investigador basado en [42]

De la tabla 10 de acuerdo con el análisis comparativo para la visualización y el control local se seleccionó la pantalla Nextion 3.5" por su interfaz de control, visualización e interacción HMI. Esta pantalla LCD posee 4 pines, de alimentación y de comunicación UART limitando el uso excesivo de pines en el microcontrolador. Además, posee el software Nextion Editor como IDE para facilitar la programación de la interfaz gráfica.

### 3.2.10 Selección de plataforma IoT

Una plataforma IoT permite interactuar entre varios dispositivos, sea con un hardware y software agrupando en la red, haciendo que se genere un propio ecosistema, para nuestro proyecto es importante poder contar con sistema interconectado que permita almacenar los datos adquiridos por los sensores.

Con el servidor web de una plataforma se puede gestionar los recursos necesarios, posteriormente visualizar la información primordial de las variables físicas que se requiere y conocer como avanza el desarrollo del cultivo.

Las plataformas IoT existentes en el mercado son muchas, de ellas algunas son compatibles con sistemas open source poseen características avanzadas y básicas, de ellas se seleccionó en base a nuestro requerimiento técnicos, así como, el nivel de complejidad, interconexión, programación y configuración. En la tabla 11 se puede apreciar 3 tipos de tecnologías IoT con similares características. [43]

Tabla 11: Comparativa entre plataformas IoT

Plataforma IoT	Thingier.io	Opendevice.io	Freboar.io
Costos y planes/mensual	4 dashboards gratis 20 dashboard \$4	8 dashboards 10\$ 16 dashboards 22\$	5 dashboards 12\$ 10 dashboards 22\$
Protocolos de los servidores	IFTTT	MQTT, REST y WebSocket	IFTTT
Compatibilidad	Arduino, Rasberry Pi	Arduino	Arduino, Rasberry PI
Implementación	En la nube, web	En la nube, web, SaaS	SaaS, web, En la nube
Herramientas de aprendizaje	Github	Github	Github
Recursos y comunidad de aprendizaje	Bueno	Aceptable	Muy bueno

Elaborado por el investigador basado en [43]

Una vez realizado un análisis previo de la tabla 11, se seleccionó la plataforma thingier.io por poseer fuentes de recursos de aprendizaje, además por su versión gratuita y bajo costo de pago hacen accesibles a la utilización de este. También cabe mencionar, thingier.io es compatible con la tecnología open source, de esta manera es factible utilizar con nuestros dispositivos utilizados en el proyecto.

### 3.2.11 Selección de sensores

Los sensores utilizados en el sistema son de tipo industrial en su mayoría para que tenga una buena resistencia frente a altas y bajas temperaturas, además de los factores climáticos como la humedad que se presenta en la plantación. Un de los requisitos de los sensores es poder obtener los datos fisiológicos que la planta

necesita dentro del invernadero, así como del cultivo hidropónico. Selección del sensor luz

### 3.2.12 Selección del sensor de luz

Debido a que en el sistema se necesita conocer el nivel de intensidad lumínica para activar o desactivar la fuente de iluminación en caso de que se desee, o de manera automática para la germinación de las semillas de la lechuga. Fue necesario adquirir un tipo de sensor para medir la intensidad de luz.

La selección de un elemento resistivo cuya característica principal es la magnitud de su resistencia en función de la luz incidente, está compuesto por un semiconductor de sulfuro de cadmio. Tiene una alta resistencia cuyos valores varían dentro de  $1M\Omega$  en la oscuridad y  $100\Omega$  con luz brillante. [43]

Tabla 12: Comparativa entre algunos tipos de sensores de luz

Características técnicas	Sensor de Luz KIMO	Sensor de luz Bh1750	Sensor LDR con modulo
Costo	\$30	\$7	\$2.50
Rango (lumen /m <sup>2</sup> )	0.00 a 150000 lux	1 – 65535 lux	1-1000 lux
Resolución	0.1 a 1 lux	0.5 lux	1 lux
Tipo de comunicación	Ninguno	I2C	Ninguno
Voltaje de alimentación	Tipo resistencia	3.3V-5V	3.3V-5V
Señal de salida	0V-5V	0V-5V	0V-5V

Elaborado por el investigador basado en [43] [44]

De la tabla 12, se eligió el sensor LDR con su respectivo módulo de adaptación, de manera que representa un bajo costo y gracias al requerimiento técnico que se encuentran dentro del rango adecuado, una característica muy importante es que puede medir hasta 65535 lux razón por lo cual brindara información necesaria de la intensidad lumínica de la luz solar. El sensor resulta muy útil para trabajar por medio de la comunicación I2C del microcontrolador Arduino Due.

### 3.2.13 Selección del sensor de humedad y temperatura

Los sensores digitales de Temperatura y Humedad (DHT22, DHT11) tiene un modo de funcionamiento capacitivo para la humedad y un termistor para medir el aire circundante, posee un solo un pin para la lectura de los datos, se puede usar con cualquier microcontrolador. En la tabla 13 se detallan las especificaciones técnicas de los dos tipos de sensores [45]

Tabla 13: Comparativa entre los sensores de humedad y temperatura DHT22, DHT11

Características técnicas	DHT11	DHT22
Costo	\$6	\$10
Rango de medición	humedad 20-90% RH temperatura 50 °C	humedad 0-100% RH temperatura -40~125 °C
Exactitud	humedad $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH) temperatura $\pm 2\%$ °C	humedad $\pm 4\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH) temperatura $\pm 0.2\%$ °C
Resolución de sensibilidad	humedad $\pm 1\%$ RH temperatura $\pm 1\%$ °C	humedad $\pm 0.1\%$ RH temperatura $\pm 0.1\%$ °C
Fuente de alimentación	3.3V-5V	3.3V-6V
Señal de salida	Digital	Digital
Período de detección	2s	2s

Elaborado por el investigador, basado en [45]

Al analizar los parámetros técnicos de la tabla 13 se eligió el sensor DHT22 por ser más preciso, posee un rango mucho mayor de medición para la humedad y temperatura, es más robusto, con esto cumple los requerimientos óptimos para la medición.

### 3.2.14 Sensor de temperatura del agua

El sensor de temperatura sumergible es un dispositivo que capta la temperatura de una sustancia soluble, principalmente líquidos. Está recubierto por una sonda impermeable por lo cual se puede usar en lugares con alta humedad e incluso bajo el agua. [46]

A continuación, en la siguiente tabla se tiene algunos tipos de sensores sumergible existentes en el mercado, que se seleccionara de acuerdo con el presupuesto y la necesidad.

Tabla 14: Comparativa entre sensores de temperatura sumergibles

<b>Características técnicas</b>	Sensor de Temperatura PT100 SERIES	Sensor de Temperatura lm35 sumergible	Sensor de Temperatura PT 1000
<b>Costo</b>	\$ 30	\$6	\$27
<b>Rango</b>	-50~ 200°C	-55~ 125°C	-200~ 150°C
<b>Error de medición</b>	±0.05°C	±2°C (-10~ 85°C) ±0,5°C(-55~ 125°C)	±0,5°C
<b>Voltaje de alimentación</b>	24V y conexión NTC/PTC	3V a 5,5V	12V
<b>Cubierta</b>	Acero inoxidable AISI 316 Ti.	Acero inoxidable	Acero inoxidable de alta resistencia térmica

Elaborado por el investigador [46] [47]

Con el objetivo de reducir costos y seleccionar un sensor de temperatura adecuado para medir el tanque de mezclado de la solución nutritiva, se eligió el sensor Ds18b20 mostrado en la tabla 14. Además, la característica del sensor mencionado es factible integrar al microcontrolador Arduino y no necesita de una fuente de voltaje externa.

### 3.2.15 Sensor del nivel de líquido

El sensor ultrasónico de nivel, en este dispositivo la medición del nivel del líquido se realiza por la emisión de pulsos ultrasónicos, la superficie del producto refleja la señal y el sensor la detecta de nuevo. El *Time-of-Flight* de la señal ultrasónica reflejada es directamente proporcional a la distancia recorrida. En este método de medición se evita el contacto directo con la superficie del líquido por lo cual no se ve afectado por la viscosidad, o medios agresivos del producto. Conociendo la

geometría del depósito del líquido, se puede calcular el nivel, tabla 15 comparativa de sensores de nivel. [48]

Tabla 15:Comparativa entre sensores de nivel

<b>Características técnicas</b>	<b>HC – SR04</b>	<b>LGZD</b>	<b>XKC-Y25-V</b>
Costo	\$5	\$24	\$30
Tiempo de respuesta	10 $\mu$ S de pulso TTL (señal de disparo)	<500ms	<500ms
Tipo de señal de salida	Salida digital	analógica 0V-5V	analógica 0V-5V
Tipo de lectura	ultrasónico	infrarrojo	ultrasónico
Temperatura y humedad de trabajo	0~50% RH	-30°C~80°C 0~100% RH	0°C~85°C 5~100% RH
Señal de salida eco	TTL	-	-
Fuente de alimentación	5V	5V	5V-24V
Corriente de operación	15mA	$\approx$ 16mA	1 ~ 100mA
Resistencia de aislamiento	-	100 $\Omega$	-

Elaborado por el investigador basado en [49]

Para medir el nivel tanque de mezclado de la solución nutritiva se seleccionó el sensor tipo HC – SR04 de la tabla por ser fáciles de adquirir y ser económicos, estos sensores se usan para el control y llenado del tanque. Adicional, se utilizó dos sensores extra para la medición del nivel de volumen en el tanque de mezclado y los recipientes que contienen las soluciones tipo A y tipo B.

### 3.2.16 Selección del sensor para la medición de conductividad eléctrica (EC)

Este dispositivo mide la corriente eléctrica que un material puede transportar, en el caso de líquidos se tiene: la salinidad del agua de riego o soluciones nutritivas. La conductividad del agua puede reflejar el nivel de electrolitos presentes en el agua. Dependiendo de la concentración de dicho elemento. Está diseñado especialmente para los controladores y se ha incorporado en características simples, convenientes y prácticos. [50]

Dentro de la sonda de conductividad, dos electrodos están posicionados uno frente al otro, se aplica una tensión de AC a los electrodos, lo que hace que los cationes se muevan hacia el electrodo de carga negativa, mientras que los aniones se mueven hacia el electrodo positivo. Cuando más electrolito contiene el líquido, mayor es la conductividad eléctrica. En la tabla 16 se muestra la comparativa de los diferentes sensores de conductividad eléctrica. [51]

Tabla 16: Comparativa de los sensores de conductividad eléctrica

Parámetros técnicos	IXIAN-EC	XIN NUO QI	SKU:SE075
Rango	0.07 $\mu$ S~ 100,000 $\mu$ S	0~2000ppm	0 ~ 1000ppm
Temperatura de trabajo	25°C	0~100°C 20-60%RH	25°C
Exactitud	$\leq$ 2% F.S	$\leq$ 2% F.S	$\pm$ 10% F.S. (25 °C)
Tipo de electrodo	Grafito y Polímero	Grafito y Polímero	XH2.54-2P
Salida	4mA~20mA	4mA~20mA	0V ~ 2.3V
Auto compensación de temperatura	Si	si	No
Voltaje de alimentación	9V~36V	12V~24V	3.3V ~ 5.5V
Precio	\$112	80\$	\$60

Elaborado por el investigador

La salinidad de las soluciones en los cultivos hidropónicos no debe ser muy alta, por lo que se eligió el sensor de conductividad XIN NUO QI de la tabla 4.14 gracias a que abarca un alto rango de medición (0-2000ppm) y con un error de medición muy bajo  $\leq$ 2% F.S, posee características técnicas de estándares industriales. Sin

embargo, es necesario adaptar nuestra señal de 4mA~20mA para que se tenga una salida de 0V-5V con una resistencia en serie de 250  $\Omega$ .

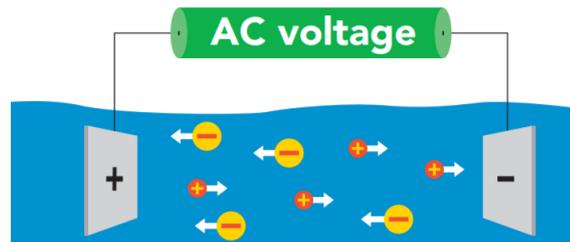


Figura 8: Representación de un sensor EC [51]

### 3.2.17 Selección del sensor para la medición de nivel de pH

Es un dispositivo utilizado para medir la acidez o alcalinidad de una solución, el pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias, diseñado para introducir en líquidos debido a su recubrimiento. En la tabla 17 se hace análisis de los sensores de pH para proyectos Arduino. [52]

Tabla 17: comparativa para el sensor de Ph

Características técnicas	E-201-C/4502C	SEN0161
Rango	0-14 pH	0-14 pH
Temperatura de trabajo	0-60 °C	10-50 °C
Exactitud	± 0.05 pH	± 0.1 pH
Modelo del electrodo	E-201-C	--
Modulo	4502C	--
Tiempo de respuesta	<2 min	<1 min
Voltaje de alimentación	5V	5V
Precio	\$ 50	\$ 55

Elaborado por el investigador basado en [52]

Debido a los requerimientos y la capacidad de adaptar a la placa controladora de Arduino, se selección el sensor E-201-C de la tabla 17 juntamente con el módulo de acondicionamiento PH-4502C que envía una salida de 0V-5V para la entrada analógica de la placa controladora. El módulo de acondicionamiento del sensor de pH pose dos termistores para calibrar el sensor, así se puede minimizar los errores de los datos obtenidos por el electrodo.

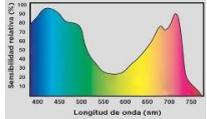
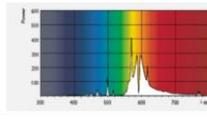
### 3.2.18 Selección de actuadores

Una vez que se tenga los datos fisiológicos recolectados por los sensores se procede a la automatización del encendido de lámparas, automatización de las soluciones nutritivas, ventilación y el llenado del tanque mezclador con agua de la tubería principal de agua potable, todo esto se procede con la manipulación de los actuadores los mismos se mencionan, a continuación.

### 3.2.19 Sistema lumínico

En la tabla 18, se presenta algunos tipos de lámpara que pueden ser utilizado.

Tabla 18: Sistemas lumínicos para el desarrollo del cultivo

Características técnicas	Epistar 300 led	SPLIT T5	SONLIGHT HSP-TS 400W
Rango de radiación			
Costo	\$115.14	\$20	\$19
Tipo de lampara	LED Red+Blue	LED Red+Blue	Sodio alta presión
Flujo fotónico fotosintético a 0.3 [m]	281 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	103 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Eficiencia energética	200 lm/w	180 lm/w	128 lm/w
Vida útil	>50 000 horas	>50 000 horas	10 000 horas
Unidades	1	4	1
Potencia	100W	18*4W	400W
Fuente de alimentación	110-220v ~60Hz	110v~60Hz	220v~60Hz
Cantidad de iluminancia	2000 lux	1249 lux	6000 lux
Corriente de operación	<250 mA	<309mA	2 A

Elaborado por el investigador basado en [53]

Debido a que las plantas de lechugas corresponden a días largo para el proceso de la fotosíntesis y con el fin de aportar energía lumínica extra cuando existan días nublados, es factible implementar un sistema lumínico para acelerar el desarrollo

de estas. Dada las condiciones que anteceden, es necesario evaluar y seleccionar las lámparas para aportar de energía lumínica al sistema hidropónico.

De la tabla 18, con el fin de cubrir el rango de radiación óptimo que requiere una planta y que tenga un bajo consumo energético, se seleccionó la lámpara SPLIT T5, esta lámpara en forma de tubo está por separado por leds de color (rojo, azul), se puede encontrar en el mercado y tienen una vida útil superior a 50 000 horas en comparación a las lámparas HSP.

### **3.2.20 Mini Bomba de agua**

La nutrición en el sistema hidropónico se encuentra en dos recipientes, solución nutritiva Tipo A y solución nutritiva Tipo B, que debido a la incompatibilidad de estos y a las reacciones químicas que pueden generar no es recomendable mezclarlos en grandes proporciones de concentración.

Los recipientes que contienen las soluciones nutritivas se encuentran dentro de dos recipientes cilíndricos de un litro cada uno, para transportar los líquidos de los envases al tanque principal es necesario el uso de dos mini bombas de agua para las proporciones bajas de los elementos concentrados.

A continuación, se detalla ciertos modelos de mini bombas existentes en el mercado, cuyos datos son mostrados en la tabla 19.

Tabla 19: Características principales de bombas el sistema de nutrición

<b>Características técnicas</b>	Brushless Water Pump AD20P-1230B	RS-360HS	Asixx Mini Bomba Sumergible
Costo	\$12	\$6.70	\$5
Diámetro de conducto ( $\emptyset$ )	5 mm	4 mm	4 mm
Altura máxima de elevación	1.5 m	1.5 m	1.2 m
Potencia	4W	5-6 W	3 W
Fuente de alimentación	12V	3-12V (7.2 V para uso continuo)	3-6 V
Tasa de flujo	200 l/h	120 l/h	100 l/h
Corriente de operación	300 mA	600 mA	50 mA
Vida útil aproximada	20000 h	3000 h	500 h

Elaborado por el investigador basado en [54] [55]

La mini bomba de agua RS-360HS asume un costo medio de \$6.70 y la potencia necesaria para ingresar las soluciones concentradas al tanque mezclador, por lo cual es la ideal para usar en los recipientes ya que puede transportar hasta 120 l/h (33.3 ml/s). Su diseño es muy versátil para ahorro de espacio y la adaptabilidad en el recipiente. Además, tiene un rango de voltaje de 3-12V lo que hace ideal para una fuente de voltaje estándar (3.3V, 5V, 9V, 12V) por lo que son accesibles de conseguir o diseñar una propia.

### **3.2.21 Bomba de agua sumergible para el tanque principal**

Para la recirculación o aireación de la solución nutritiva en el tanque de mezclado, es necesario utilizar una bomba que trabaje cada 15 minutos y cada dos horas, sobre todo que sea impermeable para que se pueda sumergir dentro del tanque de mezclado. A continuación, en la siguiente tabla 20 se observa los tipos de bombas de agua sumergible aptos para el cultivo hidropónico.

Tabla 20: Comparativa entre algunos tipos de bombas sumergibles

<b>Características técnicas</b>	<b>AD20P-1230C MINI</b>	<b>JAD SP-2500<sup>a</sup></b>
Costo	\$45	\$22.45
Caudal	240 litros/h (4 litros/min)	1400 litros/h (60 litros/min)
Altura máxima de bombeo	3m	2 m
Fuente de alimentación	12V	110V~60Hz
Diámetro ( $\phi$ )	5mm	5mm
Corriente de operación	<250 mA	<309mA
Potencia	-	34W
Temperatura del líquido máximo	45°C	40°C

Elaborado por el investigador

Una vez definido la tabla comparativa 19 se seleccionó la bomba de agua sumergible JAD SP-2500<sup>a</sup> puesto a que puede operar una mayor cantidad de flujo que es necesario para abastecer en el sistema, otro aspecto importante es su precio accesible.

### **3.2.22 Selección del ventilador**

Las altas temperaturas pueden afectar notablemente a las plantas y provocar hojas con bordes secos, debido a que existen variaciones de temperatura en los climas de la zona y, además, en el interior del invernadero la temperatura que en ocasiones puede sobrepasar los 30°C en los días muy soleados. Es necesario, la instalación de un sistema de enfriamiento que pueda mantener una temperatura en que la planta no pueda verse afectada por el exceso de calor.

A continuación, se indica algunos tipos y modelos de ventiladores (HCD 20-4M, Dayton 4K638C y CNC YC20060) para la aireación en el interior del invernadero hidropónico en base a las características técnicas se hizo un análisis entre ellos.

Características principales entre ventiladores para la aireación del cultivo

Tabla 21: Comparativa entre algunos tipos de bombas sumergibles

<b>Características técnicas</b>	HCD 20-4M	Dayton 4K638C	CNC YC20060
	Helicoidal	¼ HP Helicoidal	Helicoidal
Costo	\$120	\$150	\$35
Caudal máximo	560 m <sup>3</sup> /h	1205 m <sup>3</sup> /h	400 m <sup>3</sup> /h
Diámetro hélice	20 cm	24 cm	12 cm
Temperatura de trabajo	-25° a 50°C	< 40°C	n/a
Tipo	Pared empotrable	Pared empotrable	Pared empotrable
Potencia	36 W	186 W	70W
Fuente de alimentación (AC)	110~120 v 60Hz	120, 220 v 60Hz	115v

Elaborado por el investigador basado en [56].

Se utilizó el ventilador helicoidal CNC YC20060 de la tabla 21, este aparato electrónico maneja un flujo de aire de 400 m<sup>3</sup>/h, lo cual es suficiente para disminuir la temperatura en un invernadero de tamaño reducido. Así mismo, tiene un costo accesible en comparación a los ventiladores HCD 20-4M y Dayton 4K6638C los cuales representan un costo superior a los \$100, por consiguiente, se reduce ligeramente los costos.

