



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE NUTRIENTES**

**PARA UN CULTIVO HIDRÓPÓNICO DE FRESAS”**

**AUTORA: JOSELIN ESTHEFANNY SALAS PRADO**

**DIRECTOR: CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI**

**Agosto - 2021**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA AUTORIZACION DE USO Y PUBLICACIÓN A**  
**FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

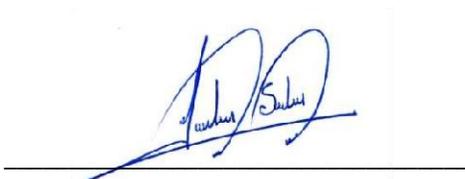
En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el *Repositorio Digital Institucional*, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DEL AUTOR</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>		0401632658	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>		Joselin Esthefanny Salas Prado	
<b>DIRECCIÓN</b>		Ibarra – El Olivo	
<b>E-MAIL</b>		jesalasp@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO</b>	(06)2961017	<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0962726591
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO</b>		“Sistema Automático de Dosificación de Nutrientes para un Cultivo Hidropónico de Fresas”	
<b>FECHA</b>		07 de agosto del 2021	
<b>PROGRAMA</b>		PREGRADO	
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>		Ingeniera en Mecatrónica	
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>		PhD. Carlos Xavier Rosero Chandi	

## 2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la ha desarrollado sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original, y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días del mes de agosto de 2021



**Joselin Esthefanny Salas Prado**

C.I. 0401632658



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CERTIFICADO**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de grado “SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE NUTRIENTES PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE FRESAS”, presentado por la egresada JOSELIN ESTHEFANNY SALAS PRADO, para optar por el título de Ingeniera en Mecatrónica.

Ibarra, 07 de agosto del 2021.



Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS XAVIER  
ROSERO CHANDI**

---

**Carlos Xavier Rosero Chandi**

**DIRECTOR DE TESIS**

# Agradecimiento

“El Señor mismo marchará al frente de ti y estará contigo; nunca te dejará ni te abandonará.

No temas ni te desanimes”~Deuteronomio 31:8.

Dios, familia, amor, amistades y verdaderas fuentes de energía que año a año me motivaron a continuar. ¡Lo hicimos! Gracias por estar, por ser, por quedarse y gracias por vivir este sueño conmigo.

Jackyta, eres la mejor madre y amiga del mundo. No me alcanzará la vida ni las palabras para agradecerte y recompensar todo tu sacrificio, esfuerzo y el amor incondicional que nos has brindado.

A mis hermanos Darwin y Santiago, por cuidar de mi bienestar y acompañarme en cada paso. Han sido mi apoyo y el mayor ejemplo de superación y trabajo. Los admiro y me siento muy orgullosa de ustedes.

A mi Pequeñita María y Michito, quienes a pesar de ser unos gatitos me han entregado todo su cariño, lealtad y compañía en todo momento.

A Luis Salas, por mostrarme cuán dura puede llegar a ser la vida y las mil dificultades que pueden aparecer en el camino. Eso me ha ayudado a ser fuerte y continuar a pesar de todo.

A mis tías bonitas Tere, Ali, Dali, Estelita; que de diferentes formas estuvieron ahí con palabras de apoyo y los mejores consejos.

A mi prima Lis, por confiar en mí y motivarme con su ejemplo a estudiar una carrera de ingeniería. Se rompieron barreras, estereotipos y límites mentales.

A mi persona favorita Sebitas, por creer en mí, apoyarme y siempre brindarme su amor. Gracias por ayudarme a cumplir todas mis metas. Lo más bonito ha sido conocerte y saber que cuento contigo.

A mis amigos que se convirtieron en mi familia a lo largo de estos años; gracias por los momentos, las risas, las cenas navideñas, las farras, los viajes y las tantas anécdotas que hay para contar. Gaby, Maythe, Eli, Dianita, Caritu, Sofi, Sebitas, Charlos, Erick, Dieguito, Jeffer, Jean Paul, Edgars, Samir, Jonathan M, Fari, Cris Q., Fabricio, Miguel; los llevo en mi corazón y espero que la vida nos vuelva a reunir. Mucho éxito para ustedes.

Un agradecimiento especial a mi director y amigo Xavier Rosero, por el conocimiento y la guía brindada en la realización de este proyecto. Gracias por todas las enseñanzas y vivencias compartidas en el aula; los mejores consejos son los que nos ayudan a crecer como personas. A mis asesores, Ing. Iván Iglesias e Ing. Luz María Tobar, quienes siempre mostraron predisposición para revisar, guiar y solventar cualquier duda en el desarrollo de este trabajo.

Mi gratitud a todos quienes conforman la Universidad Técnica del Norte y de manera especial al personal docente y administrativo de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

Mericita, no me podía faltar usted dentro de estas líneas; gracias por ser una amiga y un ángel dentro y fuera de la carrera, le agradezco por los consejos y la ayuda brindada.

Mi corazón está colmado de gratitud hacia ustedes

*Esthefanny Salas Prado.*

# Dedicatoria

Con lágrimas en los ojos escribo estas líneas y les digo que los amo tanto.

Dedico con todo mi corazón el presente trabajo y la obtención de mi título como Ingeniera en Mecatrónica a Jackyta, Darwin y Santiago; quienes representan mi razón de ser y de superación. Sé que la vida nos guarda cosas muy bonitas de ahora en adelante, siempre juntos. Valió la pena nuestro sacrificio.

A mis sobrinos Brigith, Odalys, Escarlet, Juan José, Mateo y Emily; deseo que este trabajo refleje en ustedes inspiración para salir adelante y sepan que siempre se debe luchar por los sueños que mueven nuestra alma. Cuentan con mi apoyo incondicional.

*Esthefanny Salas Prado.*

# Resumen

La expansión de la industrialización, el crecimiento exponencial de la población humana y la aparición del COVID-19 han producido un aumento notable en la demanda de alimentos; por ello, familias enteras alrededor del mundo tienen la necesidad de cultivar su propio alimento, teniendo en cuenta que la nutrición es un recurso fundamental y esencial para la supervivencia en la tierra.

Actualmente, hay un progreso de innovación gigantesco en el sector agropecuario y tecnológico con la idea hidropónica. Cultivar una planta sin suelo genera el rendimiento de las cosechas en un período breve para cualquier condición climática.

De esta manera, el presente trabajo ofrece la implementación de un sistema completamente automático de dosificación para cultivos hidropónicos. Se utiliza el software Movicon 11 y los controladores Arduino Mega y ESP32 para establecer una arquitectura SCADA con una comunicación Modbus TCP/IP basada en la industria 4.0 de bajo costo.

Se recopilan los datos en tiempo real de los sensores de pH, CE para su respectivo monitoreo y control on/off en lazo cerrado. Además, debido a la absorción de nutrientes y actividad en el reservorio, estos parámetros experimentan una variación continua que orientan al sistema a realizar una auto compensación mediante la utilización de bombas peristálticas, reguladores de caudal y electroválvulas para equilibrar la concentración de pH, CE y suministrar la solución nutritiva.

Por otra parte, el usuario puede ejecutar acciones en modo manual u automático desde la interfaz humano – máquina.

# Abstract

The expansion of industrialization, the exponential growth of the human population and the appearance of COVID-19 have produced a notable increase in the demand for food; For this reason, entire families around the world have the need to grow their own food, taking into account that nutrition is a fundamental and essential resource for survival on earth.

Currently, there is a gigantic innovation progress in the agricultural and technological sector with the hydroponic idea. Growing a plant without soil generates crop yields in a short period for all weather conditions.

In this way, the present work offers the implementation of a completely automatic dosing system for hydroponic crops. Movicon 11 software and Arduino Mega and ESP32 drivers are used to establish a SCADA architecture with low cost Industry 4.0 based Modbus TCP / IP communication.

Data is collected in real time from the pH and CE sensors for their respective monitoring and on / off control in closed loop. In addition, due to the absorption of nutrients and activity in the reservoir, these parameters undergo a continuous variation that orients the system to carry out a self-compensation with peristaltic pumps, flow regulators and solenoid valves to balance the concentration of pH, EC.

On the other hand, the user can execute actions in manual or automatic mode from the human-machine interface.

# Índice general

<b>Introducción .....</b>	<b>XVI</b>
Problema .....	XVI
Objetivos .....	XVIII
Objetivo general.....	XVIII
Objetivos específicos .....	XVIII
Justificación .....	XIX
Alcance .....	XXI
<b>Revisión Literaria .....</b>	<b>1</b>
1.1. Estado del arte.....	1
1.1.1. Sistema de automatización y control de CE y pH para hidroponía .....	1
1.1.2. Automatización y robótica utilizadas en sistema hidropónico .....	2
1.1.3. Desarrollo de un sistema de control para el cultivo de lechuga.....	3
1.1.4. Autogrow intellidose.....	5
1.2. Dosificación de cultivos hidropónicos.....	6
1.2.1. Definición .....	6
1.2.2. Reseña histórica en Ecuador .....	7
1.3. Parámetros de cultivo en fresas hidropónicas.....	8
1.3.1. Calidad y pH del agua.....	8
1.3.2. Solución nutritiva.....	9
1.3.3. pH en la solución nutritiva.....	9
1.3.3.1. Reguladores de pH .....	10
1.3.3.2. Instrumentos de medición de pH.....	11
1.3.4. Conductividad eléctrica en la solución nutritiva.....	11
1.3.4.1. Instrumentos de medición de CE .....	12
1.3.5. Requerimientos nutricionales de la fresa .....	12
1.3.6. Soluciones concentradas A, B, C.....	13
1.3.7. Oxigenación .....	14

1.3.7.1. Métodos de aireación.....	14
1.4. Sistema SCADA .....	15
1.4.1. Componentes básicos de un sistema SCADA .....	15
1.4.1.1. Arquitectura hardware.....	15
1.4.1.2. Arquitectura Software .....	16
<b>Metodología.....</b>	<b>19</b>
2.1. Requerimientos del usuario.....	19
2.2. Diseño conceptual.....	20
2.2.1. Descripción general .....	22
2.2.2. Diagrama de bloques del funcionamiento.....	22
2.2.3. Sistema de comunicación.....	24
2.3. Adquisición de datos.....	26
2.3.1. Medición de pH.....	27
2.3.2. Medición de CE .....	28
2.3.3. Medición de nivel .....	30
2.3.4. Medición cantidad de agua .....	31
2.4. Procesamiento de la acción de control.....	33
2.4.1. Diagramas funcionales.....	33
2.4.1.1. Nivel 0.....	33
2.4.1.2. Nivel 1 .....	33
2.4.2. Algoritmo de programación del sistema .....	35
2.5. Ejecución de la acción de control .....	38
2.5.1. Selección de electroválvulas .....	38
2.5.2. Selección de bombas peristálticas con regulador de caudal .....	39
2.5.3. Selección bomba de aire de acuario.....	39
2.6. Presentación de la información.....	40
2.6.1. Árbol de directorio - sinópticos HMI.....	41
2.7. Programación Arduino Mega, ESP32 y SCADA .....	42
<b>Implementación y Resultados .....</b>	<b>44</b>
3.1. Implementación hardware.....	44
3.1.1. Reservorio principal.....	45