### 3.2.23 Electroválvula

Debido a que se necesita proveer de agua al tanque de mezclado del sistema hidropónico, es obligatorio abastecer siempre a su máxima capacidad o evitar que este sea deficiente ya que podría provocar la muerte de las plantas, para esto se requiere del llenado automático, con esto es necesario conectar una electroválvula a la red principal de agua para que cuando esta se insuficiente el llenado sea automáticamente. Así mismo, la electroválvula debe cumplir con las características eléctricas y de dimensiones. Por consiguiente, se optó por la válvula seneloide Jinsheng por su vida útil y la relación calidad precio, otro aspecto importante es su conexión a 12 V.

A continuación, en la tabla 22 se presenta una comparativa entre electroválvulas existentes en el mercado.

Tabla 22: Comparativa entre algunas electroválvulas de ½.

<b>Características técnicas</b>	Smart Solu 2P025-08	Válvula solenoide Jinsheng	AirTAC 4V310-10
Costo	\$ 25	\$ 12	\$ 28
Presión	8 Bar	0.02~0.8 Mpa	0.15~0.8Mpa
Diámetro de conexión	½ pulgadas	½ pulgadas	½ pulgadas
Tipo	Normalmente cerrado	Normalmente cerrado	Normalmente cerrado
Tiempo de respuesta	-	Abertura ≤ 0.15 s Cierre ≤ 0.3 s	Apertura y cierre ≤ 0.05 s
Voltaje de trabajo	24V	12V	24V
Vida útil	N/A	≥ 50 millones de ciclos	N/A
Temperatura de trabajo	-5°C~80°C	1°C~75°C	-20°C~70°C

Elaborado por el investigador basado en [57] [58]

De la tabla 22, por tener un precio asequible, se seleccionó la Válvula solenoide Jinsheng. Además, este dispositivo electrónico cumple con los requerimientos necesarios para el trabajo operación como son: consumo energético 12 V, amplia vida útil para el trabajo, tiempo de apertura y cierre inmediato.

### 3.2.24 Modulo relé

A modo que los actuadores necesitan fuentes de alimentación AC y DC para poder, operar fue imprescindible la selección de un módulo relé para que estos se activen desde la placa controladora y permitan el paso necesario de energía para que el ventilador, bombas de agua, sistema lumínico led y la electroválvula operen de manera óptima.

Tabla 23: Tabla comparativa entre módulos relés.

<b>Características técnicas</b>	KS0057	Modulo relé fundino 8 canales
Costo	\$ 8	\$ 16
Numero de relés	2	8
Tipo	Normalmente cerrado	Normalmente cerrado/ Normalmente abierto
Voltaje y corriente máxima de uso	250V AC a 10 <sup>a</sup>	250 VAC/30 VDC
Voltaje de operación	24 V a 10 A	5 V (15mA~ 20mA)
Vida útil	100000 ciclos	N/A
Temperatura de trabajo	-5°C~60°C	1°C~75°C

Elaborado por el investigador basado en [59]

De la tabla 23 el módulo relé de 8 canales de la marca fundino es la ideal para poder utilizar en nuestro sistema debido a su precio accesible, numero de relés necesarios y su corriente de activación de 5 V ya que de esta manera nos permite enviar una señal digital TTL o CMOS ya que utiliza un nivel de activación en un nivel bajo, gracias a estas dos tecnologías es posible enviar una señal desde nuestra placa controladora.

### **3.2.25 Determinación de la capacidad del invernadero**

#### **Diseño del invernadero tipo túnel**

El invernadero se construyó con materiales de alta calidad y resistencia, su estructura está compuesta por tubos galvanizados que fueron doblados con un ángulo de 15° cada 30 cm obteniendo una forma curvada. Las ventanas están ubicadas en la parte frontal y la superficie es aproximadamente un 15% de la superficie del suelo, formando una abertura hasta de 60°.

**Tabla 24:** Características de construcción del invernadero tipo túnel

Altura del invernadero	2 metros
Área de construcción	14 metros cuadrados (5m x 2.8m)
Número de túneles	Un túnel de 2.8 metros de ancho por 5 metros de largo
Tipo de ventilación	Recubrimiento con malla saran.
Recubrimiento	Plástico polímero antiviral de alta calidad

Elaborado por el investigador

### Determinación del ancho para la ventilación

Con la siguiente ecuación se puede determinar la superficie de venta

$$\frac{\text{Superficie de ventan } Av}{\text{Superficie de suelo } As} = 0.15 \text{ a } 0.25 \text{ Ecuación 3. Superficie de ventilación}$$

En nuestro caso se utiliza 0.15 correspondiente al 15% de la superficie

$$\frac{\text{Superficie de ventan } Av}{14m^2} = 0.15$$

$$\text{Superficie de ventan } Av = 14m^2 * 0.15$$

$$\text{Superficie de ventan } Av = 2.1m^2 \text{ (Superficie mínima para ventilación)}$$

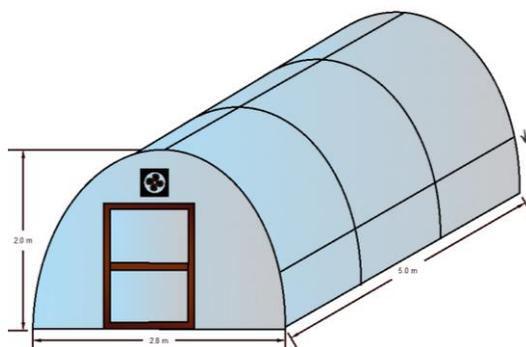


Figura 9: Dimensiones del invernadero hidropónico

Elaborado por el investigador



Figura 10: Diseño exterior del invernadero hidropónico  
Elaborado por el investigador

**a) Instalación de accesorios del sistema NFT**

Tabla 25: Instalación del sistema NFT

Tuberías para el sistema NFT	3 [pulgadas] de diámetro por 3 [m] de largo
Separación de los agujeros	15 [cm] desde el centro de cada agujero
Separación de tuberías	30 [cm] (de altura)
Tiempo de riego	Riego por 1 [min] en un periodo de 5[min]
Diámetro de agujeros	4 [cm]
Diámetro de las canastillas ( $\emptyset$ )	12 [cm]
Niveles	5
Número de tuberías por niveles	2 (3 último nivel)
Capacidad de cultivo	200 plantas

Elaborado por el investigador

En la tabla 24 y tabla 25, se indica la estructura del invernadero para la producción de 200 plántulas de lechuga de la variedad crespa.

### 3.2.26 Riego y con soluciones nutritivas

Tabla 26: Tiempo de riego del cultivo

Tiempo de riego	1 [min] en un periodo de cada 5 min (6:00 am -22:00 pm)
Solución A	1 litro
Solución B	1 litro

Para aportar de nutrientes a un sistema hidropónico hay que agregar 2.5 ml de la solución A y adicional 1 ml de la solución B por litro, si se desea aportar la misma cantidad de la solución A y B es necesario incrementar a la solución concentrada B un 60 % de agua destilada.

### 3.2.27 Recipiente del mezclador y envase de las soluciones nutritivas concentradas

#### Recipiente del mezclador

El recipiente mezclador tiene una capacidad de 40 litros está compuesto por plástico con tapa hermética y utiliza una cubierta anti-algas para proteger la solución nutritiva. En el tanque mezclador se colocan los sensores EC, pH, temperatura, sensores de niveles de líquidos (ultrasónico e infrarrojo) de esta manera si el líquido representa un déficit de solución nutritiva serán compensados por las soluciones concentradas de manera automática. Además, una electroválvula solenoide conectado con la red de agua, esta se activa cuando se detecte un bajo nivel de líquido con la información de los sensores de nivel. En la figura 11 se muestra el modelo del tanque mezclador con capacidad de 40 litros para mantener las soluciones nutritivas.

Dimensiones: 57X37X47 cm



Figura 11: Recipiente mezclador con capacidad de 40 litros

### **Recipientes de las soluciones concentradas**

Los recipientes de plástico de 1 litro de forma cilíndrica contienen las soluciones nutritivas A y B por separadas, de manera que cuando que la planta pueda adquirir los elementos nutricionales necesarios para el desarrollo del cultivo a través de la automatización del sistema. Las soluciones nutritivas se agregan al recipiente mezclador con la ayuda de una mini bomba de agua que succiona la solución nutritiva de que contiene las soluciones concentradas.

### **3.3 Diseño e implementación del sistema de control**

A continuación, en el siguiente apartado se detalla los procesos para la implementación del sistema basado en los requerimientos del proyecto, estos se describen en el apartado 3.2.4.

En el diagrama de bloques de la figura 12 se puede observar de manera generalizada que el sistema está compuesto por interfaces de visualización local como es el caso de la pantalla HMI y de forma remota se tienen la plataforma IoT, aplicación móvil para Android. Además, a través de la adquisición y procesamiento de las variables físicas obtenidas de los sensores se puede adecuar el sistema de manera óptima de acuerdo con los requerimientos del cultivo, entre los más importantes son corregir el nivel de Ec y pH suministrado por los elementos de nutrición a un taque de mezclado. En la figura 13 se observa una imagen referente a la conexión del sistema y sus componentes.

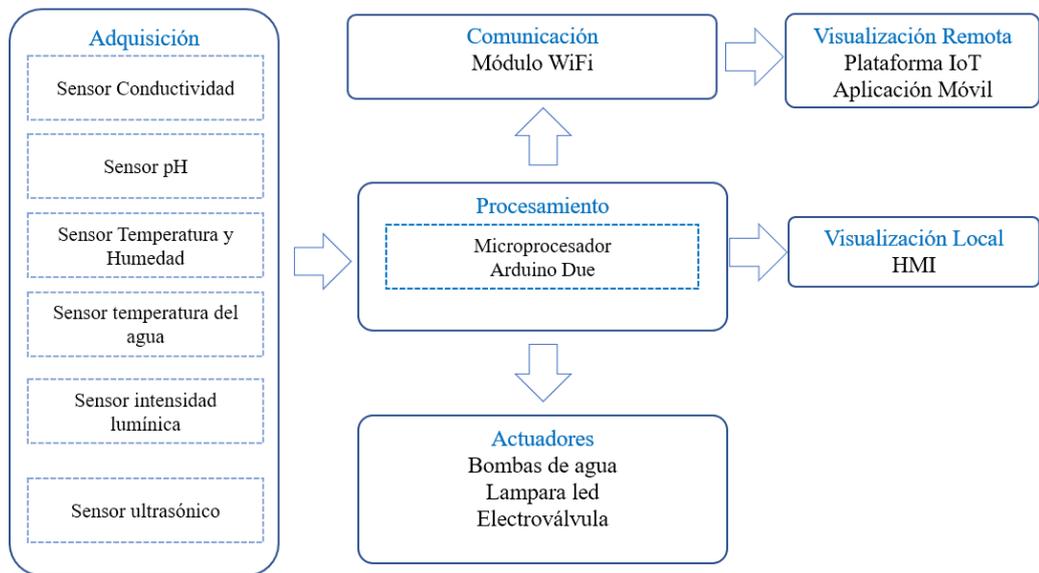


Figura 12: Diseño general del sistema

Elaborado por: El investigador

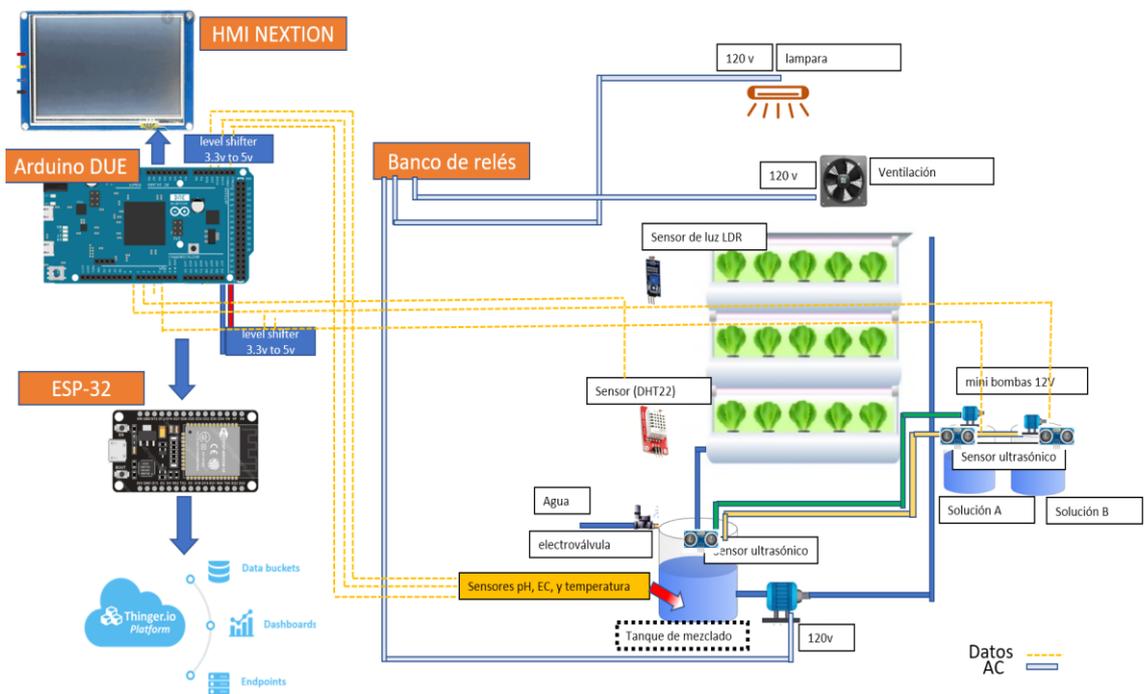


Figura 13: Representación esquemática general

Elaborado por el investigador

### a) Adquisición de datos

Los datos son obtenidos de los sensores de Ec, pH, Humedad y temperatura, temperatura del agua, intensidad lumínica, sensor de nivel de líquidos con sus respectivos módulos estos fueron previamente seleccionados en base a las tablas comparativas de los sensores.

Los sensores envían la información a través de sus módulos a las entradas analógicas o digitales del microcontrolador de acuerdo con las características de cada uno. Las salidas de los sensores están definidas de acuerdo con la salida de los datos, para que el microprocesador adquiera la información de cada uno de estos deben estar en el pin de entrada correspondiente. En la figura se muestra el diagrama principal de acondicionamiento de datos.

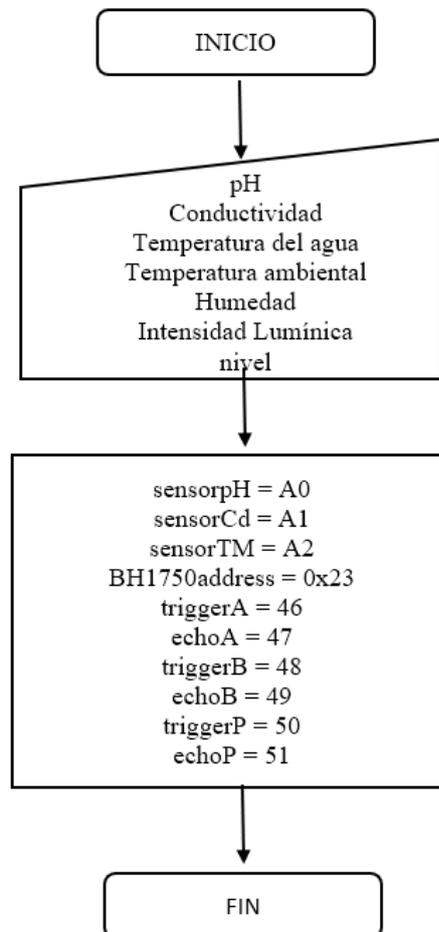


Figura 14: Diagrama para la adquisición, acondicionamiento

Elaborado por. El investigador

## b) Acondicionamiento

Para proceso de adquisición de datos fue necesario el acondicionar cada señal de entrada y se optó en base a los requerimientos de cada una mencionados previamente de las tablas comparativas, las señales eléctricas obtenidas de sus transductores son tratadas para su respectiva digitalización o magnitud.

Las principales características de la salida de cada señal de los sensores son de voltaje o corriente, el caso del sensor del pH tiene un módulo que convierte la señal adquirida de 0-5V, y necesita de la calibración manual, mientras que del sensor EC se calibra de manera automática, envía una salida de corriente de 0-20mA y debe ser acondicionada a la entrada analógica del Arduino. Además, se cuenta con sensores infrarrojos, ultrasónicos, humedad, temperatura y luz que en su mayor se adaptan fácilmente a las señales análogas y digitales de la placa controladora Arduino.

En la siguiente figura 16 diagrama se puede visualizar el proceso para el acondicionamiento de las variables,

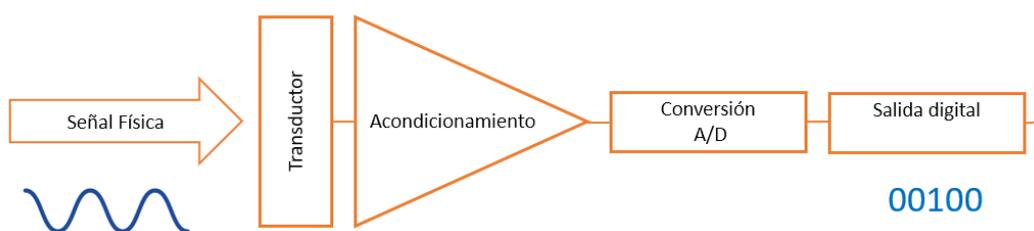


Figura 15: Acondicionamiento de las variables físicas

Elaborado por el investigador

### 3.3.1 Configuración electrónica de sensores

#### 1. Configuración del sensor de pH

Para configurar la señal de salida que entregara al acondicionador del sensor de pH se sigue los siguientes pasos:

1. Medir voltaje en el pin Po de salida del módulo del sensor que marca un voltaje variante ente entre 0-5V,
2. Es necesario desconectar el electrodo con lo cual marcara un voltaje de 0 V en el pin Po, dicho voltaje nos indica un pH igual a cero.
3. Posteriormente se realizó un corto circuito el interior con el exterior del conector BNC para forzar un pH 7, ajustando a 2.5V el potenciómetro que se encuentra junto al conector BNC.

Cabe mencionar que el pH se encuentra entre valores ácidos y alcalinos, en el valor neutro es 7 neutro, para establecer el offset. En la figura 16, se puede observar el diagrama de conexión entre el Arduino y el módulo PH-4502C el cual se inserta el conector BNC del electrodo E-201-C.

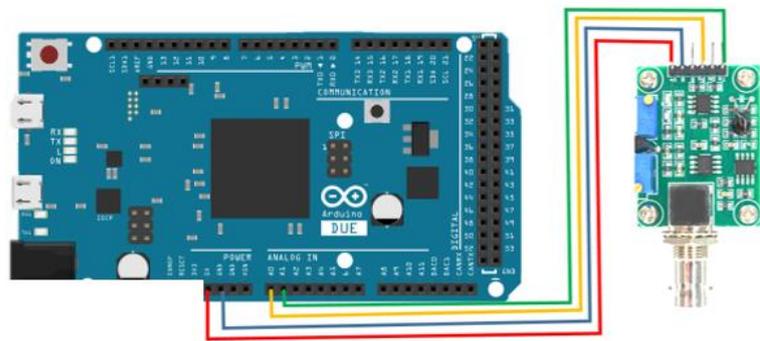


Figura 16: Arduino Due y modulo PH-4502C

Elaborad por: el investigador

## 2. Configuración del sensor de conductividad

El sensor XIN NUO QI para medir la conductividad eléctrica cuenta con un microprocesador independiente y programado, facilita de manera automática el modo de calibración, para realizar el proceso de calibración se necesita una solución estándar de 1.413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en nuestro caso se utilizó la solución de la marca HANNA Instruments que contiene un frasco HI7031L/C de 500ml. Los pasos para la calibración esta descritos en el ANEXO B literal b.



Figura 17: HI 7031 de 500 ml de la marca Hanna Instruments

#### Pasos para la configuración del sensor

- Cuando la corriente de salida sea 4mA la cantidad de ppm será igual a un valor de 0 ppm.
- Cuando la corriente de salida sea 20mA la cantidad de ppm será igual a un valor de 2000 ppm.
- La salida de corriente se puede transformar a voltaje para adaptar la señal al Arduino:

$I_{out}$ : Corriente de salida del sensor EC (4mA – 20mA)

Debido a que el sensor entrega una señal analógica de 4 mA a 20 mA es necesario acondicionar la señal para el Arduino usando un módulo convertidor de corriente a voltaje. En la figura 18, se muestra el modo de conexión entre Arduino Due.

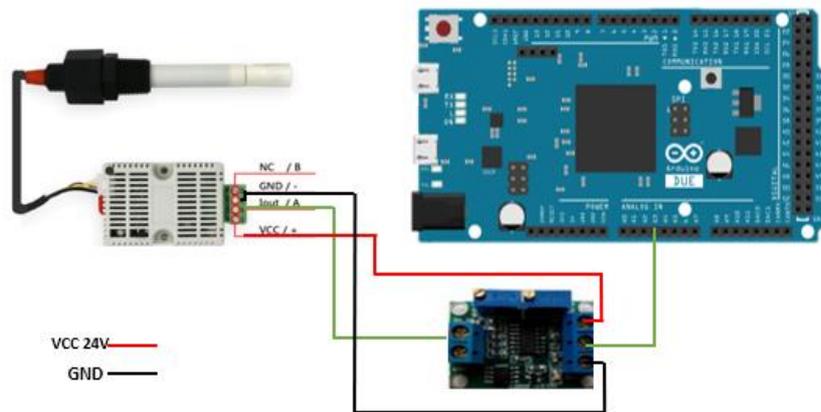


Figura 18: Conexión del sensor EC entre el Arduino Due

Elaborado por: el investigador

Para poder adquirir los datos de la conductividad eléctrica con el Arduino Due es necesario, convertir la salida de corriente  $I_{out}$  (4-20 mA) del sensor EC en voltaje de salida para la placa controladora para los valores analógicos entre (0-5V). El

módulo de acondicionamiento de voltaje es regulable la corriente de entrada (0-20mA) tanto como la salida que se puede establecer entre los valores de 3.3 a 10V.

$V_{out}$ : Voltaje de salida (0V – 5V)

### 3. Conexión de los sensores de nivel ultrasónico

El sensor ultrasónico puede ser usado para medir el nivel de líquido, para configurar es necesario conocer la distancia. Los niveles de líquidos que se medirán con este sensor serán los de las nutriciones concentradas tipo A y Tipo B. Además, se necesita conocer el nivel de líquido que contiene el tanque mezclador.

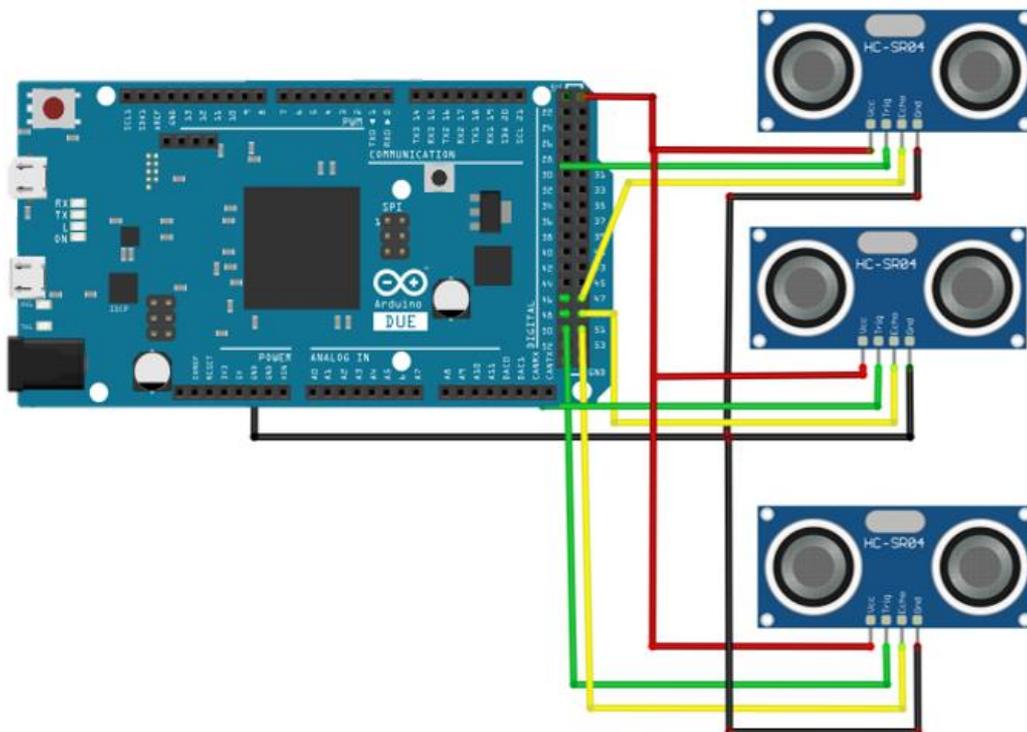


Figura 19: Sensores ultrasónicos para la detección del volumen del líquido

Elaborado por: el investigador

### 4. Sensor de humedad y temperatura

El sensor DHT22 se conecta al microcontrolador para la recolección de los datos, dado que este sensor no presenta complicaciones en su configuración física se puede conectar en cualquier entrada digital con una resistencia de 4.7k $\Omega$  como se muestra en la figura 20.

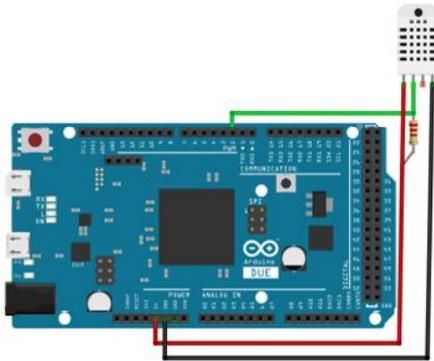


Figura 20: Diagrama de conexión del sensor DHT22  
Elaborado por: el investigador

### 3.4 Sistema de visualización con pantalla HMI

Una vez seleccionada la pantalla, se procede con la configuración, programación, estructuración GUI, haciendo uso del software oficial Nextion Editor, para subir la información de la programación de la pantalla se utiliza un tarjeta micro SD o bien la comunicación UART de forma directa conectado con el software IDE a través la periférica TTL (5v, TX, RX, GND). [42]

A continuación, se describen los pasos a seguir para la creación de la interfaz gráfica en el IDE Nextion Editor, cabe mencionar que es necesario considerar sus características técnicas para la conexión, así como, la fuente de energía que fueron considerados en la tabla de selección para la visualización.

Para crear nuestra pantalla HMI selecciona new, posteriormente se asigna un nombre al proyecto y se guarda.



Figura 21: Creación de un nuevo proyecto de interfaz.  
Elaborado por el investigador

A continuación, se despliega una ventana y en la parte izquierda se selecciona device para configurar la pantalla en base a las características de la pantalla que se tenga. En nuestro caso se selecciona el modelo NXT4832T035\_011 como se muestra en la figura 22, a continuación, marcamos en la parte izquierda la opción “display” y se selecciona el modo Horizontal y clic en el botón OK.

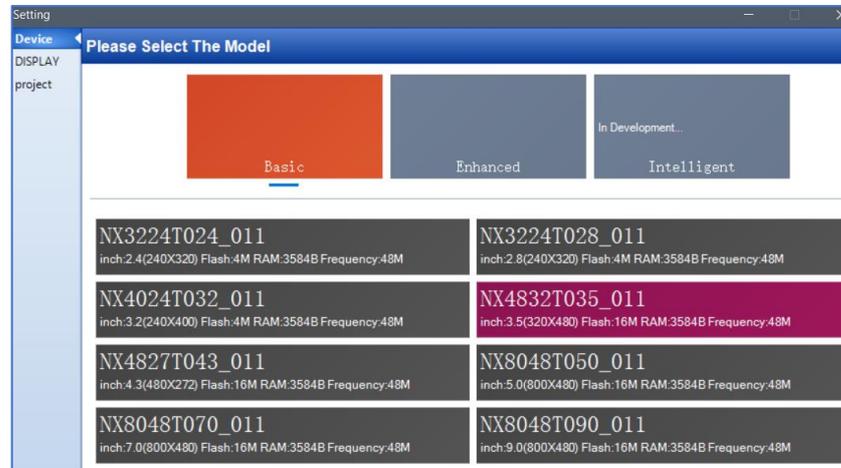


Figura 22: Modo de configuración del dispositivo de la pantalla touch.

Elaborado por: el investigador

Para en el entorno de desarrollo y diseño de la pantalla principal se utiliza labels para las etiquetas, botones, barras de progreso y páginas en la pantalla de acuerdo con el número de información que se tenga en la tarjeta controladora Arduino Due.

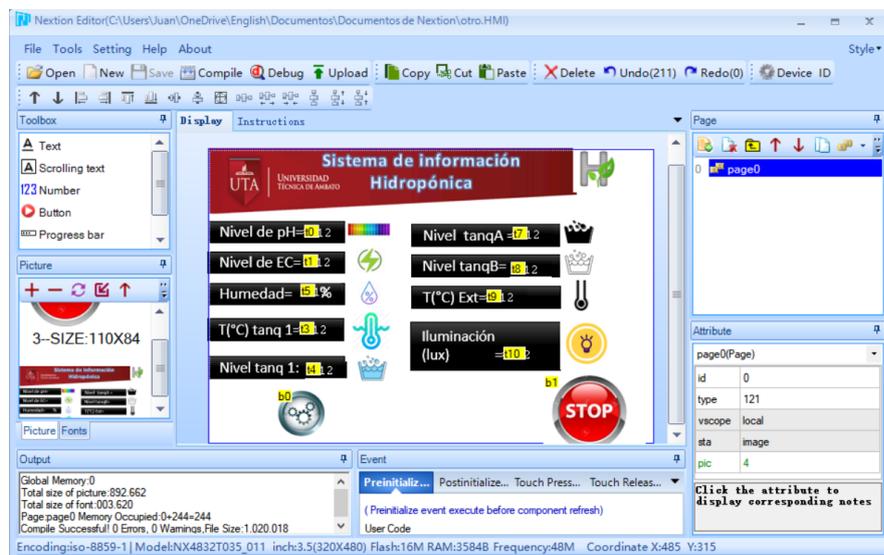


Figura 23: Creación de la pantalla principal HMI

Elaborado por el investigador



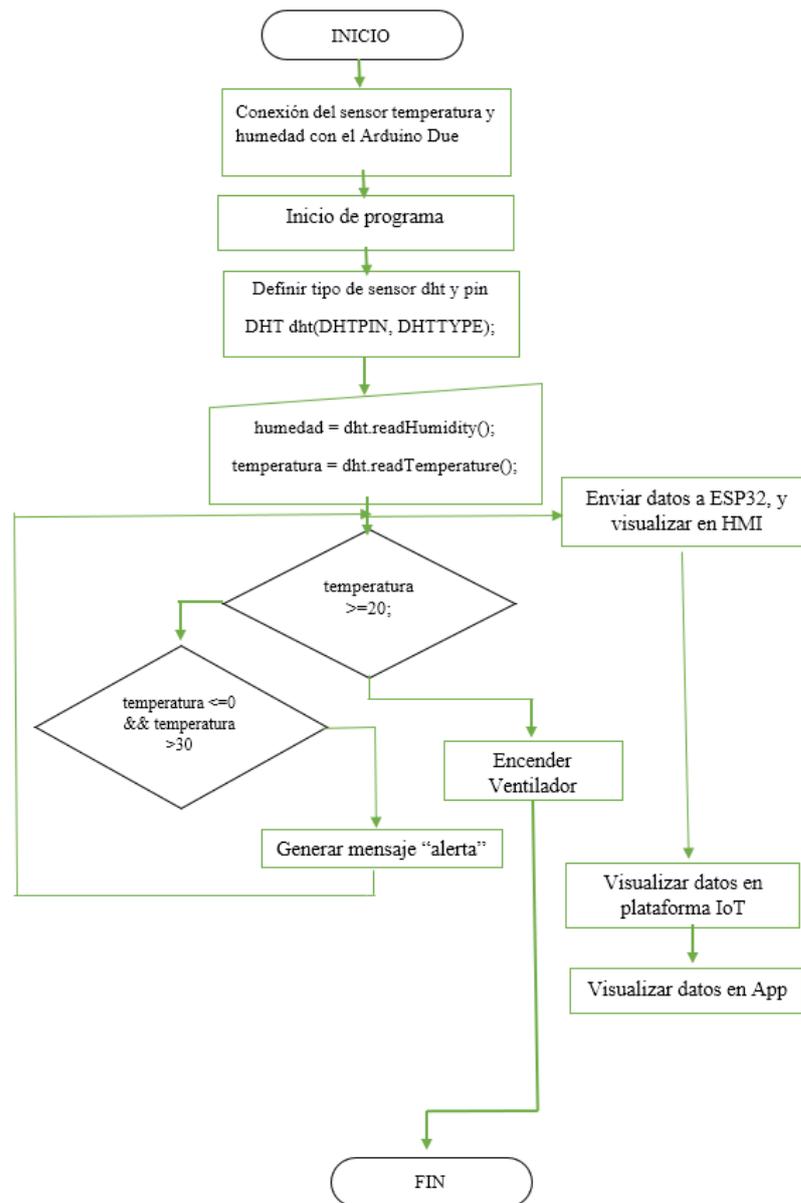


Figura 25: Flujograma sensor dht22

Elaborado por: el investigador

**A. Temperatura del tanque principal.** Se desarrollo el proceso en base a un flujograma mostrado en la figura 26 para sensar la temperatura del agua del tanque principal.

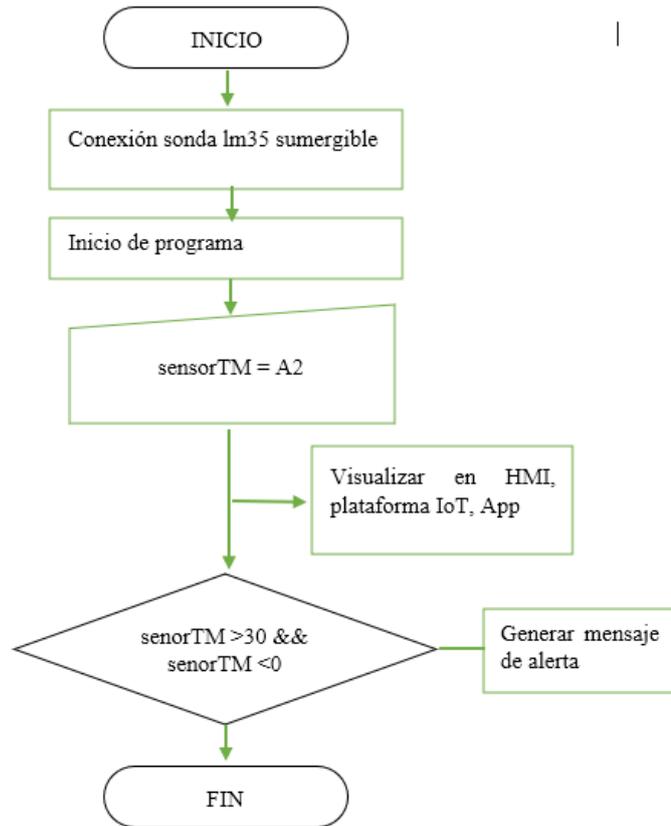


Figura 26: Flujograma sonda lm35

Elaborado por: el investigador

**B. Intensidad lumínica.** Basándose en las condiciones requeridas para el encendido de la lampara led, horario, y monitoreo de la intensidad lumínica se desarrolló el diagrama de flujo que se muestra en la figura 27.

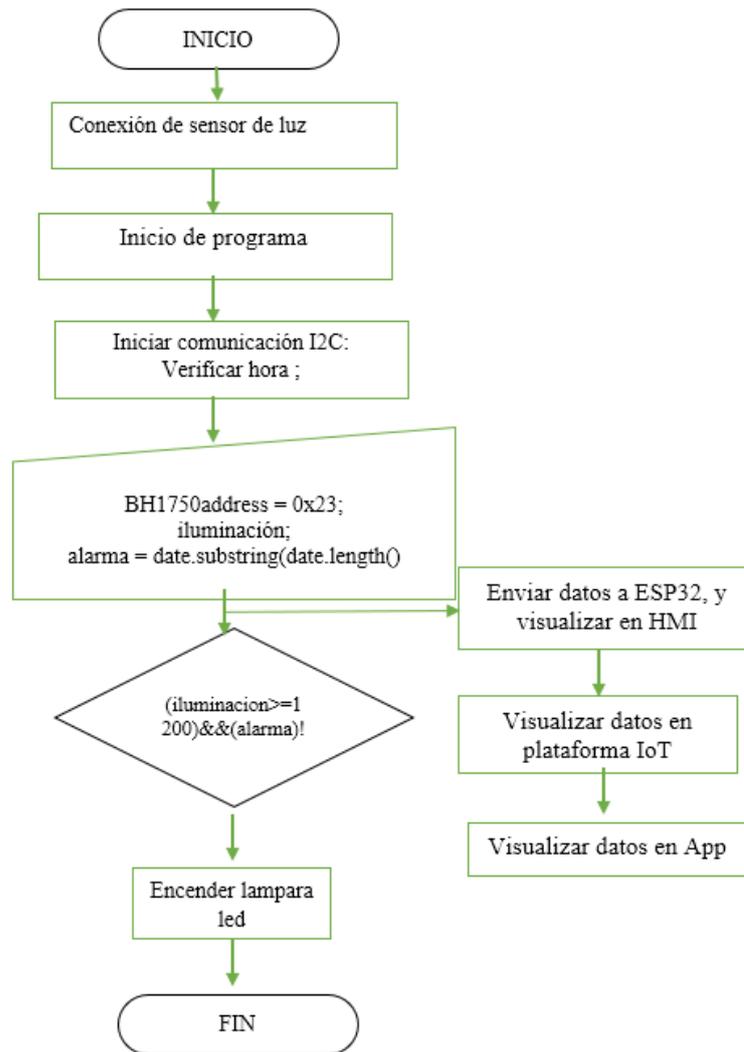


Figura 27: Flujograma sensor de luz

Elaborado por el investigador

**A. Nutrición.** Para la programación del control de la nutrición se estableció el siguiente diagrama de flujo de la figura 28.

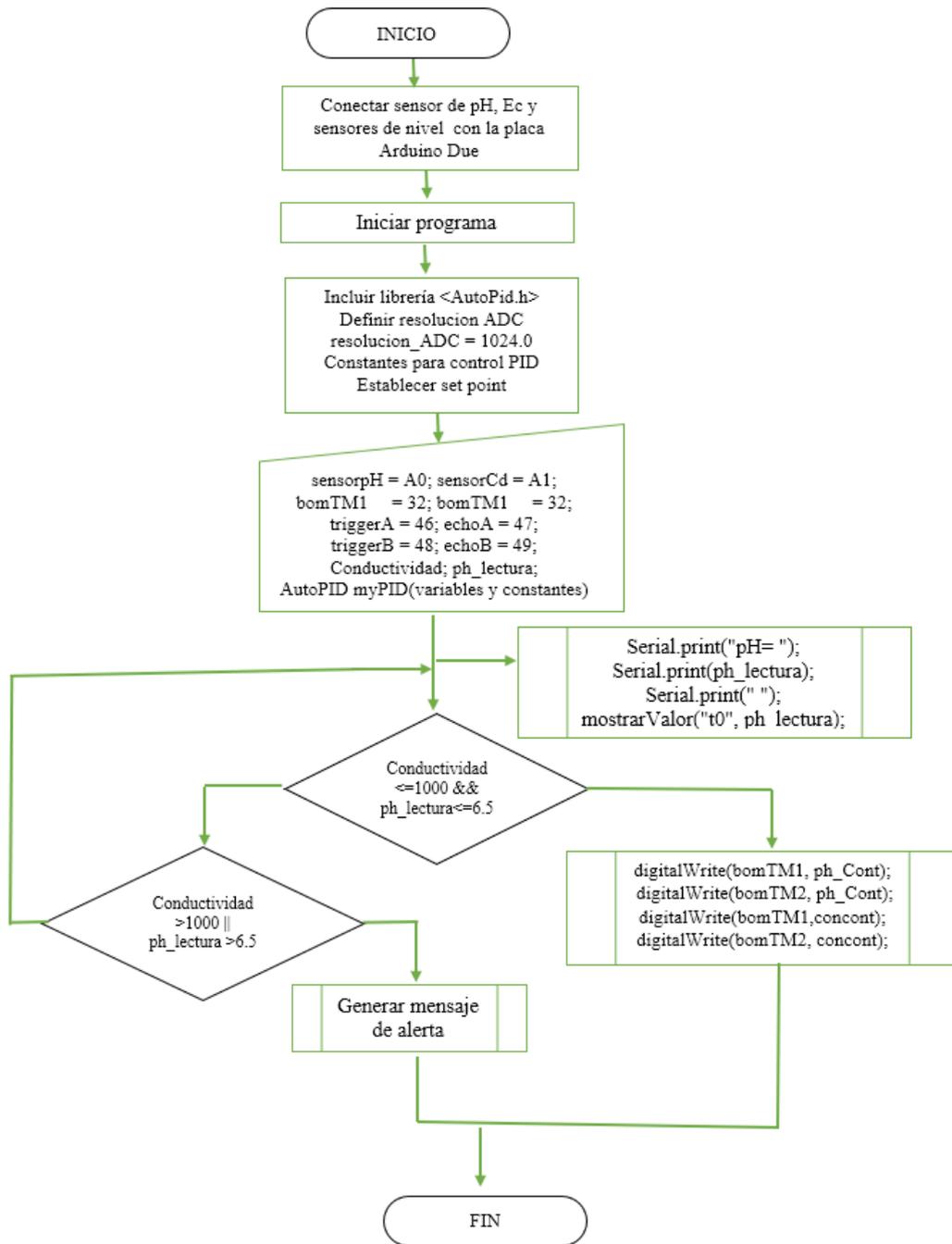


Figura 1: Flujograma proceso de nutrición

Elaborado por: el investigador

**A. Recirculación y llenado del tanque principal.** Los procesos necesarios para el control de llenado del tanque principal y la recirculación de las soluciones nutritivas se describen en el siguiente diagrama de flujo, como se muestra en la figura 30.