3.1.2.	Solución concentrada .....	45
3.1.3.	Reguladores de pH y CE.....	45
3.1.4.	Caja de control .....	46
3.2.	Calibración de sensores.....	47
3.2.1.	Módulo pH.....	47
3.2.2.	Sensor de CE.....	49
3.2.3.	Sensor de ultrasonido.....	51
3.3.	Regulación soluciones concentradas.....	52
3.4.	Implementación de la interfaz humano - máquina.....	52
3.4.1.	Inicio .....	52
3.4.2.	Planta.....	53
3.4.3.	Control manual 1 y Control manual 2.....	54
3.4.4.	Gráficas pH y CE.....	55
3.5.	Pruebas de funcionamiento.....	55
3.5.1.	Control de pH.....	55
3.5.2.	Control CE .....	57
3.6.	Análisis de resultados .....	58
3.6.1.	Resultados en el sistema hidropónico.....	58
3.6.2.	Resultados en base a requerimientos cualitativos.....	59
	<b>Conclusiones Recomendaciones y Trabajo futuro.....</b>	<b>60</b>
4.1.	Conclusiones.....	60
4.2.	Recomendaciones .....	62
4.3.	Trabajo futuro .....	63
	<b>Anexos .....</b>	<b>64</b>
	Anexo 1. Variables de lectura – programación.....	64
	Anexo 2. Variables de escritura – programación.....	65
	Anexo 3. Datasheet sensor Ezo EC.....	67
	Anexo 4. Datasheet Shield relés. ....	71
	Anexo 5. Datasheet sensor de ultrasonido. ....	73
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

Figura 1.1. a) Sistema de control CE, b) Sistema de control pH. ....	2
Figura 1.2. Diagrama de funcionamiento. ....	3
Figura 1.3. Hardware del sistema de adquisición de datos y control.....	4
Figura 1.4. Diagrama de flujo sistema de control. ....	5
Figura 1.5. Dosificador intellidose. ....	6
Figura 1.6. Funcionamiento de un sistema hidropónico. ....	7
Figura 1.7. Disponibilidad relativa de los nutrientes en función del pH. ....	10
Figura 1.8. Características de un sistema SCADA. ....	15
Figura 1.9. Arquitectura hardware SCADA. ....	16
Figura 1.10. Arquitectura Software SCADA. ....	17
Figura 1.11. Funciones HMI. ....	17
Figura 2.1. Esquema funcional del sistema. ....	20
Figura 2.2. Diseño conceptual del sistema.....	21
Figura 2.3. Arquitectura de control del sistema. ....	22
Figura 2.4. Diagrama de bloques del funcionamiento. ....	23
Figura 2.5. Sistema de comunicación del sistema. ....	24
Figura 2.6. Circuito de conductividad embebido.....	25
Figura 2.7. Sensor Gaohou pH 0-14. ....	27
Figura 2.8. Lógica de control pH. ....	28
Figura 2.9. Circuito de conductividad embebido.....	28
Figura 2.10. Lógica de control CE.....	29
Figura 2.11. Gikfun M8 - Sensor de nivel flotador.....	30
Figura 2.12. a) Lógica de control nivel low, b) Lógica de control nivel high. ....	31
Figura 2.13. Excelity HC-SR04 - Módulo ultrasónico. ....	32
Figura 2.14. Funcionamiento módulo ultrasónico. ....	32
Figura 2.15. Nivel 0 – caja negra.....	33
Figura 2.16. Estructura funcional.....	35

Figura 2.17. Diagrama de flujo del sistema. ....	37
Figura 2.18. Válvula Solenoide - SNS 2W025-08.....	38
Figura 2.19. Gikfun - Bomba dosificadora peristáltica ajustable .....	39
Figura 2.20. Bomba de aire Hitop.....	40
Figura 2.21. Diseño distribución sinópticos. ....	41
Figura 2.22. Esquema programación Arduino Mega.....	42
Figura 2.23. Esquema programación ESP32. ....	43
Figura 3.1. Implementación física del sistema.....	44
Figura 3.2. Diseño PCB. ....	46
Figura 3.3. Caja de control del sistema. ....	47
Figura 3.4. Soluciones calibradas pH – Atlas Scientific.....	48
Figura 3.5. Curva de calibración del sensor pH.....	49
Figura 3.6. Proceso de calibración CE – Atlas Scientific. ....	49
Figura 3.7. Soluciones calibradas CE – Atlas Scientific. ....	49
Figura 3.8. Curva de calibración del sensor CE.....	50
Figura 3.9. Curva de calibración del sensor de ultrasonido.....	51
Figura 3.10. Sinóptico Inicio HMI.....	53
Figura 3.11. Sinóptico Planta HMI.....	54
Figura 3.12. Sinóptico Control Manual HMI.....	54
Figura 3.13. Sinóptico Gráficas HMI. ....	55
Figura 3.14. Producción fresas hidropónicas.....	58

# Índice de cuadros

Tabla 1.1. Requerimientos nutricionales de la fresa. ....	13
Tabla 1.2. Soluciones concentradas para fresas. ....	14
Tabla 1.3. Comparación softwares SCADA. ....	18
Tabla 2.1. Requerimientos del usuario. ....	19
Tabla 2.2. Comparación Arduino Uno – Mega 2560. ....	25
Tabla 2.3. Comparación ESP32 y ESP8266. ....	26
Tabla 2.4. Especificaciones técnicas bomba peristáltica Gikfun. ....	39
Tabla 2.5. Especificaciones técnicas bomba de aire. ....	40
Tabla 2.6. Conexiones físicas sensores y actuadores. ....	43
Tabla 3.1. Lecturas de calibración sensor pH. ....	48
Tabla 3.2. Lecturas de calibración sensor CE. ....	50
Tabla 3.3. Lecturas de calibración sensor ultrasónico. ....	51
Tabla 3.4. Lecturas de funcionamiento en soluciones concentradas A y B. ....	52
Tabla 3.5. Lecturas del control de pH. ....	56
Tabla 3.6. Lecturas del control de CE. ....	57
Tabla 3.7. Esquema de resultados cualitativos. ....	59