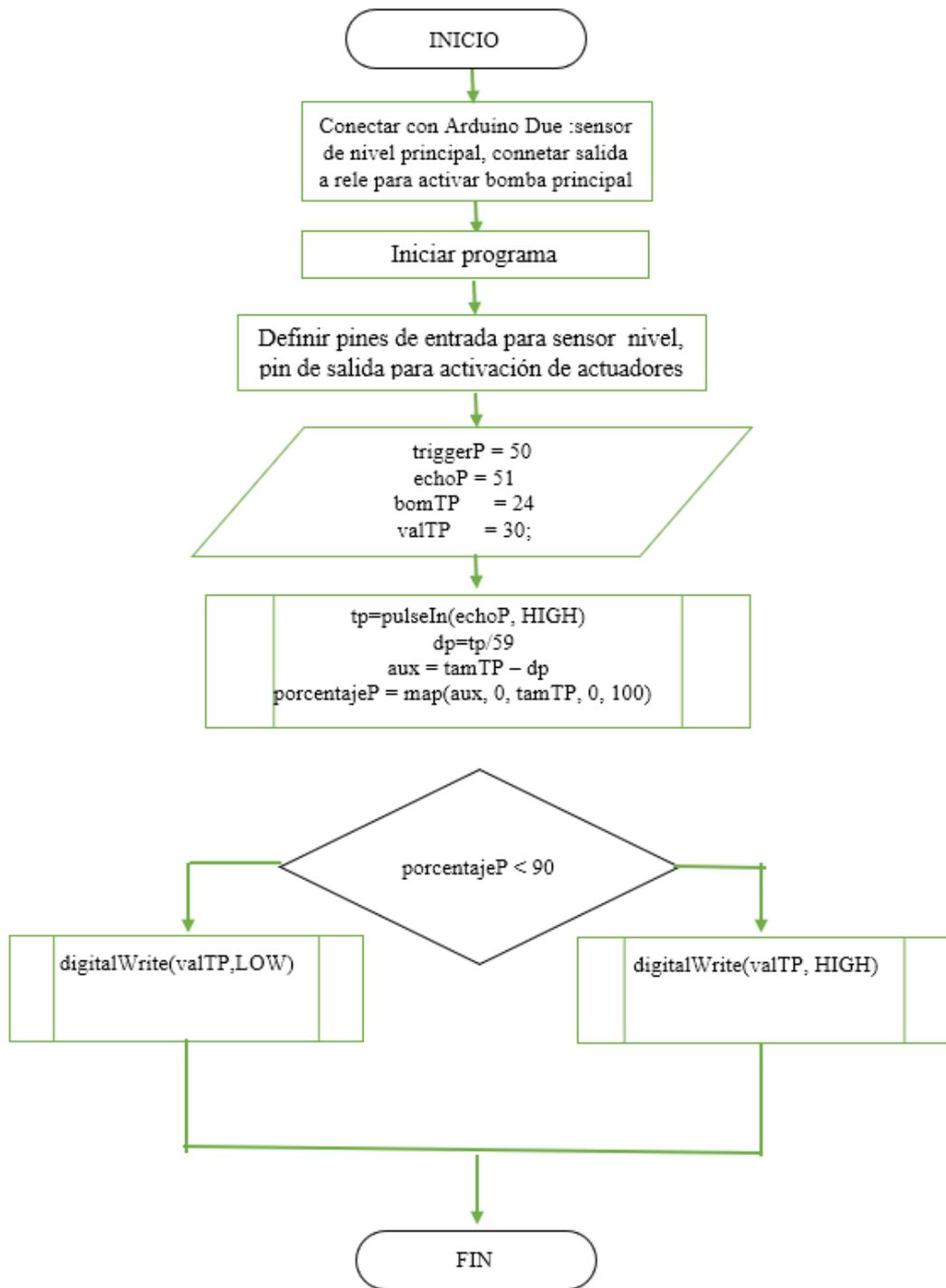


Figura 28: Flujograma del proceso de recirculación y llenado del tanque principal  
Elaborado por: el investigador

### 3.6 Configuración en la plataforma Thinger.io v

La plataforma IoT Open Source Thinger.io es una herramienta que facilita la instalación de un servidor propio en la nube y proporciona la posibilidad de acceder a su biblioteca de código abierto en GitHub para establecer la conexión con distintos dispositivos electrónicos, Arduino, Raspberry Pi, NodeMCU y algunos SoCs . Sin embargo, esta plataforma posee un limitante para la recolección con el número de variables y en la creación de la clasificación de datos, debido a que posee su versión gratuita y pagada para extender sus funcionalidades.

Procedimiento para establecer la configuración en thinger.io

#### a. Crear un dispositivo

Primero hay que crear un dispositivo que representara el nombre para poder acceder a la información del proyecto y obtener los datos de los transductores a través de la cuenta en la plataforma IoT una vez que fueron tratados por la placa controlador Arduino. La información de los sensores obtenidos por un microcontrolador o CPU deben ser registrados en la nube, colocando un identificador y una credencial para relacionar los datos con la cuenta de usuario. En la figura 29 se muestra la creación de un nuevo dispositivo para la interconexión.



Figura 29: Creación de un dispositivo en Thinger.io

Fuente: el investigador

#### b. Crear una credencial

Una vez llenado los campos del Id del dispositivo se genera una credencial de manera automática de esta manera se introducirá en el IDE de Arduino juntamente con el usuario para poder comunicarse. Figura 30 modo de creación de una nueva credencial.

Device credentials ⓘ

sJpgMi4Rh9e7

Generate Random Credential

Figura 30: Creación de una credencial en Thinger.io

Fuente: el investigador

En el siguiente gráfico se puede apreciar un ejemplo de la adquisición de datos obtenidos desde Arduino usando comunicación WiFi para la visualización en la plataforma Thinger io. En la figura 31 se tiene la interconexión de datos en la plataforma IoT.

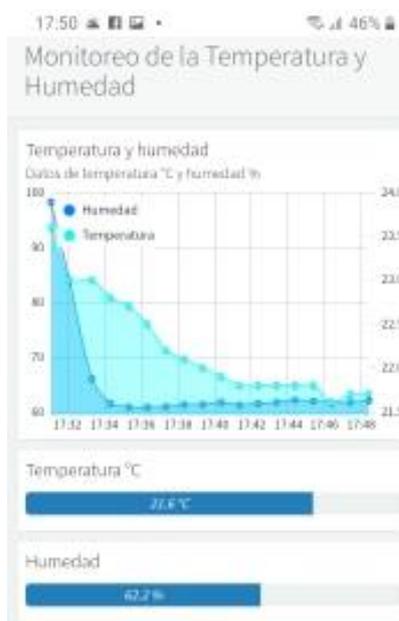


Figura 31: Visualización Humedad y Temperatura

Fuente: el investigador.

Las APIs son generadas por Thinger, se pueden usar para diferentes aplicaciones como es el caso de para Android OS. Mediante el IDE de App Inventor, se generó una app con la finalidad de generar alertas a un dispositivo móvil en caso de que los valores no sean los adecuados o se genere una alerta en el dispositivo, de esta manera no será necesario estar siempre pendiente de revisar las variables física en la plataforma, ya que se generar la alerta por medio de notificaciones. Figura 32,

muestra la creación de un aplicativo para la visualización de datos que son enviados desde Thingier io.

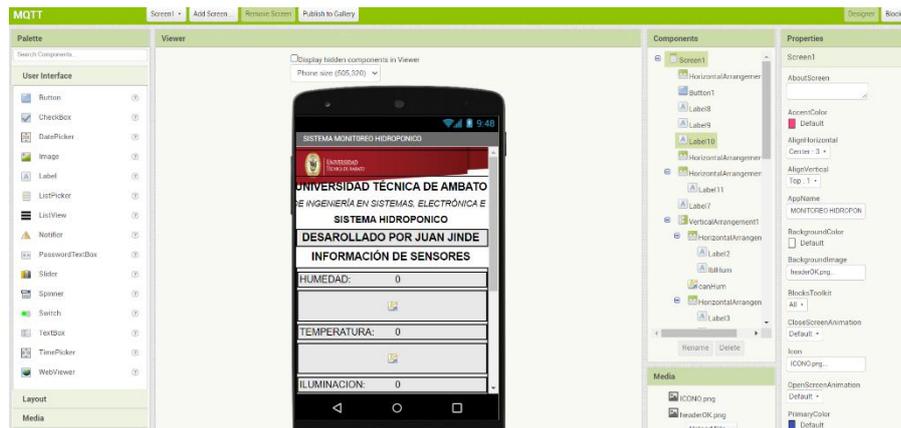


Figura 32: Diseño de aplicación para Android en App Inventor

Elaborado por: el investigador

Generación de tokens en thingier Io para establecer comunicación con la App en Android, los tokens generan acceso a la base de datos llamada Data Buckets, es una herramienta con lo cual se genera una API desde la plataforma en la nube para trabajar en el desarrollo de nuevas Apps e incorporarlo según los parámetros que se requiere. En la figura 33 se muestra la plataforma de thingier io.

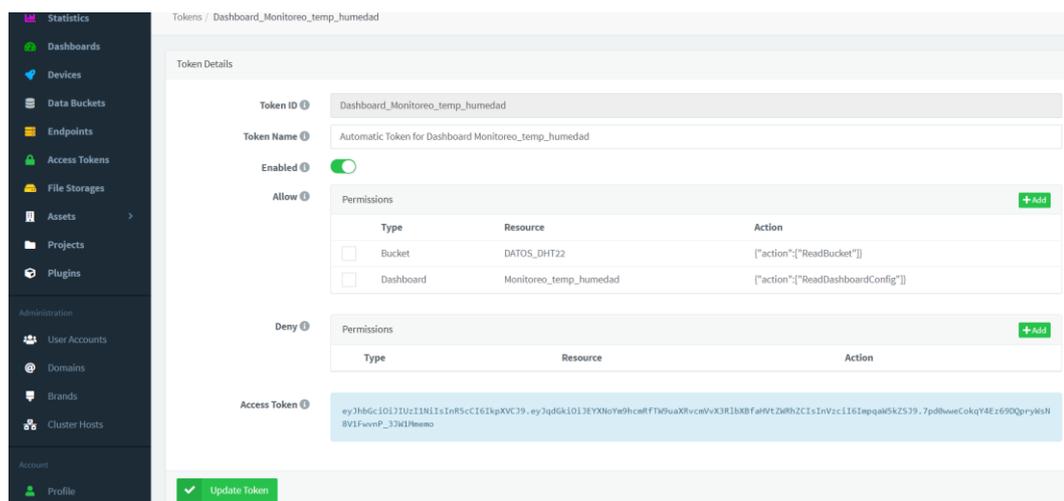


Figura 33: Generación de Tokens desde Thingier

Elaborado por: el investigador

Las APIs generadas por Thinger Io se puede usar en otros programas desarrollados gracias al Acces Token que genera una clave de acceso a su base de datos y con estos datos poder utilizar en la Aplicación desarrollada. Ejemplo de programación en la figura 34.

```
initialize global tokenTHINGER to "eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJkZXYiOiJHV2"'
```

Figura 34: Generación de código de acceso Acces Token para App

Elaborado por: el investigador

En la siguiente figura 35 se muestra la aplicación realizada en IDE de app Inventor



Figura 35: Desarrollo de App para acceso remoto en Android

Elaborado por: el investigador

### 3.7 Diseño de la placa electrónica PCB

Para diseñar la placa del sistema electrónico fue necesario tomar en cuenta, la adaptación de los dispositivos electrónicos como módulos de los sensores, fuentes de alimentación, salida de los actuadores, así como, dimensionamiento de la placa para adaptar dentro de una estructura hermética que pueda protegerse del polvo y la humedad.

El diseño de la PCB de la figura 36 contiene a cada uno de los componentes principales los cuales son Arduino Due para el sistema de control y Nodectum ESP32 WOROON, estos se encuentran ubicados tanto en la parte superior y reversa de la placa, desde los pines de la tarjeta controladora se distribuyen las salidas hacia los sensores, módulos, dispositivo de comunicación y actuadores que se seleccionó en el base al análisis previo, para esto se utilizó borneras. Para los actuadores como las luces leds SPLIT T5, la bomba de agua principal JAD Sp-2500 y el ventilador CNC YC20060 Helicoidal serán activados por tres relés para permitir el paso de la energía eléctrica de 110V de corriente alterna y mientras que con 12 V DC para las minibombas RS-360HS, electroválvula selenoide Jinsheng.

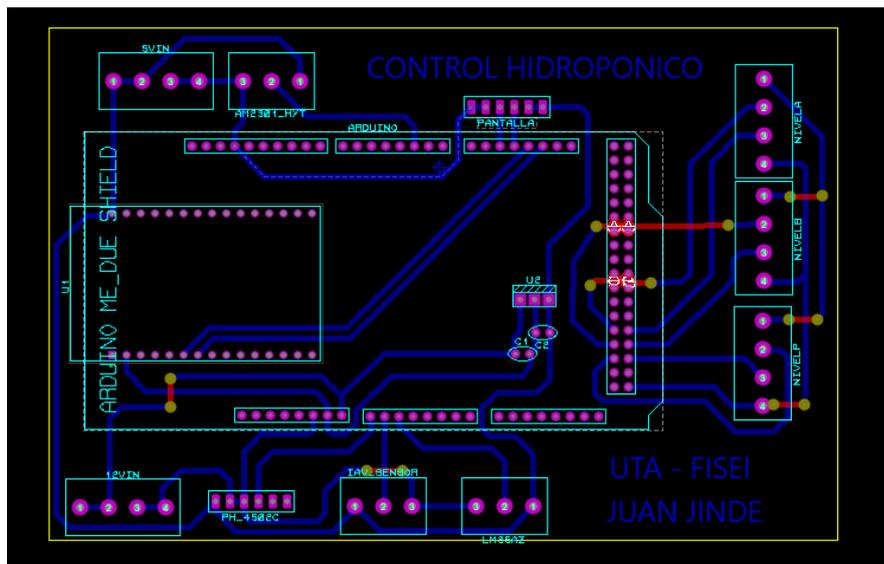


Figura 36: PCB conexiones diseño en Proteus 8.10

Elaborado por el: investigador

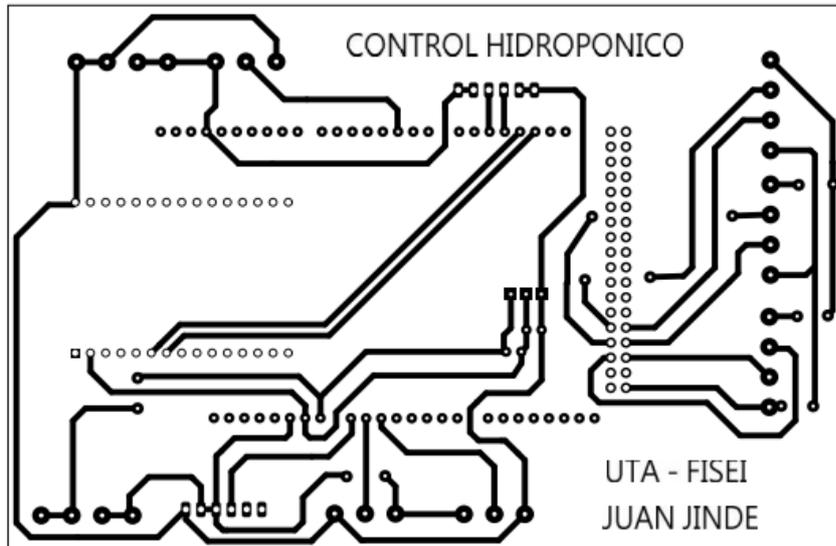


Figura 37: PCB control hidropónico

Elaborado por: el investigador

Las figuras 36 y 37 indican los diagramas para las conexiones. Además la distribución de las fuentes de energía de corriente continua se distribuyen desde un adaptador de voltaje de salida de 12 V y 5V con una corriente de entrada de 110 v AC, de esta manera se alimenta a los módulos de sensores que requieren 5V, 12 V según el modelo de estos.

### **Placa electrónica**

Una vez revisado el diseño PCB se procedió con la creación de la placa electrónica utilizando una máquina CNC de precisión para PCB de esta manera, se obtuvo un circuito impreso más preciso a diferencia de métodos tradicionales en los que se utiliza ácidos como el cloruro férrico que pueden ser nocivos para la salud y el medio ambiente. Asimismo, se verifico cada una de las pistas que concuerden en su totalidad con el diagrama PCB para evitar posibles cortocircuitos o desconexiones de la placa, se muestra a continuación en la figura 38.

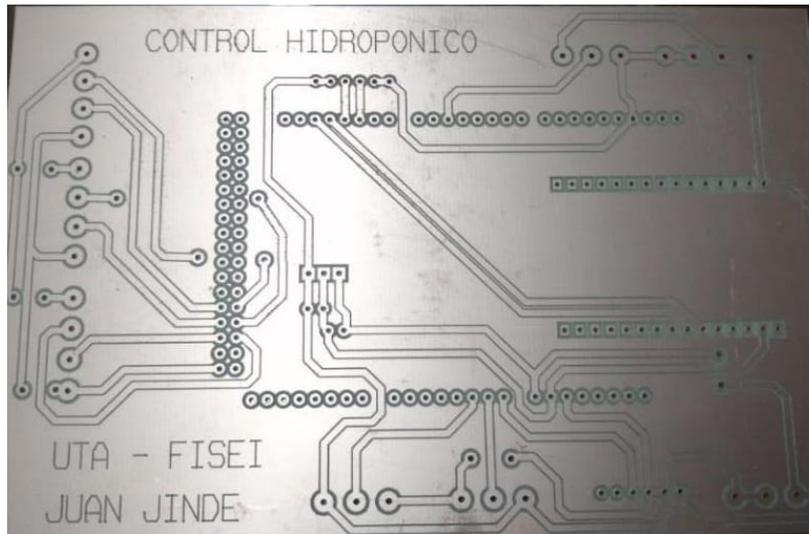


Figura 38: Placa electrónica PCB del control hidropónico

Figura 2:

Elaborado por: El investigador

### 3.8 Montaje y ubicación de componentes electrónicos

La implementación del sistema se realizó con la configuración de cada uno de los sensores, tanto como su calibración, el montaje del diseño del circuito se lo introdujo en una caja de derivación de la marca Schneider modelo DX50, la cual protegerá frente a la humedad ya que posee su tapa hermética y es construida para la instalación de material eléctrico, en la figura 39 se muestra el prototipo electrónico.

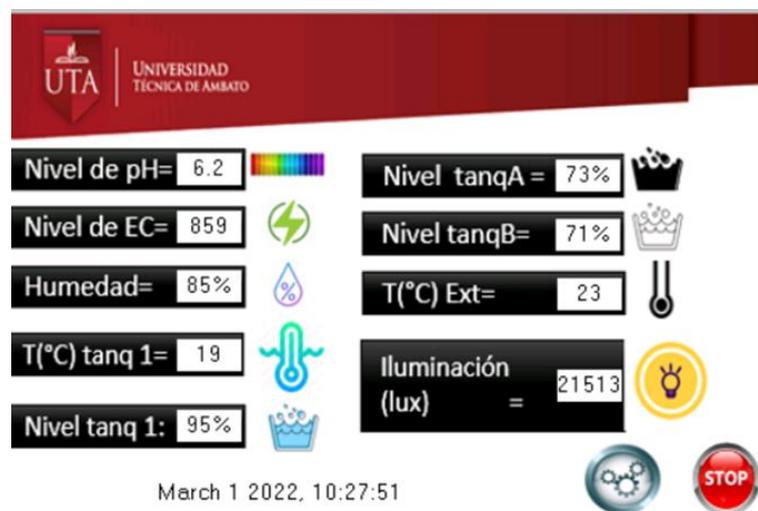


Figura 39: Interfaz principal de la pantalla HMI

Elaborado por: el investigador



Figura 40: Protección para HMI, módulo de comunicación, microcontrolador y placa electrónica

Elaborado por: el investigador

Para tener un buen funcionamiento del sistema electrónico hay que proteger de la intemperie y evitar el daño de los dispositivos electrónicos, para esto es necesario acoplar los módulos de los sensores dentro de una caja impermeable plástica con protección IP 65 contra humedad, salpicaduras de agua y polvo. Figura 40 y 41, muestra el montaje y protección de los dispositivos electrónicos.

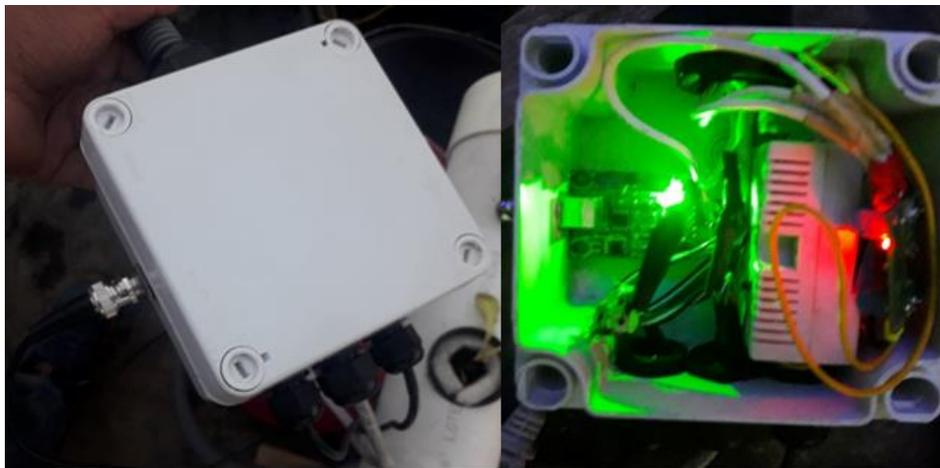


Figura 41: Montaje de dispositivos electrónicos dentro de una caja de protección

Elaborado por: el investigador

### 3.8.1 Instalación del sistema de iluminación

El invernadero está construido con buena orientación solar, en caso de que los días sean nublados y con el fin de acelerar la producción se activará un sistema artificial lumínico led, correspondiendo a los colores azul y rojo que son los principales para las plantas y que absorben la energía lumínica a través de la clorofila de esta manera aumentar la biomasa de la planta principalmente cuando existan días nublados y dejando solamente con 8 horas de oscuridad por la noche.

Debido a que las plantas de lechuga son de días largos que corresponde a 12 horas o más, el sistema lumínico se activará de manera automática para aprovechar al máximo la luz artificial instalada. En la figura 42 se muestra el montaje de las lámparas led, la mezcla de color rojo y azul forma un color púrpura para las plantas.



Figura 42: Montaje de lámparas led's rojo y azul

Figura 3:

Elaborado por: el investigador

### 3.9 Pruebas de funcionamiento del sistema

Una vez implementado el sistema de control y de comunicación para la plataforma IoT se procede a verificar el funcionamiento general del microhuerto inteligente, tanto el funcionamiento electrónico, la comunicación, la comprobación de medición

correcta de los sensores, la visualización y el monitoreo de datos de un cultivo hidropónico.

### 3.9.1 Verificación de datos en plataforma IoT

El seguimiento de las variables más importantes como la humedad, temperatura, iluminación, pH y conductividad son visualizadas de manera exitosa, estas variables son primordiales en el sistema hidropónico para la correcta alimentación de las plantas, así como la prevención de las enfermedades por falta de nutrición o el exceso de esta. Los valores recolectados se presentaron el 20 de enero del 2021 entre las 8.00 a.m. a 11.00 a.m., de esta manera es posible verificar la funcionalidad del prototipo en todo momento sea posible. En la figura 43, se muestra las variables tomadas por los sensores.



Figura 43: Visualización en plataforma IoT Thingier Dashboard

Desarrollado por: el investigador

Para una mejor visualización de los datos en distintos tipos de ciclos de producción del cultivo se recolecto los datos de los sensores que son más necesarios para el cultivo en este caso podes ver reflejado en la tabla 27, son datos obtenidos directos desde la plataforma.

Tabla 27: Información de los sensores desde Thinger io

#Pruebas	Fecha	Hora	EC (ppm)	pH	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Iluminación (lux)
1	3/4/2022	10:30:50	721	6.83	59.07	29.81	2170
2	4/4/2022	11:03:20	881	6.14	45.44	22.22	4383
3	5/4/2022	10:33:21	926	5.74	79.82	31.39	4469
4	6/4/2022	12:06:49	943	6.08	56.63	27.00	4538
5	7/4/2022	10:08:29	936	5.79	42.55	16.61	2641
6	8/4/2022	11:37:18	804	5.25	79.78	23.30	2526
7	9/4/2022	9:53:53	977	6.76	49.63	31.37	3986
8	10/4/2022	10:59:54	851	6.81	69.40	17.31	2370
9	11/4/2022	11:54:17	740	5.80	68.37	25.63	2327
10	12/4/2022	11:24:58	905	6.41	74.97	25.93	2927
11	13/4/2022	12:23:01	919	6.88	59.76	29.38	4594
12	14/4/2022	12:24:55	889	7.06	60.10	17.04	3926
13	15/4/2022	12:16:28	963	5.24	40.72	17.79	3798
14	16/4/2022	11:37:59	851	5.78	63.70	18.61	4768
15	17/4/2022	11:58:50	815	5.42	63.14	25.98	4422
16	18/4/2022	10:55:59	988	5.43	61.98	23.19	3139
17	19/4/2022	10:07:08	978	6.55	70.79	23.42	2006
18	20/4/2022	11:58:19	798	5.03	73.33	18.05	2462
19	21/4/2022	12:25:20	766	6.81	41.58	22.78	4922
20	22/4/2022	11:15:38	848	6.47	69.78	23.26	3127

### 3.9.2 Verificación de los dispositivos electrónicos

Se verificó el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos tanto de los sensores, actuadores, módulos, tarjeta controladora y de comunicación al haber terminado la implementación.

### 3.9.3 Pruebas de sensores

Los sensores que toman los datos pueden presentar problemas por una posible falla en su configuración o bien cuando requieran de una calibración, por lo que fue necesario verificar la lectura correcta de los datos de cada uno de ellos de las condiciones físicas. En la tabla 28 se muestra la verificación de los sensores.

Tabla 28: Verificación de los sensores en un sistema hidropónico

Dispositivo	Detalle	Datos HMI, Plataforma IoT	Observaciones
-------------	---------	---------------------------	---------------

Bh1750	Sensor de luz	Correcto	Lectura correcta de datos
DHT22	Humedad y temperatura	Correcto	No presento inconvenientes.
Lm35 sumergible	Sensor de agua sumergible	Correcto	Funciona correctamente.
HC-SR04	Sensor de nivel de agua	Correcto	Funciona correctamente,
XIN NUO QI	Sensor de conductividad	Correcto	Funciona correctamente,
E-201-C/4502C	Sensor de pH	Correcto	Funciona Correctamente,

Elaborado por: El investigador

### **Comprobación de las mediciones**

Cabe considerar, que es necesario tener una confiabilidad en la medición de las variables principales que influyen en los cultivos, por lo tanto, se realizó dos tipos de mediciones clasificándolos en dos fases, la primera fase que corresponde a la recolección de los datos obtenidos de los sensores de pH, conductividad eléctrica, temperatura de líquidos, estos dispositivos se encuentran dentro del tanque principal, mientras que los sensores de temperatura, humedad se encuentra en la parte exterior del tanque y dentro del invernadero hidropónico. Adicionalmente cabe mencionar que los datos obtenidos corresponden a la fecha 4 de abril del 2022.

La segunda fase corresponde a la medición de las variables mencionados en la primera fase de medición, donde se realizó la toma de datos utilizando sensores de temperatura, de pH, conductividad eléctrica y temperatura de tipo comercial.

Para el desarrollo de la primera fase se tomaron 20 muestras de los datos transmitidos hacia la plataforma IoT y a la pantalla HMI, mientras que para la segunda fase se esgrimió instrumentos de medición.



Figura 44: Medidor digital y visualización en plataforma

Tabla 29 : Comparativa con instrumentos de medición y datos de plataforma IoT

Muestras	Sistema Hidropónico			Instrumento de medición			Hora
	pH	EC	Temperatura	pH	EC	Temperatura	
1	5.55	1013	17	5.54	1025	18	10:31
2	5.62	1050	17	5.54	1054	17	10:34
3	5.70	1044	19	5.83	1036	18	10:36
4	5.87	1018	17	5.79	1015	17	10:38
5	5.65	1062	18	5.52	1028	19	10:40
6	5.71	1013	18	5.59	1085	18	10:42
7	5.86	1085	20	5.88	1086	18	10:44
8	5.82	1075	17	5.59	1075	20	10:46
9	5.94	1087	19	5.93	1073	18	10:48
10	5.85	1101	20	5.52	1100	18	10:50
11	5.81	1094	18	5.67	1085	17	10:52
12	5.74	1071	19	5.78	1008	18	10:54
13	5.75	1013	17	5.97	1033	19	10:56
14	5.60	1090	19	5.81	1034	18	10:58
15	5.74	1090	20	5.90	1048	19	11:00
16	5.70	1020	20	5.57	1094	20	11:02
17	5.69	1040	18	5.52	1079	17	11:04
18	5.51	1011	19	5.77	1019	17	11:06
19	5.77	1083	18	5.64	1073	19	11:08
20	5.71	1021	20	5.64	1064	17	12:08

**Elaborado por el investigador**

### 3.9.4 Análisis de resultados

En concordancia a los datos de la tabla 27, se realizó el proceso de medición de las dos fases para los parámetros que se tiene en el cultivo hidropónico, se procedió a realizar el cálculo de error relativo y error absoluto, para lo cual utilizamos las ecuaciones.

#### **Ecuación 4. Error absoluto**

*Error Absoluto = instrumento de medición – valores del sistema*

**Ecuación 4. Error relativo**

$$Error\ relativo = \frac{Error\ absoluto}{Instrumento\ de\ medición} * 100$$

Tabla 30: Cálculo de errores del pH

	pH Instrumento	pH sistema	Error absoluto	Error relativo%
1	5.54	5.55	0.01	0.18
2	5.54	5.62	0.08	1.44
3	5.83	5.7	0.13	2.23
4	5.79	5.87	0.08	1.38
5	5.52	5.65	0.13	2.36
6	5.59	5.71	0.12	2.15
7	5.88	5.86	0.02	0.34
8	5.59	5.82	0.23	4.11
9	5.94	5.93	0.01	0.17
10	5.52	5.85	0.33	5.98
11	5.67	5.82	0.15	2.65
12	5.78	5.74	0.04	0.69
13	5.97	5.75	0.22	3.69
14	5.81	5.6	0.21	3.61
15	5.9	5.74	0.16	2.71
16	5.57	5.7	0.13	2.33
17	5.52	5.69	0.17	3.08
18	5.77	5.51	0.26	4.51
19	5.64	5.77	0.13	2.30
20	5.64	5.71	0.07	1.24

**Elaborado por el investigador**

En la tabla 30 se muestra el cálculo del error absoluto y relativo entre el instrumento de medición y los datos del sistema, en relación al pH.

Tabla 31: Cálculo de error de la conductividad eléctrica.

	EC Instrumento	EC sistema	Error absoluto	Error relativo%
1	1025	1013	12	1.17
2	1054	1050	4	0.38
3	1036	1044	8	0.77
4	1015	1018	3	0.30
5	1028	1062	34	3.31
6	1085	1013	72	6.64
7	1086	1085	1	0.09
8	1075	1075	0	-
9	1073	1087	14	1.30
10	1100	1101	1	0.09
11	1085	1094	9	0.83
12	1008	1071	63	6.25
13	1033	1013	20	1.94
14	1034	1090	56	5.42
15	1048	1090	42	4.01
16	1094	1020	74	6.76
17	1079	1040	39	3.61
18	1019	1011	8	0.79
19	1073	1083	10	0.93
20	1064	1021	43	4.04

**Elaborado por el investigador**

En la tabla 31, se muestra el cálculo del error absoluto y relativo entre el instrumento de medición y los datos del sistema, en este caso hace referencia a la conductividad eléctrica . En la tabla 32, se muestra el cálculo del error absoluto y relativo para la temperatura, esta información es primordial ya que los factores de estos influyen significativamente en el proceso de desarrollo del cultivo de las lechugas de la variedad crespa.

Tabla 32: Cálculo de errores para la temperatura

#	EC Instrumento	EC sistema	Error absoluto	Error relativo%
1	18	17	1	5.56
2	17	17	0	-
3	18	19	1	5.56
4	17	17	0	-
5	19	18	1	5.26
6	18	18	0	-
7	18	20	2	11.11
8	20	17	3	15.00
9	18	19	1	5.56
10	18	20	2	11.11
11	17	18	1	5.88
12	18	19	1	5.56
13	19	17	2	10.53
14	18	19	1	5.56
15	19	20	1	5.26
16	20	20	0	-
17	17	18	1	5.88
18	17	19	2	11.76
19	19	18	1	5.26
20	17	20	3	17.65

**Elaborado por el investigador**

### 3.9.5 Verificación de actuadores

La importancia de verificar el estado de cada uno de los actuadores es fundamental para el sistema hidropónico, ya que, si puede dejar de operar uno de ellos puede no resultar ser eficientes y dañar el cultivo.

Tabla 33: Funcionamiento de los sensores

<b>Dispositivo</b>	<b>Detalle</b>	<b>Funcionamiento</b>
Lámparas Led	Sistema de iluminación	Correcto
JAD SP-2500 <sup>a</sup>	Bomba sumergible principal del tanque mezclador	Correcto
RS-360HS (1)	Mini-bomba de agua solución A	Correcto
RS-360HS (2)	Minibomba de agua solución A	Correcto
Placa de Relés	Banco de Relés	Correcto
CNC YC20060	Ventilador	Correcto
Válvula solenoide Jinsheng	Electroválvula para el control de llenado del tanque	Correcto

Elaborado por: El investigador

### 3.9.6 Verificación de microcontroladores

Los dispositivos más importantes del sistema son los microcontroladores que realiza el control y las comunicaciones para el monitoreo del cultivo en el invernadero, por eso fundamental realizar frecuentemente pruebas en estos dispositivos, ya que si el sistema fallará se tuviesen consecuencias irreversibles que podría afectar en el desarrollo de las plantas de la lechuga de manera progresiva o inmediata. Además, es sustancial realizar las pruebas lógicas de programación, así como, las fuentes de alimentación de voltaje, la inestabilidad eléctrica puede producir errores en las tarjetas por lo tanto puede generar errores.

Tabla 34: Revisión de los microcontroladores y de los dispositivos de comunicación

<b>Dispositivo</b>	Arduino Due	EPS32 WOROOM
<b>Detalle</b>	Sistema de control	Sistema de comunicación
<b>Funcionamiento de la programación</b>	Fue necesario realizar distintas pruebas para el control de la activación y desactivación de bombas, corregir las constantes del control PID	Recolecta los datos de manera correcta enviado por el puerto SPI del Arduino Due, de esta manera envía de manera simultánea los datos al servidor IoT en la plataforma Thinger.
<b>Funcionamiento eléctrico</b>	No se presentan problemas de alimentación	Se aumentando la carga a la fuente principal y con reguladores de voltaje, condensadores para evitar corrientes parasitas, de esta manera funcionó correctamente
<b>Funcionamiento</b>	Correcto	Correcto

Elaborado por: El investigador

### 3.9.7 Análisis del espectro lumínico generado por las lámparas.

Las lámparas leds rojo y azul generan una gráfica en longitudes de onda en nm ( $\lambda$ ) correspondiente al rango del espectro lumínico, entonces para la medición de las longitudes de onda se utilizó un cámara con alta resolución de un teléfono inteligente con una aplicación para las mediciones mostrado en la figura 45.



Figura 45: Espectro de las lámparas leds rojo y azul en nm

En la figura 46, se muestra una gráfica correspondiente al espectro electromagnético de lámparas del que se encuentra entre los valores de 450nm a 480 nm que corresponde al color azul, y otra que va desde el rango de 600 nm a 684 nm correspondiente al color rojo, también se pudo observar una longitud con una amplitud baja entre los rangos de 508 nm a 550nm que corresponde al color verde.

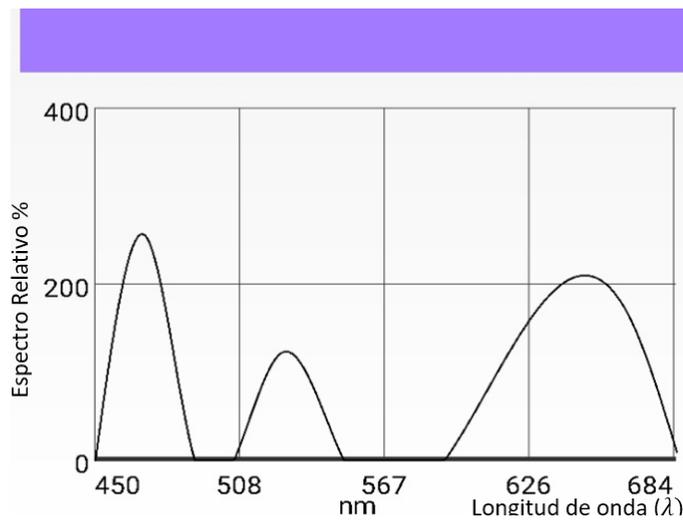


Figura 46: Gráfica del espectro las luces leds del sistema.

Elaborado por: El investigador

Para el análisis el espectro lumínico se utilizó una aplicación de pago llamada Colorimeter que está disponible en la Play Store del sistema operativo Android de un teléfono con una cámara de 13 megapíxeles, los datos son tomados en tiempo real, se puede almacenar los datos y exportar a una hoja de cálculo. La curva característica se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

### 3.9.8 Cálculo del flujo fotónico fotosintético

En la agronomía la cantidad energía lumínica para el proceso de la fotosíntesis se mide en moles por fotones en metros cuadrados denominado flujo fotónico fotosintético *Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD)*, abarca el rango de 400 nm a 700 nm, en este caso se aprovechó la herramienta de una página web que nos permite calcular dicho valor con la unidad de lux y los colores correspondientes a la luz Led Rojo y Azul (450 y 650nm).

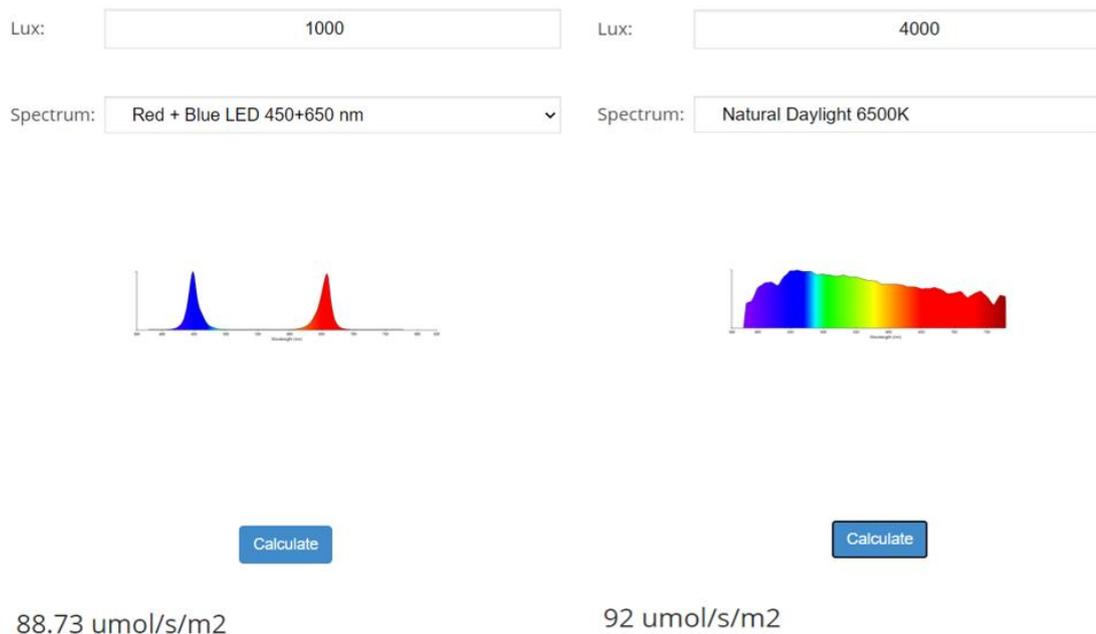


Figura 47: Comparativa entre luz Led (Red & Gren) y luz natural

realizado en: <https://www.waveformlighting.com/horticulture/convert-lux-to-ppfd-online-calculator>

Elaborado por: el investigador

Como se puede observar en figura 47, el aprovechamiento máximo de la energía lumínica para que las plantas puedan absorber está en el rango de los colores visibles rojo y azul. La intensidad lumínica de las lámparas leds equivale a 1000 lux con lo cual puede generar hasta 88.73  $\mu\text{mol/s/m}^2$ , mientras que con la luz natural en un día soleado se puede obtener hasta 40000 lux lo cual genera 92  $\mu\text{mol/s/m}^2$ .

### **3.10 Análisis y resultado en el cultivo**

Para cumplir con los objetivos entorno a la efectividad y factibilidad del sistema fue necesario realizar 3 tipos de experimentos, uno experimentación de forma tradicional y dos dentro del invernadero con sistema lumínico con sistema de nutrición automatizado y con sistema tradicional hidropónico no automatizado.

Experimento 1: En el sistema tradicional, las plántulas de las lechugas (10 cm) cressa se sembró de forma tradicional en la localidad mencionada en el literal 1.4.20 sin sustrato y en el suelo el 22 de julio del 2021, la cual tardo en adquirir un tamaño comercial de 30 cm de longitud en la mayoría de sus hojas 4 hojas en promedio en un tiempo de 70 días, cabe recalcar que el promedio del clima en los meses de junio, julio y agosto existe un clima templado de media de 12.5°C. [60] Por otra parte, debido a que no cuenta con algún tipo de control y al estar directamente en contacto con la tierra aumenta el número de patógenos, virus y plagas, por ejemplo se presentó perforaciones en las hojas por insectos como la mosca blanca y trips. Además, se requiere el cuidado intenso del deshierbe y la desventaja de desperdiciar grandes cantidades de agua de regadío.