# Introducción

## Problema

La agricultura desempeña un rol importante en el sistema económico del Ecuador, es considerada como la columna vertebral del mismo; aportando un 8,5% al PBI según lo informa el reporte de productividad agrícola [1]. Cabe recalcar que esta actividad no solo proporciona alimentos, sino también aporta con innumerables fuentes de empleo.

Federfrutnor es la Federación del norte de Fruticultores que agrupa las provincias de la zona norte como: Carchi, Imbabura y Pichincha en nuevos proyectos de exportación de frutas a partir del 2020 [2]. La fresa principalmente tiene una mayor acogida por su calidad y sabor así lo indica el estudio de factibilidad para la producción y comercialización de fresa realizado en la parroquia La Esperanza, Cantón Ibarra; donde la cantidad promedio de fresa que vende los diversos ofertantes es de 544 y 771 kg al mes, es decir, venden un total de 387367 kg de fresa al año [3].

Los cultivos hidropónicos surgen como una alternativa al cultivo tradicional, permiten producir cosechas en contra estación, los costos de producción se reducen; hay un mayor ahorro de agua y fertilizantes [4]. Además, los nutrientes llegan directamente a la raíz por medio de recirculación de la solución nutritiva donde es de suma importancia la medición constante pH y la CE (S/m). Actualmente la mayoría de los cultivos hidropónicos en Ecuador realizan el proceso de forma manual y el contacto de estas sustancias químicas ha producido enfermedades en los agricultores.

Con el desarrollo de un sistema automático de dosificación de nutrientes se podría monitorear de manera constante el pH y CE del reservorio de solución nutritiva. Además, se podría realizar las combinaciones nutricionales de forma automática evitando el contacto directo entre el agricultor y las sustancias químicas.

# Objetivos

## Objetivo general

- Implementar un sistema de dosificación automática de solución nutritiva para un cultivo hidropónico de fresas.

## Objetivos específicos

- Determinar las variables que intervienen en la hidroponía y los diferentes sistemas de dosificación de nutrientes para un cultivo de fresas.
- Diseñar un sistema de dosificación utilizando herramientas computacionales.
- Construir un sistema que permita la dosificación de nutrientes y el monitoreo de pH y CE continuo dentro del reservorio utilizando sistemas microprocesados.
- Validar el funcionamiento de dicho sistema, para unificar las partes que conforman el sistema de hidroponía inteligente.

# Justificación

Los problemas nutricionales son una de las principales causas para una baja calidad en la producción de cultivos hidropónicos por ello mantener una nutrición adecuada es muy importante para controlar la fertilidad de las plantas.

El monitoreo del pH y CE en la solución nutritiva nos da la posibilidad de corregir los inconvenientes antes de que se conviertan en problemas que pudieran perjudicar a los cultivos y obtener como resultado mayores rendimientos debido a que las plantas siempre tienen los nutrientes necesarios disponibles cuando la necesitan [5].

Desde el punto de vista económico, es considerable el ahorro (alrededor del 70%) al comparar los dosificadores existentes únicamente en el mercado internacional. Cabe resaltar que Ecuador apenas lleva unos años incursionando en el tema de hidroponía, son muy pocas las provincias que han aceptado este nuevo reto en la agricultura; por ello, no existe automatización en sus procesos y el adquirir un equipo importado no está a la disposición económica de sus bolsillos.

Por otra parte, en el ámbito de investigación; se haría un gran aporte ya que es un campo muy amplio que abre camino a futuros trabajos correlacionados entre la carrera de Ingeniería en Mecatrónica y la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) o a su vez su vinculación directa con agricultores externos lo cual beneficiaría la realización de prácticas académicas y formación en esta área.

La construcción de una máquina dosificadora de solución nutritiva para un cultivo hidropónico facilitará la regulación y control de factores indispensables en la alimentación de las raíces de las plantas cultivadas, evitando la aparición de enfermedades y déficit de nutrientes en sus frutos, a su vez innovar este proceso poco conocido en el país y permitir la obtención de Dataset de los parámetros utilizados para futuras investigaciones del área de aprendizaje de máquina.

# **Alcance**

Se diseñará y construirá un sistema para dosificar la solución nutritiva de un reservorio hidropónico, capaz de monitorear constantemente parámetros como nivel de pH y CE por medio de sensores que enviarán información la cual será mostrada en una Interfaz Humano – Máquina. Además, se implementará un sistema de auto compensación nutricional dentro del reservorio.

# Capítulo 1

## Revisión Literaria

Con el pasar del tiempo, la humanidad entera y dada la situación actual ha venido buscando alternativas de cultivo favorables con el medio ambiente; por ello, el cultivar sin suelo es una de las soluciones más factibles y adaptables a todo índice poblacional.

En este capítulo se analiza los sistemas de dosificación existentes y los parámetros a tomar en cuenta en la hidroponía de fresas para su posterior proceso de dosificación, monitoreo y control.