Experimento 2 : Dentro del invernadero hidropónico sin automatización de la nutrición y la iluminación controlada se sembró el 22 de julio de 2021 la alimentación para las plantas fue de forma manual donde se llevó a cabo el control manual de la toma de muestras del sistema de nutrición a través de la medición con medidores de conductividad eléctrica y pH con lo cual es necesario de forma permanente vigilar el cultivo con lo cual podría incrementar el costo de producción por la mano de obra notable mente. Sin embargo, el tiempo de producción es más corto que el método tradicional ya que para su comercialización se obtuvo en los 45 días.

Por otra parte, cabe mencionar que debido a que las plantas necesitan una temperatura máxima de 30° C requiere establecer un sistema de enfriamiento correcto con un ventilador para evitar el calor excesivo los cual corrige la resequedad de los bordes de las hojas de las lechugas.

Experimento 3: En el microhuerto inteligente se realizó un sistema automatizado de la nutrición con control PID, la automatización de riego, el sistema lumínico instalado con luces LED y el sistema de monitorización en la plataforma IoT para la notificación alertas en caso de que estas se presenten.

En el microhuerto inteligente la planta de lechuga crespa se ha desarrollado en 29 días de esta manera a alcanzando un tamaño considerable para su comercialización, lo cual representa la reducción de tiempo de cosecha con respecto a los experimentos 1 y 2.



Figura 48: Planta de lechuga hidropónica  
Elaborado por el investigador

### **Comparativa entre el sistema tradicional y el sistema hidropónico**

El crecimiento final para la comercialización de las lechugas lleva un promedio de 60 a 90 días desde que son plántulas (10cm), es decir al aire libre y cultivado en el suelo, mientras que el sistema hidropónico tarda un promedio de 24 a 30 días, dado a los datos obtenidos se puede hacer el siguiente cálculo  $ST_{prom}$  Siembra Tradicional Promedio y  $SH_{prom}$  que es la Siembra de Cultivo Hidropónico promedio.

$$ST_{prom} = \frac{60+90}{2} = 75 \text{ días en sistema tradicional.}$$

$$SH_{prom} = \frac{24+30}{2} = 27 \text{ días en sistema hidropónico.}$$

El tiempo promedio en el sistema implementado hidropónico para cuatro ciclos de trasplante se estableció en las fechas indicadas de la Tabla 35, el periodo más corto corresponde a días mayormente soleado mientras que, el ciclo con más tiempo para la cosecha es de 29 días que son los días más sombreados. Además, se obtuvo un promedio de 25.6 días para los ciclos establecidos con un peso promedio de 131.98 gramos, por lo tanto, podemos mencionar que estos serán los valores promedios para el cultivo, en el año se puede tener un ciclo de 12 trasplantes. En la tabla 35 se muestra los ciclos de venta para el cultivo.

Tabla 35: Ciclos de siembra de lechuga crespa en el sistema hidropónico

Ciclo	Trasplante	Cosecha	Ciclo (días)	Peso( g)
1	22 de junio	13 de julio	29	145.5
2	15 de julio	7 de agosto	23	114.4
3	8 de agosto	31 de agosto	24	128.8
4	1 de septiembre	26 de septiembre	26	135.6
Total			102	527.9
<b>Promedio</b>			<b>25.6</b>	<b>131.98</b>

En referencia al cálculo realizado, las lechugas hidropónicas crecen dentro del sistema desarrollado tardan un 36% de los días que se siembran tradicionalmente, de esta manera se ahorra tiempo y área por espacio para la producción.

### **Factibilidad para la venta**

El microhuerto inteligente puede producir 200 lechugas hidropónicas de la variedad crespa, esta al tener un buen sabor se puede encontrar en un promedio de venta al público de 75 centavos de dólar en los supermercados como es el caso de Supermaxi, así mismo es viable la venta directa a restaurantes, donde optan por la calidad de los productos para cumplir con la exigencia de sus clientes.

Es importante mencionar que la lechuga crespa se vende al por mayor en un promedio de 0.45 \$, y que la producción anual tienen un promedio de 13 ciclos. Sin embargo, es necesario considerar que puede haber días en que el precio pueda llegar a un valor mínimo de 0.25.

Tabla 36: Consideración venta de lechuga

Ciclos por año	Producción de cantidad de lechugas por ciclo	Precio Promedio \$	Venta anual \$
13	200	0.45	1.170
13	200	0.25	650

**Elaborado por el estudiante**

El costo para la producción de la lechuga crespa mensual tiene promedio de 5 \$, incluyendo los costos de servicios de agua y electricidad. La electricidad promedio que consume el sistema está en un valor de 1.75 \$ a 2.10 \$, esto varía de acuerdo los climas que se presentan, los datos se obtuvieron de la planilla de la empresa eléctrica, comparando con planillas anteriores donde no se uso el sistema.

La planilla de distribución de agua no resulto ser afectada debido a que el sistema puede ocupar un promedio de 2 metros cúbicos de agua, que en la ciudad de Ambato representa a 18 centavos de dólar. Como se consideró que el promedio para la producción del cultivo de la lechuga es de 5 dólares por ciclo, incluyendo soluciones nutritivas. En conclusión, se tiene un promedio de 50 dólares anuales para la producción de la lechuga crespa.

**3.11 Costos del proyecto**

En este apartado se detalla los costos que corresponden a cada una de las etapas desarrolladas en el proyecto implementado, además cabe mencionar que el costo de este es financiado por el investigador, así como el diseño de este. A continuación, se detalla cada uno de ellos para establecer una diferencia entre su costo y beneficio.

### 3.11.1 Costo de diseño y mano de obra

El tiempo invertido en el desarrollo del proyecto está definido por cada una de las fases empleadas para el diseño e implementación.

El tiempo empleado en el proyecto por parte de un ingeniero en electrónica en relación a la tarifa mínima salarial en la comisión sectorial No. 12 “Tecnología de hardware y software”, corresponde a 430.60 dólares según lo establecido por el Ministerio de Trabajo para el año 2021. [61]

Por lo tanto:

**Tabla 37:**Costos de la mano de obra

Sueldo	Valor
Mensual	\$430.60
Diario	\$14.35
Hora	\$1.79

Elaborado por: El investigador

Para llevar a cabo el proyecto se empleó 250 horas, con lo cual corresponde a 448.54 \$ el costo total del diseño.

### 3.11.2 Costo de materiales

Para el proyecto fue necesario la adquisición de materiales, tanto para la construcción del invernadero, sistema de riego y soporte de estructura para las tuberías, así como los dispositivos electrónicos, juntamente con los materiales eléctricos para la implementación.

### 3.11.3 Costos de materiales para el invernadero

Para la construcción de un invernadero de tamaño pequeño y de tipo túnel se detalla en la tabla la compra de los materiales realizados.

**Tabla 38:** Costos de la etapa de la construcción del invernadero

<b>Invernadero hidropónico</b>			
Materiales	Unidad	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Plástico Invernadero antivirus de polietileno de alta calidad	32 m <sup>2</sup>	1.30	41.60
Malla de cubrimiento saran	36 m <sup>2</sup>	0.70	25.2
Tubería de acero galvanizado de 3m/cd.	8 c/u	2.40	33.60
Plástico color negro para cubrimiento del suelo	16 m <sup>2</sup>	1.10	17.60
Recipiente mezclador 57X37X47 cm	c/u	20	20
Forro anti-algas para recipiente mezclador	c/u	2	2
Subtotal			208.80
Total			226.2

Elaborado por: El investigador

El invernadero está construido basado en parámetros técnicos.

### 3.11.4 Costos del sistema de riego y soporte para riego NFT

El sistema de riego NFT es característico por usar tuberías de gran tamaño para la recirculación de las soluciones nutritivas, por lo tanto, se adquirió varios productos de sistemas de riego y plomería, a continuación de detalla los costos de los mismos.

**Tabla 39:** Costo de etapa de la construcción del sistema de riego NFT

<b>Sistema de riego y soporte</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Costo Total \$</b>
Tubería de 3 pulgadas PVC	12	4.50	54.00
Tapón hembra ciega de PVC de 3 pulgadas	12	1.40	16.80
Tapón macho ciego de PVC de 3 pulgadas	12	1.60	19.20
Manguera plástica transparente 0.5 pulgadas	15 metros	0.50	7.50
Y PVC reductora de 0.5 pulgadas	1	0.50	0.50
Llave plástica de agua potable de 0.5 pulgadas	1	1	1
Unión PVC de 0.5 pulgadas	3	0.50	1.50
Amarradera plástica de 20 cm		5.50	5.50
Codo de 0.5 pulgadas	4	0.40	1.60
Listones de madera de 5 cm *5 cm y 2.5 m de largo.	13 unidades	58.80	58.80
Listones de madera de 4cm x 2cm	10 unidades	1.00	10.00
		Subtotal	186.8
		Total	209.22

Elaborado por: El investigador

**3.11.5 Costos de dispositivos e implementos electrónicos**

Los costos de los implementos electrónicos se clasifican por separado en relación con la estructura. El costo de sensores, módulos controladores, actuadores y sistemas de protección de cajas contra la humedad se detalla en la Tabla 40.

Tabla 40: Etapa del diseño e implementación de componentes y dispositivos electrónicos.

<b>Costo del diseño y dispositivos electrónicos</b>			
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Costo Total \$</b>
Placa controladora Arduino Due	c/u	25.00	25.00
ESP 32 WROOM	c/u	12.00	12.00
Pantalla HMI táctil 3.5"	c/u	35.00	35.00
Sensor de pH E-201-C/4502C	c/u	50.00	50.00
Sensor de conductividad eléctrica XIN NUO QI	c/u	80.00	80.00
Caja de derivación schneider DX50	c/u	12.50	12.50
Luz led horizontal de 18 W azul	c/u	4.50	9.00
Luz led horizontal de 18 W rojo	c/u	4.50	9.00
Mini bomba RS-360HS	2u	8	16
Placa de 8 relés	c/u	12	12
Ventilador CNC	c/u	35	35
Placa impresa	c/u	20	20
Accesorios	-	-	35
		Subtotal	325.5
		Total	364.56

Elaborado por: El investigador

### 3.11.6 Costo total del proyecto

Para el proyecto se incluye los costos totales de la mano de obra, costo del invernadero, costo del sistema de riego y soporte, costo de los dispositivos electrónicos, donde en cada uno de ellos incluye el IVA. En la Tabla 41 se tiene el costo total del proyecto de investigación.

Tabla 41: Costo total del proyecto

<b>Costo total del proyecto</b>	
Costo de la mano de obra	\$ 448.54
Invernadero hidropónico	\$ 226.2
Sistema de riego y soporte	\$ 209.22
Dispositivos electrónicos	\$ 364.56
<b>Total</b>	<b>\$1248.52</b>

Elaborado por: El investigador

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

Una vez concluido trabajo de investigación, se establecen las siguientes conclusiones.

- Para alcanzar un cultivo exitoso con la utilización del sistema hidropónico es fundamental mantener un estricto control ambiental en el agua, en la temperatura, humedad, conductividad eléctrica, nivel de pH, nivel de intensidad luminosa para desarrollarse de manera óptima, cuyos rangos adecuados para el cultivo de la lechuga cressa se encuentran establecidos en el bosquejo de la información. Además, se estableció el control automático que no sobrepase la temperatura mínima los 18 °C y como temperatura máxima los 30 °C dentro del invernadero.
- Se implementó un microhuerto inteligente aplicado al cultivo hidropónico de lechuga, haciendo uso de los sistemas hidropónicos NFT cuyo funcionamiento integra un tarjeta principal Arduino Due que automatiza el riego con periodos establecidos mediante una bomba sumergible, estos sistemas presentan varios beneficios en los cultivos, en virtud que permite mantener una correcta recirculación de los nutrientes desde el tanque principal hasta las plántulas, asegura la oxigenación de las raíces y permite aprovechar el área para el cultivo a gran escala en un espacio reducido.
- En el presente trabajo se analizó los dispositivos electrónicos a utilizar para la comunicación y adquisición de datos con el fin de mantener en excelente condición el cultivo, por consiguiente se seleccionó el sistema electrónico conocido como Microcontrolador Arduino Due, que permitió la eficiente automatización del sistema de nutrición, así como el control de diferentes actuadores y sensores minuciosamente seleccionados, otro sistema electrónico optado por el investigador fue el dispositivo ESP32 y a través

de la comunicación SPI que ayuda en la recolección de los datos de la tarjeta controladora principal para enviar a la plataforma IoT, Además, se ha automatizado el sistema de nutrición, cuyo rango establecido se encuentra dentro de 750 ppm y máximo a 1500 ppm, de la misma manera se codifico para que el límite de pH no supere el límite de acidez permitido de 5.5.

- Mediante la comunicación Wifi se logró monitorear el cultivo a través de la plataforma IoT que, además nos permite visualizar desde nuestro teléfono móvil con el fin adquirir los datos en cualquier tiempo y lugar mediante el acceso a internet. Adicional, para el monitoreo local se tiene una pantalla HMI Nextion.
- Se diseñó el prototipo de un microhuerto inteligente aplicado al cultivo hidropónico, los dispositivos electrónicos fueron ubicados en la parte interna y externa de tanque como es el caso de sensor de temperatura, humedad y luz, de igual forma se instaló los actuadores como es el caso del ventilador y las lámparas led cuya longitud de onda color rojo a 850 nm y azul 450 nm, se activa cuando la luz natural es insuficiente, dicha energía corresponde a  $88 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

## **4.2 Recomendaciones**

Durante la realización del proyecto y la experimentación con el cultivo se mencionan las siguientes recomendaciones.

- Se recomienda revisar el sistema hidropónico NFT, especialmente los sensores sumergibles, verificando que se mantenga libre de impurezas que pueda afectar la medición y su correcto funcionamiento, siendo de suma importancia realizar un estricto control previo a iniciar un nuevo cultivo, en caso de presentarse las algas en las tuberías del sistema hidropónico eliminarlas con peróxido de hidrógeno.
- Debido a que en los días más calurosos pueda sobrepasar los 30 °C dentro de un invernadero y con el fin de evitar el marchitamiento de las plantas, se recomienda automatizar un sistema de ventilación.

- El sistema hidropónico necesita de un control preciso y simultáneo, por consiguiente, se recomienda utilizar un dispositivo microcontrolador que tenga la capacidad de recolectar la información de varios sensores a la vez.
- Para obtener mejores resultados en días muy nublados se puede incrementar el número de lámparas para intensificar la luminosidad dentro del invernadero, de esta manera acelerar el proceso de desarrollo de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Eco Inventos Green Thenology,» Ecoinvento, [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/niwa-one/>. [Último acceso: 9 Julio 2018].
- [2] B. Siregar, S. Efendi, H. Pranoto, R. Ginting, U. Fahmi, U. Andayani y F. Fahmi, «Remote monitoring system for hydroponic planting media,» *2017 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*, pp. 1-6, 2017.
- [3] L. Cruz Velásquez y D. . A. Amaya Rincón, «Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD: Diseño e Implementación de un Control de PH, Conductividad y Monitoreo del Nivel de Agua para el Cuidado Cultivos Hidropónicos de uso Doméstico,» 22 Agosto 2016. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/3811>. [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [4] C. Rubio Mena, «Universidad Politécnica Salesiana Ecuador Repositorio Digital,» Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14533>. [Último acceso: 9 Julio 2018].
- [5] H. Liu, R. Chen, S. Song, G. Sun y R. Chen, «Effects of light quality on growth and quality of lettuces in hydroponic,» de *2015 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA)*, Shenzhen, 2015.
- [6] G. Carrasco y J. Izquierdo, *La empresa hidróponica de mediana escala la Técnica de la Solución Nutritiva NFT*, Talca: Gutenberg-Talca, 1996.

- [7] Albert, J.; Tucker, R;, «© FAO,» Editorial Advisory Board, [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/U3550t/u3550t04.htm>. [Último acceso: 22 Abril 2018].
- [8] V. Villalobos, M. García y F. Ávila, «Estrategias y lineamiento definidos por el IICA,» de *El agua pura la las américas*, México, bba, 2017, pp. 68-69.
- [9] «MAG:Dirección Provincial Agropecuaria de El Oro,» [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/se-promueve-cultivo-hidroponico-de-frutilla/#search>. [Último acceso: 17 Mayo 2018].
- [10] C. Inga, «Informe Avance Río Cutuchi,» Ministerio de Salud Pública y Ambiente zona 3, Ambato, 2014.
- [11] B. Bruce, «NASA Techical Reports Server,» Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference (SPSCC), Febrero 2004. [En línea]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?print=yes&R=20060026101>. [Último acceso: 12 Abril 2018].
- [12] J. Beltrano y D. Gimenez, «ProQuest Ebook Central,» Editorial de la Universidad Nacional de La Plata;Cultivo en Hidroponía, [En línea]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=4499425>. [Último acceso: 18 Julio 2018].
- [13] Generacion Verde, «Generacion Verde,» 8 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>. [Último acceso: 14 Agosto 2018].

- [14] D. Fernández, «Todo Sobre Cultivo Hidropónico,» Febrero 2009. [En línea]. Available: <http://todohidroponico.com/2009/02/temperatura-ideal-del-agua-en-cultivo-hidroponico.html>. [Último acceso: 26 Julio 2018].
- [15] Lumitos AG., «pH,» [En línea]. Available: <https://www.quimica.es/enciclopedia/PH.html>. [Último acceso: 6 Agosto 2022].
- [16] G. Brajovic, «Hidroponic. Cultiva en Casa,» 22 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.hidroponic.cl/la-importancia-del-ph-en-hidroponia/>. [Último acceso: 7 Agosto 2018].
- [17] Agromática , «El Ph de las plantas,» [En línea]. Available: <https://www.agromatica.es/el-ph-de-las-plantas/>. [Último acceso: 29 Octubre 2018].
- [18] Hydroenvironment S. A., «¿Qué es la electroconductividad?,» [En línea]. Available: [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=35](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=35). [Último acceso: 14 Agosto 2018].
- [19] P. Malanga Stiglich, «Agricultures,» 27 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://agriculturers.com/luces-led-una-alternativa-eficiente-para-optimizar-la-produccion-en-invernaderos/>. [Último acceso: 9 Agosto 2018].
- [20] ACEA S. A., «La radiación fotosintética,» 2019. [En línea]. Available: <https://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/61-los-factores-ambientales-y-su-influencia-en-invernaderos-313-la-radiacion-fotosintetica>. [Último acceso: 19 Noviembre 2020].

- [21] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «Solución nutritiva,» FAO 2020, [En línea]. Available: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/au/p/pdf/hidrosim/6.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/au/p/pdf/hidrosim/6.pdf). [Último acceso: 9 Noviembre 2020].
- [22] Z. Serrano Cermeño, «Generalidades,» de *Construcción de Invernaderos*, México, Ediciones Mundi-Prensa, 2005, p. 41.
- [23] R. A. Buendía Muciño, C. M. Ariel, G. Vega Gutiérrez, R. A. Cruz Ramírez y G. A. Rojas Guerrero, 20 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12925>. [Último acceso: 16 Agosto 2018].
- [24] R. Leira Rodríguez y J. Gómez Suárez, «Electrónica Analógica,» [En línea]. Available: [https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/pluginfile.php/39495/mod\\_resource/content/2/analoga.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/pluginfile.php/39495/mod_resource/content/2/analoga.pdf). [Último acceso: 25 Octubre 2018].
- [25] J. C. Villajulca, «Control On y Off,» 13 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/control-on-off-o-todo-nada/>. [Último acceso: 7 Septiembre 2022].
- [26] K. Åström y T. Hägglund , «Control PID avanzado,» de *Control PID avanzado*, Madrid, Pearson, 2009, pp. 67-880.
- [27] L. Brollo Alpi y J. Vieira Flores, «Desenvolvimento de uma Planta Didática para o,» 2016. [En línea]. Available:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150947/001009640.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 10 Noviembre 2020].

- [28] EUDIM, «Sensores y Trasnductores,» [En línea]. Available: [http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm\\_Ch03\\_mfuentesm.pdf](http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf). [Último acceso: 23 Mayo 2019].
- [29] H. López, «WIFI introducción,» de *Diseño de una zona Wi-Fi como herramienta de apoyo al modelo educativo de la Universidad Autónoma Indígena de México*, México, Red Universidad Autónoma Indígena de México, 2005, pp. 390-393.
- [30] R. Arango, Á. A. Navarro y J. B. P. B, «Sistemas Open Hardware y Open Source Aplicados,» 17 Febrero 2014. [En línea]. Available: [http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/1b18\\_126-133.pdf](http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/1b18_126-133.pdf). [Último acceso: 25 octubre 2018].
- [31] Godigea, «Placas de desarrollo,» [En línea]. Available: <https://www.placasdedesarrollo.com/>. [Último acceso: 7 Septiembre 2022].
- [32] «Arduino Due,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/producto/arduino-due/>. [Último acceso: 13 Oubre 2020].
- [33] Ecured , «Base de datos,» [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Bases\\_de\\_datos](https://www.ecured.cu/Bases_de_datos). [Último acceso: 17 Agosto 2018].
- [34] S.A. Wolters Kluwer, Proyecto Technos: Internet of Things y su impacto en los Recursos Humanos y en el Marco Regulatorio de las Relaciones Laborales, Madrid: Wolters Kluwer España. ProQuest Ebook Central, 2017.

- [35] M. d. R. Sisa Aguagallo, «Evaluación de extractos vegetales como alternativa ecológica para accionar el enraizamiento de estacas de rosa (*Rosa spp.*)», 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26376>. [Último acceso: 10 Enero 2019].
- [36] La Lechuga Copyright © 2019, «Información que necesitas saber sobre la Lechuga,» 2019. [En línea]. Available: <http://lechuga.info/>. [Último acceso: 12 Mayo 2019].
- [37] NOVAGRIC, «Tipos de invernadero,» [En línea]. Available: <http://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>. [Último acceso: 22 Mayo 2019].
- [38] «ciren,» [En línea]. Available: <https://www.ciren.cl/wp-content/uploads/2017/12/Lechuga.pdf>. [Último acceso: 24 Enero 2019].
- [39] J. Gutierrez, «PRODUCCIÓN HIDROPONICA DE LECHUGA CON Y SIN RECIRCULACIÓN DE SOLUCIÓN NUTRITIVA,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.chapingo.mx>. [Último acceso: 22 Mayo 2019].
- [40] Espressif Systems, «Esp 32 Wroom32,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf). [Último acceso: 22 Enero 2021].
- [41] Arduino, «Arduino Nano 33 IoT,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/nano-33-iot?queryID=undefined>. [Último acceso: 22 Enero 2021].

- [42] ITEAD STUDIO, «Nextion Enhanced HMI Basic Displays,» ITEAD STUDIO, [En línea]. Available: <https://nextion.tech/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2020].
- [43] ECURED, «Fotoresistencia,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Fotorresistencia>. [Último acceso: 9 Mayo 2019].
- [44] Naylamp Mechatronics SAC, «Tutorial módulo sensor de luz BH1750,» [En línea]. Available: [https://www.naylampmechatronics.com/blog/44\\_Tutorial-m%C3%B3dulo-sensor-de-luz-BH1750.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/44_Tutorial-m%C3%B3dulo-sensor-de-luz-BH1750.html). [Último acceso: 3 Febrero 2020].
- [45] Naylamp Mechatronics SAC, «Tutorial sensor de temperatura y humedad DHT11 y DHT22,» [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/40\\_Tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-DHT1.html](https://naylampmechatronics.com/blog/40_Tutorial-sensor-de-temperatura-y-humedad-DHT1.html). [Último acceso: 14 Agosto 2018].
- [46] L. d. Valle Hernández, «sensor de temperatura para líquidos con Arduino,» Programar Fácil, [En línea]. Available: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>. [Último acceso: 15 Agosto 2018].
- [47] Directindustry Corporation, «Danfoss Industrial Automtitaton,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/danfoss-industrial-automation/product-40815-1082769.html>. [Último acceso: 10 Abril 2019].
- [48] «Medición de nivel por ultrasonidos,» Endress+Hauser Management AG, [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion->

campo/medicion-nivel/medicion-nivel-ultrasonidos-sin-contacto. [Último acceso: 15 Agosto 2018].

- [49] Banggood All Rights Reserved, «Optical Infrared Water Liquid Level Sensor,» [En línea]. Available: [https://www.banggood.com/15mA-5V-Optical-Infrared-Water-Liquid-Level-Sensor-Control-Switch-Favorable-Level-Sensors-p-1182716.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/15mA-5V-Optical-Infrared-Water-Liquid-Level-Sensor-Control-Switch-Favorable-Level-Sensors-p-1182716.html?cur_warehouse=CN). [Último acceso: 29 Abril 2019].
- [50] HeTpro, [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/sensor-de-conductividad-electrica/>. [Último acceso: 14 Agosto 2018].
- [51] Atlas Scientific LLC, «IXIAN-EC Conductivity Transmitter,» [En línea]. Available: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_industrial/EC\\_transmitter.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_industrial/EC_transmitter.pdf). [Último acceso: 12 Mayo 2019].
- [52] Brico Geek, «Sensor analógico de pH,» e-pulse.org, [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/home/581-sensor-analogico-de-ph.html>. [Último acceso: 15 Agosto 2018].
- [53] Sonlight Lamps, «Sonlight HPS-TS 400W,» W3C, [En línea]. Available: <http://www.sonlight.biz/>. [Último acceso: 3 Febrero 2020].
- [54] Cika, «Typical Motor Performance,» [En línea]. Available: <https://www.cika.com/soporte/Information/Varios/Motores/MABUCHI.pdf>. [Último acceso: 29 Noviembre 2020].
- [55] Shopee Hak Cipta Dilindungi, «AD20P-1230B DC 12V Brushless Water Pump,» [En línea]. Available: <https://shopee.co.id/AD20P-1230B-DC-12V->

Brushless-Water-Pump-Waterproof-Submersible-Cooling-  
i.15677110.2071464317. [Último acceso: 29 Noviembre 2020].

- [56] Sodeca Latam, S.A.S, «Ventas: Sodeca Latam, S.A.S.,» [En línea]. Available: [https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE11\\_HCD\\_60HZ\\_2017ES.pdf](https://www.sodeca.com/repository/documentos/ES/SE11_HCD_60HZ_2017ES.pdf). [Último acceso: 30 Noviembre 2020].
- [57] Electronilab, «Electrovalvula Selenoide Agua 12 VDC – 1/2" N/C,» [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/electrovalvula-valvula-selenoide-agua-12v-dc-12/>. [Último acceso: 6 Abril 2019].
- [58] AIRTAG International Group, «Solenoid valve 4V300 Series,» [En línea]. Available: <http://as-en.airtac.com/upload/201404280243155316.PDF>. [Último acceso: 6 Abril 2019].
- [63] «LEY ORGANICA DE AGROBIODIVERSIDAD, SEMILLAS Y,» 18 Junio 2017. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Juan/Downloads/LOASFAS.pdf>. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [64] J. C. Ortega Ortiz, «Bibliotecadigital Universidad San Buenaventura,» 2014. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10819/2964>. [Último acceso: 9 Julio 2018].
- [65] [En línea]. Available: [http://hidroponianeptuno.com.ar/PDF/Manual\\_Soln\\_Nutritivas-Coahuila-Mexico.pdf](http://hidroponianeptuno.com.ar/PDF/Manual_Soln_Nutritivas-Coahuila-Mexico.pdf).

- [66] PROGRAMAR FÁCIL , «DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino,» [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>. [Último acceso: 9 Mayo 2019].
- [67] Ministerio de Agricultura y Ganaderia; INEC; SICA, «III CENSO NACIONAL AGOPECUARIO,» MAG, Quito, 2012.

## **ANEXOS**

## 1. Anexo A: Descripción de los equipos empleados en el proyecto

### a) Arduino Due



#### Arduino Due

Arduino Due es el nuevo microcontrolador en Arduino. Es la primera placa basada en un procesador central ARM de 32 bits, el Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 MCU, que mejora todas las funcionalidades estándar de Arduino y agregar más características nuevas.

Ofrece 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 12 se pueden usar como PWM salidas, con resolución seleccionable), 12 entradas analógicas con 12 bits de resolución, 4 UART (puertos serie de hardware) y dos salidas DAC (convertidor de digital a analógico), oscilador de cristal de 84 MHz, dos USB conexiones, un conector de alimentación, ICSP, JTAG y un reinicio botón. El voltaje máximo que los pines de E / S pueden proporcionar o tolerar es 3.3V. Proporcionar voltajes más altos, como 5 V a un pin de entrada, podría dañar la placa.



Due tiene dos conectores USB, el que tiene el micro-usb AB conector es el nativo capaz de actuar como un host USB, eso significa puede conectar periféricos USB externos compatibles a la placa, como como mouse, teclados, teléfonos inteligentes. Mientras que el otro puerto USB con El conector tipo B está diseñado para fines de depuración.

#### Especificaciones Técnicas

Voltaje de funcionamiento	3,3 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
Pines de E / S digitales	54 (de los cuales 12 proporcionan PWM salida)
Pines de entrada analógica	12
Pines de salidas analógicas	2 (DAC)
Corriente de salida CC Líneas de E / S	130 mA
Corriente CC para pin de	3,3 V 800 mA
Corriente CC para pin de	5 V 800 mA
SRAM	96 KB (64 + 32 KB)
Velocidad de reloj	84 MHz

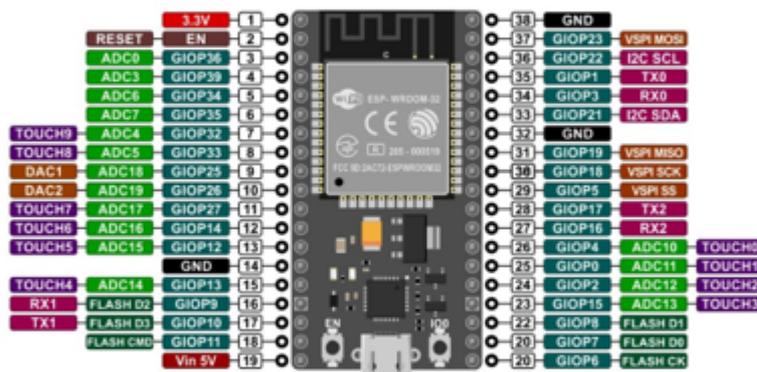
**b) ESP-Wroom-32**

## ESP32-WROOM-32 Datasheet

ESP32-WROOM-32 es un módulo de MCU Wi-Fi + BT + BLE genérico y potente que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones, que van desde redes de sensores de baja potencia hasta las tareas más exigentes, como codificación de voz, transmisión de música y decodificación MP3.

En el núcleo de este módulo se encuentra el chip ESP32-D0WDQ6 \*. El chip integrado está diseñado para ser escalable y adaptado. Hay dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente y la frecuencia de reloj de la CPU es ajustable de 80 MHz a 240 MHz. El chip también tiene un coprocesador de bajo consumo que se puede utilizar en lugar de la CPU para Ahorre energía mientras realiza tareas que no requieren mucha potencia informática, como la supervisión de periféricos. ESP32 integra un rico conjunto de periféricos, que van desde sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, SD

interfaz de tarjeta, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I<sup>2</sup>S e I<sup>2</sup>C.



### Características

Procesador: Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 400 MIPS

Arduino: Compatible instalando el plugin

Velocidad de reloj ajustable: Entre 160 Mhz y 240 Mhz

RAM: 520 Kb

Pines GPIO: hasta 32

hasta 16 x Analog-to-Digital Converter (ADC) de 12 bits de resolución y se pueden programar con límite de entrada a 1V, 2 V y 4V

2 x Digital to Analog converter DAC de 8 bits.

hasta 16 canales de PWM

3 x UART, 2 x I2C, 4 x SPI channels

Wifi integrado: Acces point & Station

Bluetooth 4.2 2.4 Ghz; BT 2.0 y 4.0 BLE

**2.Anexo B:** En este apartado se hace referencia a los datos técnicos de los sensores utilizados en el proyecto

a) Sensor de pH

### PH Sensor E-201-C

**The pH sensor Module** consist of PH sensor also called as PH probe and a Signal Conditioning Board which gives an output which is proportional to the PH Value and can be interfaced directly to any Micro-controller.

The pH sensor components are usually combined into one device called a combination pH electrode. The measuring electrode is usually glass and quite fragile. Recent developments have replaced the glass with more durable solid-state sensors. The preamplifier is a signal-conditioning device. It takes the high-impedance pH electrode signal and changes it into a low impedance signal which the analyzer or transmitter can accept. The preamplifier also strengthens and stabilizes the signal, making it less susceptible to electrical noise.

pH and ORP probes are both used for measuring the acidic intensity of liquid solutions. A pH probe measures acidity on a scale from 0 to 14, with 0 being the most acidic and 14 being the most basic. Similarly, an Oxidation-Reduction Potential (ORP) probe returns a voltage proportional to the tendency of the solution to gain or lose electrons from other substances (which is linked directly to the pH a substance).



TO: Salida Analogica de Temperatura  
DO: Salida Digital de PH Limite (3.3V)  
PO: Salida Analogica de PH(V)

GND: Masa del Circuito Analógico  
GND: Masa de Alimentación  
VCC: 5V

POT 1: Lectura analógica(offset)  
POT 2: Limite de medicion PH

Conector a BNC

pH Value	Output
4	3.071
7	2.535
10	2.066

**Applications:**

- Can be used as different tester, pH meter or controller
- Suitable for most aquariums, hydroponics, laboratory etc

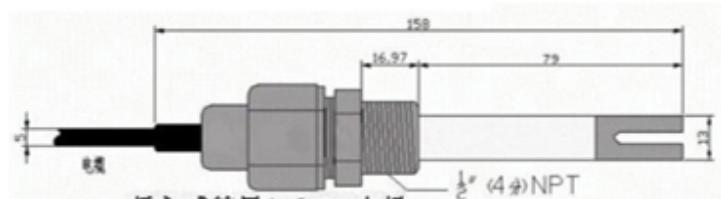
**General Specifications:**

**Input supply voltage:** 5V  
**Working current:** 5 – 10mA  
**Detection concentration range:** PH 0 – 14  
**Detection range of temperature:** 0 – 80 degC  
**Response Time::** ≤ 5S  
**Stability Time:** ≤ 60S  
**Output:** Analog  
**Power Consumption:** ≤ 0.5W  
**Working Temperature:** -10 to +50 deg C  
**Working Humidity:** 95%RH (nominal humidity 65%RH)  
**Weight:** 25g  
**PCB Dimension:** 42mm x 32mm x 20mm

b) Sensor de conductividad eléctrica EC-TDS modelo XIN NUO QI

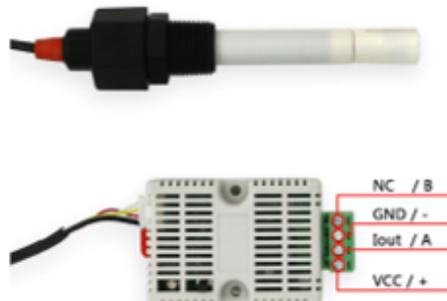
**EC-TDS modelo XIN NUO Q**

El sensor XIN NUO QI tiene compensación automática de temperatura para la calibración y posee una alarma del nivel de calidad del electrodo que configurable sus datos de calibración se quedan guardado, además tiene una protección frente a una sobre corriente y de larga vida útil. La corriente de salida tiene un rango de 4 mA a 20 mA cuando sea 4 mA la cantidad de ppm será igual a un valor de 0 ppm, mientras la corriente de salida sea 20mA la cantidad de ppm será igual a un valor de 2000 ppm.



**Para la calibración se debe guiar mediante los siguientes pasos:**

1. El electrodo se introduce en agua destilada sin CO2 y limpiarlo con un paño suave.
2. Se conecta correctamente el electrodo y el módulo.
3. Se mantiene presionado el botón de calibración hasta que se encienda el led y se torne de amarillo.
4. Posteriormente se presiona dos veces el botón de calibración de manera rápida y el led comenzará a titilar en color rojo por 30 segundos, después el led se quedará encendido en color rojo.
5. Cuando está en color rojo el led significa que se puede introducir en una solución para la calibración con estándar de conductividad de  $1.413 \mu\text{S}/\text{cm}$ , después se presiona el botón de calibración.
6. La luz de calibración se pone de color verde y parpadea por 30 segundos, se mantiene encendido por 20 segundos más de forma constante y finalmente se cambia de color el led a amarillo parpadeando por 20 segundos lo cual indica que los datos se han guardado correctamente y el sensor esta calibrado.







## SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DHT22

### Principio de funcionamiento

Definiciones de los pines.

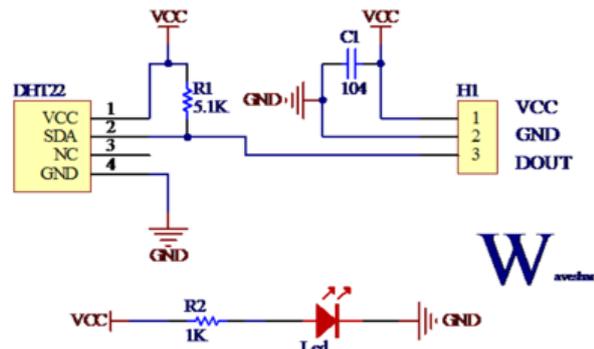
Alfiler	Símbolo	Descripciones
1	VCC	Fuente de alimentación (3.3V-5.5V)
2	GND	Tierra
3	DOUT	Salida de datos, conectada al pin SDA de AM2302.

El AM2302 utiliza la tecnología simplificada de bus único para la comunicación, en la que solo se aplica una línea de datos para el intercambio de datos y el control de datos en el sistema.

La definición de formato de señal y datos AM2302 se lista a continuación.

Nombre	Formato de señal y datos de bus único.
Señal de inicio	El microprocesador ajusta el SDA a BAJO durante un período de tiempo (al menos 800µs) [1] para informar al sensor para preparar los datos.
Señal de respuesta	El sensor establece el SDA en BAJO para 80µs, y luego en ALTO durante 80µs, para responder a la señal de inicio.
Formato de datos	Después de recibir la señal de inicio, el sensor lee una serie de datos (40 bits) a través de SDA, primero el bit alto.
Humedad	La resolución de humedad es de 16 bits, primero el bit de salida alto; El valor leído por el sensor es 10 veces más alto que la humedad real.
Temperatura.	La resolución de la temperatura es de 16 bits, primero el bit alto; El valor leído por el sensor es 10 veces más alto que la temperatura real. Cuando el MSB (Bit15) es "1", indica una temperatura negativa; Cuando el MSB (Bit15) es "0", indica una temperatura positiva; Los otros bits (Bit14 ~ bit 0) indican el valor de temperatura detectado.
Bit de paridad	Bit de paridad = humedad alta + humedad baja + temperatura alta + temperatura baja

### Temperatrue-Humidity Sensor (B)



4. **Anexo D:** En este apartado se menciona las etapas de construcción de la estructura del invernadero para el cultivo de la lechuga crespa.

### **Estructura del invernadero**



**Figura D1:** Doblado de tubos galvanizado para soporte de cubierta.  
Elaborado por: el investigador



**Figura D3:** Instalación de la cubierta del invernadero  
Elaborado por: el investigador



**Figura D2:** Ubicación e instalación de la estructura del invernadero hidropónico.  
Elaborado por: el investigador



**Figura D4:** Trasplante del sistema hidropónico  
Elaborado por: el investigador



**Figura D5.** Construcción de soporte de madera para tubería PVC del sistema NFT con un ángulo de inclinación de 76 grados.

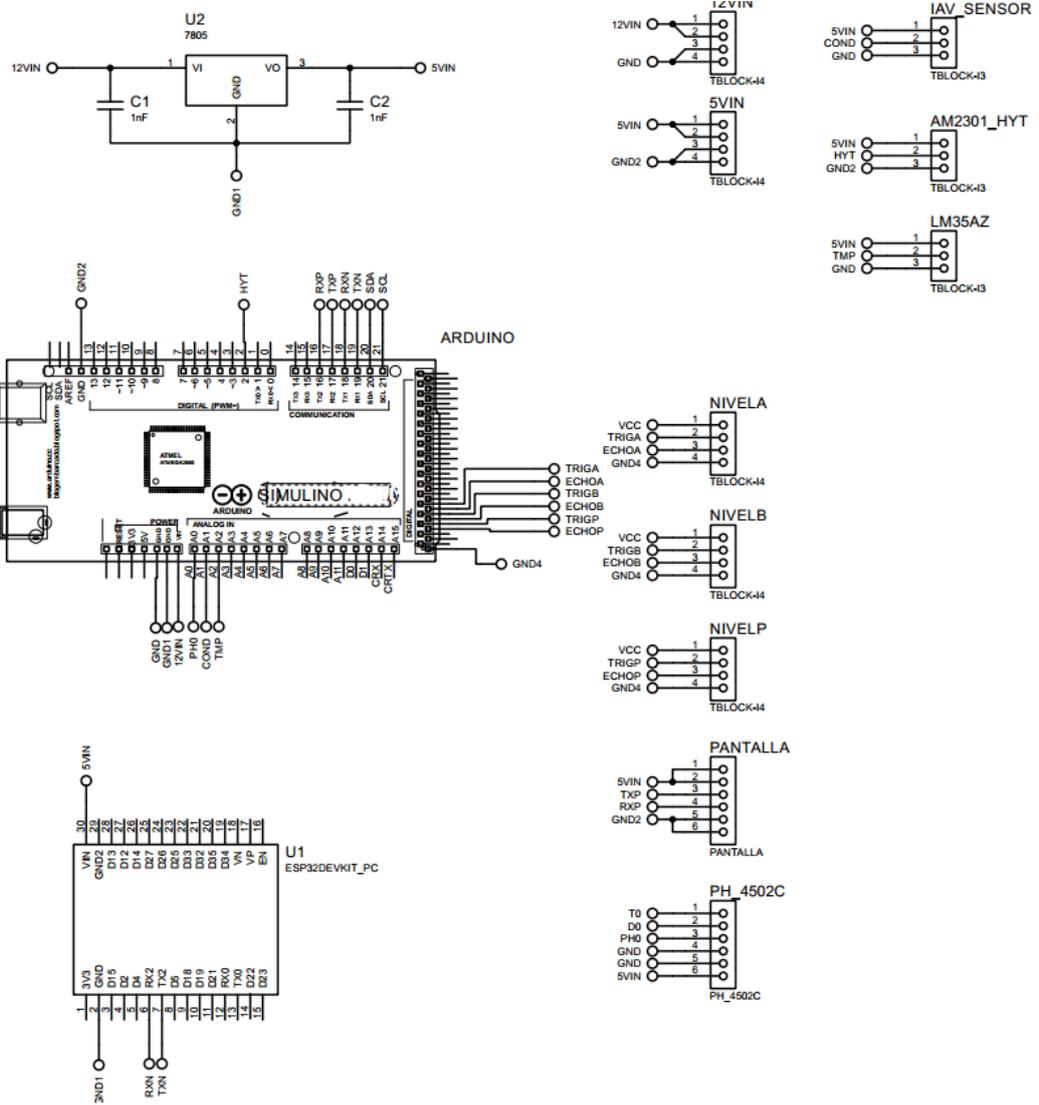


**Figura D6.** Instalación de tuberías PVC de 3 pulgadas y ½ pulgada sobre el soporte de madera.



**Figura D8.** Instalación de luminario Led para el cultivo hidropónico

5. **Anexo F.** En este apartado se indica el diagrama electrónico de PCB para las interconexiones de la placa PCB, con los sensores y actuadores.