### 1.1. Estado del arte

#### 1.1.1. Sistema de automatización y control de CE y pH para hidroponía

En Pakistán se presenta un sistema de automatización y control diseñado localmente para un sistema hidropónico. La conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva son los principales elementos para controlar. En este sistema de control propuesto, el Arduino Mega realiza la red de detección, la adquisición de datos y la toma de decisiones. Los valores de CE y pH se registran utilizando sondas de pH DF-Robot EC y DF-Robot industrial, respectivamente. Los valores se envían al Arduino Mega y este ajusta los valores, si es necesario, a través de actuadores [6].

En la Figura 1.1. a). se muestra el sistema de control de CE; los valores registrados indican si la CE de la solución nutritiva es alto o bajo. Si la CE es menor que el rango

especificado, la solución nutritiva en proporción con el tanque/depósito principal es inyectado automáticamente mediante la señalización de la válvula solenoide N/C para abierto durante cierto tiempo. Si la CE es alta, se bombea agua a el tanque para equilibrar el nivel de CE.

Por otra parte, para monitorear y controlar el pH de solución nutritiva se utiliza válvulas solenoides normalmente cerrada como actuadores para inyectar la solución de ajuste de pH en el tanque principal de solución nutritiva. Ver Figura 1.1. b).

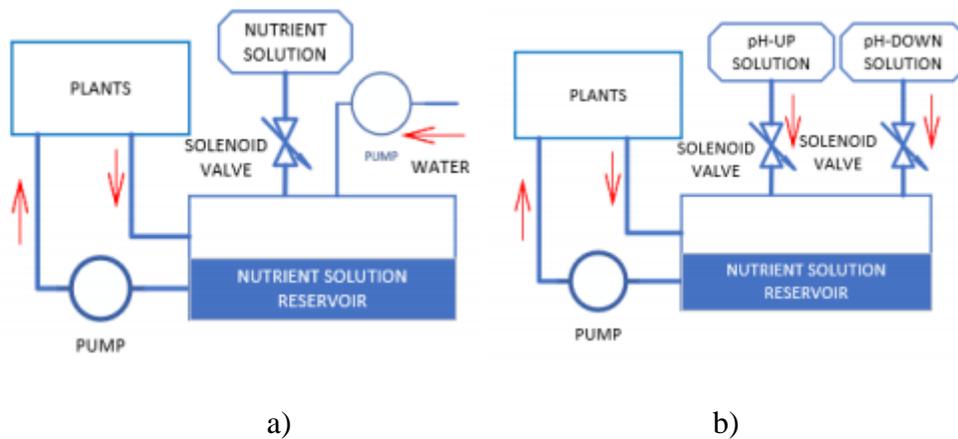


Figura 1.1. a) Sistema de control CE, b) Sistema de control pH [6].

### 1.1.2. Automatización y robótica utilizadas en sistema hidropónico

La automatización, la robótica y el IoT han permitido monitorear todas las variables en la planta, zona de raíces y ambiente. En la investigación [7], se presenta sistemas basados en microcontroladores y un control de lógica difusa de pH en la solución nutritiva. Además, un sistema de monitoreo inteligente usando internet de las cosas con tecnología web y detección de fallas basada en redes neuronales en hidroponía. La Figura 1.2. muestra el funcionamiento.

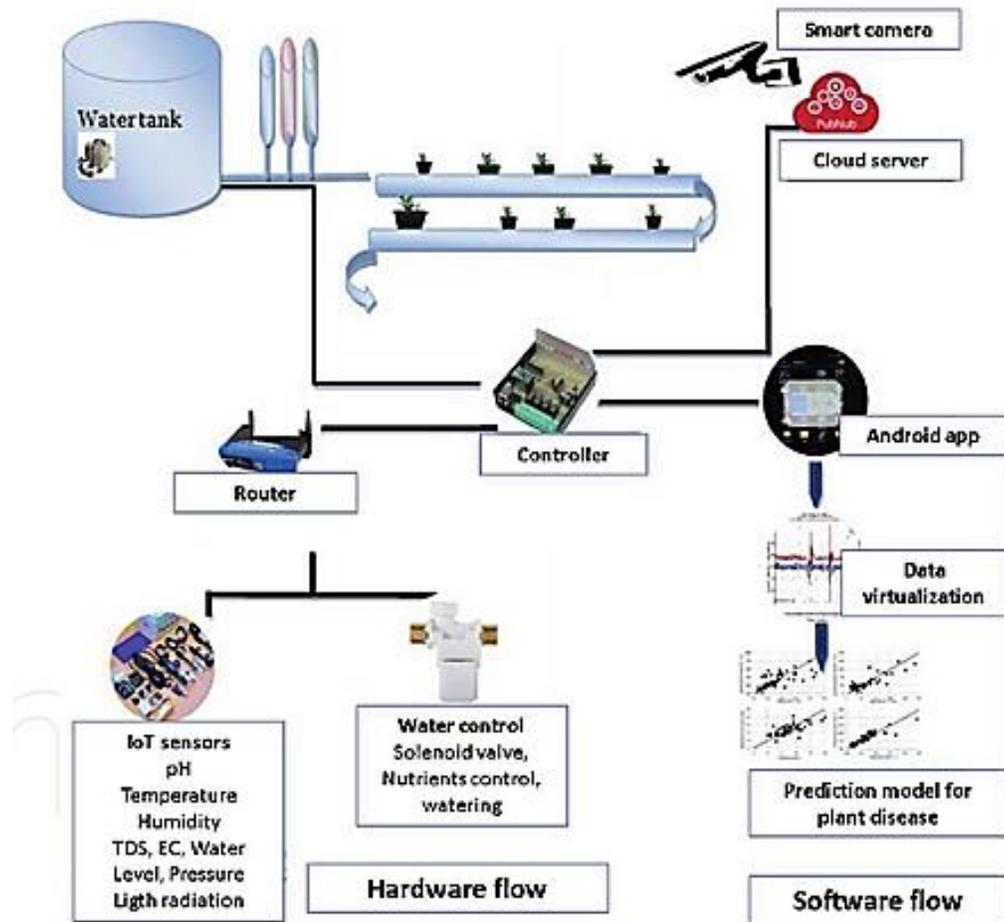


Figura 1.2. Diagrama de funcionamiento [7].