**6. Anexo G.** En este apartado se incluye los códigos de programación utilizados para el sistema hidropónico.

a) Código de programación de la placa Arduino Due en lenguaje C++, para el sistema de control y monitoreo del cultivo hidropónico.

```
/Librerias y Definicion de variables
#include <AutoPID.h>

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT21 // Es igual al AM2301
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#include <Wire.h> //Sensor de LUZ BH1750
#include <math.h>
int BH1750address = 0x23; //dirección de trabajo de sensor de luz
byte buff[2];

//Variables globales
const float resolucion_ADC = 1024.0; //resolución depende de la tarjeta.
DUE acepta hasta 12 bits de ADC

bool manual = 0; //control manual cuando esta en 1

const int tamTP = 37; //tamaño del tanque de mezcla principal en CM
const int tamTM1 = 10; //tamaño del tanque de mezcla 1 en CM
const int tamTM2 = 10; //tamaño del tanque de mezcla 2 en CM

const int led = 13;

const int venti = 22; //pin VENTILADOR
const int bomTP = 24; //pin BOMBA bomTP
const int lampara = 26; //pin LUMINARIA
const int valTP = 30; //pin ELECTROVALVULA valTP
const int bomTM1 = 32; //pin BOMBA A bomTM1
const int bomTM2 = 34; //pin BOMBA B bomTM2

int recirculacion = 0;

//variables PH
const int sensorpH = A0;
const int muestras = 10;

//variables Conductividad
const int sensorCd = A1;

//variables temperatura con LM35Z
const int sensorTM = A2;
```

```

/*****Variables para sintonizar PIDs*****/
//TEMPERATURA
#define KP_T 1
#define KI_T 0
#define KD_T 0
#define OUTPUT_MIN_T 0 //salida mínima esperada
#define OUTPUT_MAX_T 1 //salida máxima esperada

//HUMEDAD
#define KP_H .12
#define KI_H .0003
#define KD_H 0
#define OUTPUT_MIN_H 0 //salida mínima esperada
#define OUTPUT_MAX_H 1 //salida maxima esperada

//ILUMINACION
#define KP_I .12
#define KI_I .0003
#define KD_I 0
#define OUTPUT_MIN_I 0 //salida minima esperada
#define OUTPUT_MAX_I 1 //salida maxima esperada

//PH
#define KP_P .12
#define KI_P .0003
#define KD_P 0
#define OUTPUT_MIN_P 0 //salida minima esperada
#define OUTPUT_MAX_P 1 //salida maxima esperada

//CONDUCTIVIDAD
#define KP_C .12
#define KI_C .0003
#define KD_C 0
#define OUTPUT_MIN_C 0 //salida minima esperada
#define OUTPUT_MAX_C 1 //salida maxima esperada

//Variables Iniciales a controlar
double temperatura = 0.0;
double humedad = 0.0;
double iluminacion = 0.0;
double ph_lectura = 0.0;
double conductividad = 0.0;

//SET POINT para sistema de control
double temIdeal = 20.0; //grados centigrados
double humIdeal = 70.0; //porcentaje

```

```

double iluIdeal = 1200.0; //luxes
double ph_Ideal = 6.5; //ph
double conIdeal = 1000.0; //ppm

int randoPh;
int randonCo;

//variables controladas por PID
double temCont = 0.0;
double humCont = 0.0;
double iluCont = 0.0;
double ph_Cont = 0.0;
double conCont = 0.0;

//objeto definido PID las varriables se actualizan automaticamente
//          ( VAR IN          SETPOINT  VAR OUT          VAL MIN          VAL
MAX      KP,  KI,  KD )
AutoPID temPID(&temperatura, &temIdeal, &temCont, OUTPUT_MIN_T,
OUTPUT_MAX_T, KP_T, KI_T, KD_T);
AutoPID humPID(&humedad, &humIdeal, &humCont, OUTPUT_MIN_H,
OUTPUT_MAX_H, KP_H, KI_H, KD_H);
AutoPID iluPID(&iluminacion, &iluIdeal, &iluCont, OUTPUT_MIN_I,
OUTPUT_MAX_I, KP_I, KI_I, KD_I);
AutoPID ph_PID(&ph_lectura, &ph_Ideal, &ph_Cont, OUTPUT_MIN_P,
OUTPUT_MAX_P, KP_P, KI_P, KD_P);
AutoPID conPID(&conductividad,&conIdeal, &conCont, OUTPUT_MIN_C,
OUTPUT_MAX_C, KP_C, KI_C, KD_C);

//variables Seriales
int contadorFF = 0;
int cola = 255;
String inputString = ""; // variable de almacenamiento de cadena
entrante
bool stringComplete = false; // bandera para verificar si una cadena
ha llegado completa

//variables Ultrasonicos
const int triggerA = 46;
const int echoA = 47;

const int triggerB = 48;
const int echoB = 49;

const int triggerP = 50;
const int echoP = 51;

```

```

//variables para IOT THINGER
String txdata = "";
String rxdata = "";

//variables de tiempo para actuadores temporizados
String horaON = "18:00";
String horaOFF = "06:00";

//variables auxiliares
const boolean imprimirValores = 0;

void setup()
{
    //Establecemos la semilla en un pin analogico
    randomSeed(analogRead(A6));
    //configuraciones Seriales
    Serial2.begin(9600); //pantalla NEXION
    Serial1.begin(9600); //comunicaion ESP32
    Serial.begin(9600); //terminal serial local
    inputString.reserve(200);

    //Inicio de comunicacion I2C para sensor de LUZ
    Wire.begin();

    //configuracion PID
    //si existe una diferencia de 4 unidades por arriba o abajo entre la
    variable y el set point se auto configura el valor max o min
    temPID.setBangBang(4);
    humPID.setBangBang(4);
    iluPID.setBangBang(4);
    ph_PID.setBangBang(4);
    conPID.setBangBang(4);

    //Intervalo de actualizacion del PID 4000ms
    temPID.setTimeStep(4000);
    humPID.setTimeStep(4000);
    iluPID.setTimeStep(4000);
    ph_PID.setTimeStep(4000);
    conPID.setTimeStep(4000);

    //configuraciones ultrasonicos
    pinMode(triggerA, OUTPUT);
    pinMode(triggerB, OUTPUT);
    pinMode(triggerP, OUTPUT);
    pinMode(echoA, INPUT);
    pinMode(echoB, INPUT);
    pinMode(echoP, INPUT);

```

```

digitalWrite(triggerA, LOW);
digitalWrite(triggerB, LOW);
digitalWrite(triggerP, LOW);

//configuraciones actuadores
pinMode(venti, OUTPUT);
pinMode(bomTP, OUTPUT);
pinMode(lampara, OUTPUT);
pinMode(valTP, OUTPUT);
pinMode(bomTM1, OUTPUT);
pinMode(bomTM2, OUTPUT);

pinMode(led, OUTPUT);

digitalWrite(venti, LOW);
digitalWrite(bomTP, LOW);
digitalWrite(lampara, LOW);
digitalWrite(valTP, LOW);
digitalWrite(bomTM1, LOW);
digitalWrite(bomTM2, LOW);

//Inicio sensor humedad y temperatura
dht.begin();
}

void loop()
{
    //Corrige las variables de los PID de las variables
    tempPID.run(); //invoca el control cada N minutos en "setTimeStep"
    humPID.run();
    iluPID.run();
    ph_PID.run();
    conPID.run();

    //lectura de variables
    nivelA();
    nivelB();
    nivelP();
    medirPH();
    medirCd();
    medirHyT();
    medirTemp();
    medirIlu();

    //enviar a AITHINGER

```



```

long dp;

digitalWrite(triggerP, HIGH);
delayMicroseconds(10);           //Enviamos un pulso de 10us
digitalWrite(triggerP, LOW);

tp=pulseIn(echoP, HIGH);
dp=tp/59;

int aux = tamTP - dp; //Nivel del tanque(cm) = (tamaño del tanque -
distancia obtenida)
long porcentajeP = map(aux, 0, tamTP, 0, 100);
if(imprimirValores)
{
  Serial.print("DistanciaP >> "); Serial.print(dp); Serial.print(" ");
}

mostrarPorcentaje("t4",porcentajeP);

//controlar llenado de tanque por si la mezcla se evapora o sufre
perdidas superiores al 10%
if(porcentajeP < 90)
{
  digitalWrite(valTP, HIGH);
}
else
{
  digitalWrite(valTP, LOW);
}
}

/*****
*      MEDIR NIVEL DEL CILINDRO (tanque de solución A y B)
*      d = 10.1 cm
*      |-----|
*      |.....| <- nivel de solución en cm (Y)
*      h= 10cm|
*      |
*      |
*      |-----|
* volumen = pi*(r)^2*h = 798.22cm3
* => conversión de cm a cm3
* X(cm3) = Y(cm) * volumen / h
* -Ejemplo con Y = 1cm
* X = 1 * 798.22 / 10 = 79.83 cm3
*****/

```

```

//mezcla A
void nivelA()
{
    long ta;
    long da;

    digitalWrite(triggerA, HIGH);
    delayMicroseconds(10);           //Enviamos un pulso de 10us
    digitalWrite(triggerA, LOW);

    ta=pulseIn(echoA, HIGH);
    da=ta/59;

    int aux = tamTM1 - da; //Nivel del tanque(cm) = (tamaño del tanque -
    distancia obtenida)
    long porcentaje = map(aux, 0, tamTM1, 0, 100);

    if(imprimirValores)
    {
        Serial.print("DistanciaA >> "); Serial.print(da); Serial.print(" ");
    }

    mostrarPorcentaje("t5",porcentaje);
}

//mezcla B
void nivelB()
{
    long tb;
    long db;

    digitalWrite(triggerB, HIGH);
    delayMicroseconds(10);           //Enviamos un pulso de 10us
    digitalWrite(triggerB, LOW);

    tb=pulseIn(echoB, HIGH);
    db=tb/59;

    int aux = tamTM2 - db; //Nivel del tanque(cm) = (tamaño del tanque -
    distancia obtenida)
    long porcentaje = map(aux, 0, tamTM2, 0, 100);

    if(imprimirValores)
    {
        Serial.print("DistanciaB >> "); Serial.print(db); Serial.print(" ");
    }
}

```

```

    mostrarPorcentaje("t6",porcentaje);
}

/*****/
void medirPH()
{
    int medidas=0;
    for (int i = 0; i < muestras; i++)
    {
        medidas += analogRead(sensorpH);
        delay(10);
    }
    float voltaje = 5 / resolucion_ADC * medidas/muestras;
    ph_lectura = ph(voltaje);
    randoPh=random(5,6);
    ph_lectura=randoPh;

    if(imprimirValores)
    {
        Serial.print("pH= ");    Serial.print(ph_lectura); Serial.print(" ");
    }

    mostrarValor("t0", ph_lectura);
}

//metodo de calculo de ph (retorna el valor)
float ph(float volt)
{
    return 7 + ((2.5 - volt) / 0.18);
}

/*****/
void medirCd()
{
    int adc = analogRead(sensorCd); // adquiero los valores del sensor
    float voltaje = adc * 5.0 / resolucion_ADC; // convierto valor ADC a
    voltaje
    randonCo=random(2,3);
    voltaje=randonCo;

    //Haciendo referencia al datasheet del dispositivo TDS - la salida del
    electrodo
    //corresponde a valores
    //0 - 2000 [ppm] ==> 0 - 5 [V]
    conductividad = map(voltaje , 0 , 2000, 0, 5); //mapeo el valor
    adquirido a valores de conductividad
}

```

```

//conductividad =randonCo;

if(imprimirValores)
{
  Serial.print("Conductividad= "); Serial.print(conductividad);
  Serial.print(" ");
}

mostrarValor("t1", conductividad); // corregir la posicion del texto
}

/*****MEDIR HUM Y
TEMP*****/
void medirHyT()
{
  humedad = dht.readHumidity();
  temperatura = dht.readTemperature();
  //verifica si los valores adquiridos no son nulos por fallos en la
  comunicacion
  if (isnan(temperatura) || isnan(humedad))
  {
    Serial.println("ERROR EN SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD");
  }
  else
  {
    if(imprimirValores)
    {
      Serial.print("Humedad: "); Serial.print(humedad); Serial.print("%
"); Serial.print("Temperatura: "); Serial.print(temperatura);
      Serial.print(" *C ");
    }
    mostrarValor("t2", humedad);
    mostrarValor("t7", temperatura);
  }
}

void medirTemp()
{
  float tempC = analogRead(sensorTM);
  int i = 0;

  for(i=0;i<10;i++) //tomamos 10 mediciones para evitar errores

```

```

    tempC = tempC + (5.0 * tempC * 100.0) / 1024.0; // Calculamos la
temperatura con la fórmula

tempC = tempC / 10; //obtenemos promedio de las mediciones

if(imprimirValores)
{
    Serial.print("Temperatura Agua: ");
    long ramtempC;
    ramtempC=random(10,12);
    tempC=ramtempC;
    Serial.print(tempC); Serial.print(" *C ");
}
mostrarValor("t3", tempC);
}

/*****SENSOR DE LUZ*****/
void medirIlu()
{
    int i;
    uint16_t val=0;
    BH1750_Init(BH1750address);
    delay(200);

    if(2==BH1750_Read(BH1750address)) //respuesta exitosa del sensor
    {
        iluminacion=((buff[0]<<8)|buff[1])/1.2;

        if(imprimirValores)
        {
            Serial.print("LUZ >> ");Serial.print(iluminacion); Serial.print("
");
        }

        mostrarValor("t8", iluminacion);
    }
}

int BH1750_Read(int address)
{
    int i=0;
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.requestFrom(address, 2);
    while(Wire.available())
    {
        buff[i] = Wire.read(); // receive one byte
        i++;
    }
}

```

```

    }
    Wire.endTransmission();
    return i;
}

void BH1750_Init(int address)
{
    Wire.beginTransmission(address);
    Wire.write(0x10); //1lx resolution 120ms
    Wire.endTransmission();
}

/*****VERIFICAR
HORA*****/
void hora(String date)
{
    String alarma = date.substring(date.length()-10,date.length()-5);

    /*****/
    String cadaux = date.substring(date.length()-7,date.length()-5);
    int minuto = cadaux.toFloat();

    if(minuto % 5 == 0) //verificar si los minutos son multiplos de 5
    {
        recirculacion = 1;
        digitalWrite(led, recirculacion);
    }
    else
    {
        recirculacion = 0;
        digitalWrite(led, recirculacion);
    }
    /*****/

    if(imprimirValores)
    {
        Serial.print("LA ALARMA DEBERIA COINCIDIR CON ESTO >>
"); Serial.print(alarma); Serial.print(" ");
    }

    if(alarma == horaON)
    {
        //encender actuador
        digitalWrite(lampara, HIGH);
    }
    else if(alarma == horaOFF)
    {

```

```

    //apagar actuador
    digitalWrite(lampara, LOW);
}
}

/*****CONTROLAR
ACTUADORES*****/

/*
AutoPID tempPID(&temperatura, &temIdeal, &temCont, OUTPUT_MIN_T,
OUTPUT_MAX_T, KP_T, KI_T, KD_T);
AutoPID humPID(&humedad, &humIdeal, &humCont, OUTPUT_MIN_H,
OUTPUT_MAX_H, KP_H, KI_H, KD_H);
AutoPID iluPID(&iluminacion, &iluIdeal, &iluCont, OUTPUT_MIN_I,
OUTPUT_MAX_I, KP_I, KI_I, KD_I);
AutoPID ph_PID(&ph_lectura, &ph_Ideal, &ph_Cont, OUTPUT_MIN_P,
OUTPUT_MAX_P, KP_P, KI_P, KD_P);
AutoPID conPID(&conductividad,&conIdeal, &conCont, OUTPUT_MIN_C,
OUTPUT_MAX_C, KP_C, KI_C, KD_C);
*/
void controlar()
{
    //iluminacion
    digitalWrite(lampara, iluCont); //contrala la luminaria en funcion a la
señal de salida del PID de iluminacion ON/OFF
    //temperatura
    if(temperatura > 20.0)
    {
        digitalWrite(venti, HIGH); //contrala la ventilacion en funcion a la
señal de salida del PID de temperatura ON/OFF
    }
    else
    {
        digitalWrite(venti, LOW);
    }
    //PH
    if(ph_Cont == 1)
    {
        if(ph_lectura > 7.5 && conductividad <1000) //si el PH mayor que 7.5
falta soluciones
        {
            digitalWrite(bomTM1, ph_Cont); //contrala en funcion a la señal de
salida del PID de PH ON/OFF
            digitalWrite(bomTM2, ph_Cont); //contrala en funcion a la señal de
salida del PID de PH ON/OFF
        }
        else if(ph_lectura < 5.5 ) // detener el envio de soluciones

```

```

    {
        digitalWrite(bomTM1, LOW);
        digitalWrite(bomTM2, LOW);
    }
    else // rango normal no es necesario
    {
        digitalWrite(bomTM1, LOW);
        digitalWrite(bomTM2, LOW);
    }
}

//Control de recirculacion de tanque de hidratacion principal (SE
CONTROLA EN METODO ALARMA CON EL RELOJ)
digitalWrite(bomTP, recirculacion);
}

void detener()
{
    digitalWrite(venti, LOW);
    digitalWrite(bomTP, LOW);
    digitalWrite(lampara, LOW);
    digitalWrite(valTP, LOW);
    digitalWrite(bomTM1, LOW);
    digitalWrite(bomTM2, LOW);
    delay(5000);
}

void control(String comando)
{
    int dato = comando.toInt();
    switch (dato)
    {
        case 1:
            Serial.println("CONTROLANDO VENTILACION");
            digitalWrite(venti, ~digitalRead(venti));
            break;
        case 2:
            Serial.println("CONTROLANDO BOMBA PRINCIPAL");
            digitalWrite(bomTP, ~digitalRead(bomTP));
            break;
        case 3:
            Serial.println("CONTROLANDO LAMPARA");
            digitalWrite(lampara, ~digitalRead(lampara));
            break;
        case 4:
            Serial.println("CONTROLANDO VALVULA PRINCIPAL");
            digitalWrite(valTP, ~digitalRead(valTP));

```

```

        break;
    case 5:
        Serial.println("CONTROLANDO BOMBA 1");
        digitalWrite(bomTM1, ~digitalRead(bomTM1));
        break;
    case 6:
        Serial.println("CONTROLANDO BOMBA 2");
        digitalWrite(bomTM2, ~digitalRead(bomTM2));
        break;
    case 7:
        Serial.println("CAMBIANDO DE MODO");
        manual = !manual;
        break;
    default:
        Serial.println();
        break;
}
}

```

## b) Código de programación para conexión Arduino Due y Esp 32

```

void transmitir(String datos)
{
    Serial1.println(datos);
}

void serialEvent1()
{
    inputString = "";
    while(Serial1.available())
    {
        char inChar = (char)Serial1.read();
        inputString += inChar;
        if (inChar == '\n')
        {
            stringComplete = true;

            if(imprimirValores)
            {
                Serial.print("La fecha es: "); Serial.print(inputString);
                Serial.print(" ");
            }

            hora(inputString);
            mostrarCadena("t9", inputString);
            Serial1.flush();
            break;
        }
    }
}

```

}  
}