### 1.1.3. Desarrollo de un sistema de control para el cultivo de lechuga

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema de control automático basado en microcontrolador Arduino Mega 2560 con EEPROM 4 KB para controlar la temperatura, CE, pH, OD y ORP de la solución nutritiva.

El diseño del hardware del sistema de control, como se presenta en la Figura 1.3., ha sido desarrollado para siete entradas y diez salidas. Las siete entradas incluyen los sensores de RTD, EC, pH, DO, ORP, ultrasónicos y teclado, mientras que las diez salidas cubren bomba para enfriador, bomba para aumentar EC, bomba para disminuir EC, bomba para

aumentar el pH, bomba para disminuir el pH, bomba del aireador para aumentar el OD, bomba para aumentar el ORP, bombear para disminuir el ORP, bomba para aumentar el nivel de superficie de la solución nutritiva y bomba mezcladora [8].

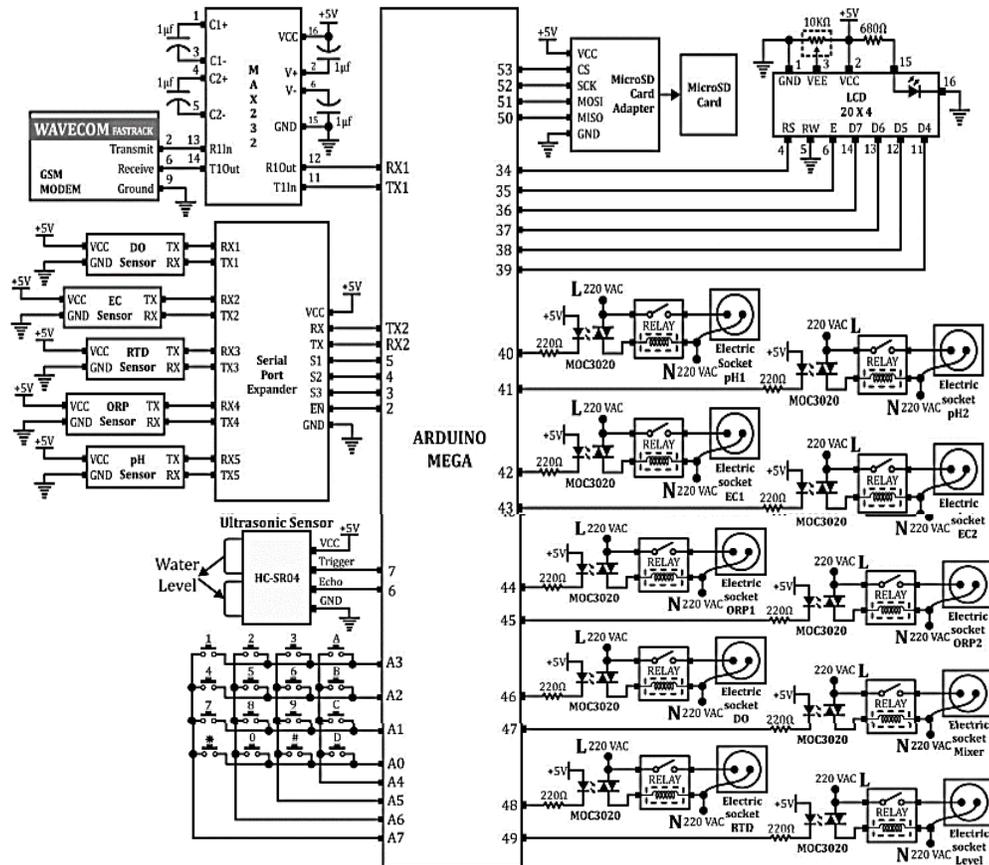


Figura 1.3. Hardware del sistema de adquisición de datos y control [8].

El diagrama de flujo de trabajo del sistema de control se presenta en la Figura 1.4.

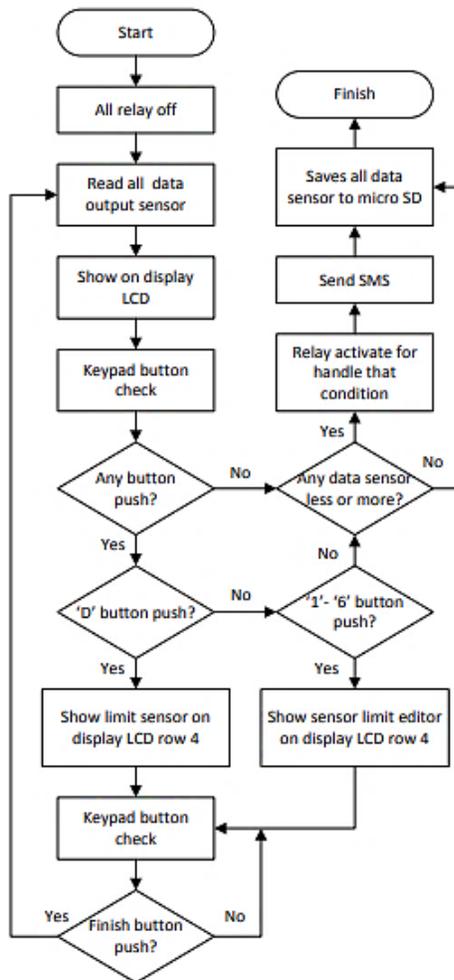


Figura 1.4. Diagrama de flujo sistema de control [8].

#### 1.1.4. Autogrow intellidose

Es un equipo que realiza la administración automática de los niveles de nutrientes, CE y pH, este equipo configura alarmas remotas y registra el progreso de los datos con un sistema de dosificación de nutrientes proporcionando una auto dosificación comercial pequeña [9]. Además, permite el registro de datos de forma inalámbrica para ser mostrados en computadoras, es decir, poner información en tiempo real al alcance las 24 horas del día [10]. Véase Figura 1.5.



Figura 1.5. Dosificador intellidose [9].

## 1.2. Dosificación de cultivos hidropónicos

### 1.2.1. Definición

La costumbre de mirar que las plantas crezcan en los campos y jardines es tan rutinaria que encontramos a cualquier otra técnica de cultivo extraordinaria. Pero es completamente cierto. Con la hidroponía las plantas no solamente crecerían sin tierra, sino que sus raíces en agua o aire tendrían contacto directo con los nutrientes. Sin utilización de plaguicidas evitando la contaminación y erosión de suelos.

Pero, al basar su nutrición en las soluciones líquidas, se vuelve en su mayoría tedioso el estar controlando manualmente parámetros importantes que influyen en la captación de alimentos o a su vez el proporcionar salud en la raíz, es decir, necesita mayor cuidado y tiempo por parte del agricultor.

En base a la revisión literaria e investigaciones realizadas la dosificación es la acción de graduar o proporcionar únicamente la cantidad necesaria que necesitan las plantas para su nutrición ya sea para controlar pH, CE o soluciones concentradas. Véase Figura 1.6.

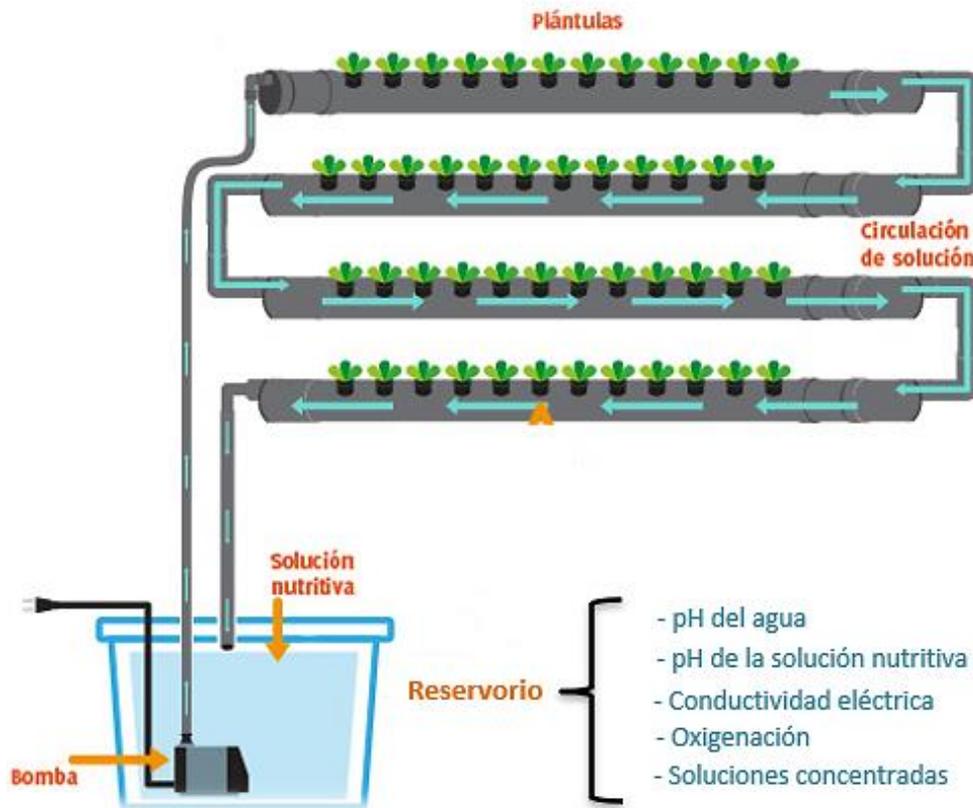


Figura 1.6. Funcionamiento de un sistema hidropónico.

### 1.2.2. Reseña histórica en Ecuador

La idea de hidroponía en nuestro país surge en los años 90 con la incursión de técnicas creadas en Holanda, obteniendo cultivos más saludables sin parásitos, hongos y bacterias, pero este tipo de cultivo no tuvo el éxito esperado debido al factor costo de implementación y tecnología; generando cifras altas para los pequeños agricultores.

En la actualidad muchas provincias como Ibarra, Quito, Latacunga, Riobamba, Cañar y Azuay han sido el claro ejemplo de un notorio incremento en la producción hidropónica de vegetales y frutas. En los supermercados del país son cada vez más los productos con sello de calidad mediante técnicas sin la utilización del suelo. Este aumento se debe en gran

medida a que los consumidores prefieren los productos sin pesticidas y comer en forma sana y confiable. Pero, aun no existe una técnica automatizada para monitorear y controlar la dosificación en estos cultivos a nivel industrial.

En agosto del 2020 el Ministerio del Agua y Medio Ambiente de Ecuador junto a Proyecto Adaptación a los Impactos del Cambio Climático en Recursos Hídricos en los Andes (AICCA) determinaron nuevos proyectos de implementación de sistemas para cultivos hidropónicos bajo cubierta en la subcuenca del río Machángara como medida de adaptación al cambio climático frente a las amenazas climáticas y lluvias intensas. Se cultivará fresas, lechuga y otras hortalizas [11].

### **1.3. Parámetros de cultivo en fresas hidropónicas**

Para cultivar fresas en hidroponía se necesita de una adecuada altura sobre el nivel del mar y rangos de temperatura idóneos. Por su parte, la provincia de Imbabura se encuentra a una altura promedio de 2220 m.s.n.m. y una temperatura mínima de 11° C a 13° C y máxima de 24° C a 26° C, que según [12] lo hace un área compatible para continuar con esta técnica.

#### **1.3.1. Calidad y pH del agua**

El agua que consumimos los seres humanos no es apta para los cultivos debido a su alcalinidad con un pH de 6.6 a 8.5. Por lo tanto, el pH del agua debe ser verificado y no debe sobrepasar el rango de 5.5 a 6.5 de lo contrario si el agua es demasiado alcalina se puede precipitar los nutrientes que agreguemos [13].

Además, realizar un análisis químico del agua permitirá obtener la cantidad específica de las sales minerales que contiene (sodios totales, cloruros, metales y sulfuros). Sobre

todo, estos valores son importantes para la composición de solución nutritiva que se desea formular; y por diferencia con la concentración de iones que se encuentran en el agua de riego, se hacen las correcciones necesarias para incorporar los fertilizantes a la solución [14].

### **1.3.2. Solución nutritiva**

Las plantas por medio de sus raíces obtienen oxígeno, agua y los nutrientes minerales necesarios para su alimentación, crecimiento y desarrollo. En hidroponía al no receptor dichos nutrientes del suelo es necesaria la utilización de una solución nutritiva; la misma que consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos y distintos fertilizantes comerciales.

El suministro de los macronutrientes y micronutrientes depende radicalmente de cada cultivo, su especie y etapa de crecimiento ya que no existe una solución nutritiva ideal disponible para satisfacer las necesidades de todos los cultivos [16].

### **1.3.3. pH en la solución nutritiva**

Mantener el pH en los rangos adecuados es importante porque influye directamente en el crecimiento de las plantas. El potencial de hidrógeno de la solución nutritiva se determina por la concentración de los ácidos y de las bases; tomando en cuenta la cuantificación de la concentración de  $H^+$  y  $OH^-$  [16]. Cada uno de los nutrientes presentan un rango de pH, con el que hay mayor disponibilidad y asimilación en la nutrición como se mira en la Figura 1.7.



Figura 1.7. Disponibilidad relativa de los nutrientes en función del pH [16].

### 1.3.3.1. Reguladores de pH

La corrección del valor de pH se la realiza incorporando ácidos (ácido fosfórico 85%) en la solución hidropónica o de bases (Hidróxido de potasio o sodio) para el aumento del pH. El rango óptimo para el cultivo de fresas es 5.5 a 6.2 [17].

**Ácido fosfórico.** - compuesto químico ácido cuya fórmula es  $H_3PO_4$ . Aumenta la eficiencia de la fertilización. Se debe tomar en cuenta que, en el periodo de floración y fructificación, se puede emplear ácido fosfórico, ya que el fósforo es un elemento indispensable en la formación de las flores y frutos [18].

**Ácido nítrico.** - compuesto químico ácido cuya fórmula es  $HNO_3$ . Es aconsejable emplear ácido nítrico para el periodo vegetativo, en el que la planta tiene una gran demanda de nitrógeno [19].

**Ácido cítrico.** - su función es modificar el pH, pero también es cierto que con este ácido después de un tiempo la solución tiende a ser alcalina [20].

**Hidróxido de potasio.** - este compuesto es el encargado de incrementar el pH y aportar algo de potasio al sistema. Su principal ventaja es que no es tan reactiva como el Hidróxido de sodio (NaOH) que es altamente peligroso y el Sodio no es de gran beneficio al sistema [21].

### **1.3.3.2. Instrumentos de medición de pH**

**Medidor de pH digital-portátil.** - Permite movilizar y medir diferentes tipos sustancias en campo. Se compone de un simple amplificador electrónico y un par de electrodos, o alternativamente un electrodo de combinación, y algún tipo de pantalla calibrada en unidades de pH [21].

**Tiras de pH.** - Las tiras medidoras de pH son tiras cuyo funcionamiento es muy intuitivo, sencillo y limpio. Hay de diversas calidades y graduaciones. Las más simples son tiras que varían en un rango de pH entre 1 y 14. Se meten en la disolución durante 2 segundos y posteriormente se compara el color que te ha salido en las tiras con el patrón que viene en la propia caja [21].

**Sonda de electrodos de pH.** - La determinación de pH consiste en medir el potencial de un par de electrodos, uno de mercurio o cloruro de mercurio y otro de vidrio. Los electrodos son proyectados para medir la mayoría de los medios acuosos [22].

### **1.3.4. Conductividad eléctrica en la solución nutritiva**

La conductividad eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el reservorio; por lo tanto, si una solución tiene más sales disueltas, tiene una conductividad más alta. Medir la CE puede dar una idea de cuántos nutrientes quedan en su solución. La unidad de medición es micro Siemens / centímetro ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ) [23].

La conductividad eléctrica de la solución de nutrientes en cultivos de fresas puede bordear el rango de 1,0 a 1,5 mS / cm. Si la CE de la solución se vuelve demasiado alta, se agrega agua para reducirla al valor original, pero si la CE se vuelve demasiado baja, no se agrega nutrientes puesto que la planta ha cambiado sustancialmente la composición de la solución y es necesario desecharla y preparar una nueva [23].

#### **1.3.4.1. Instrumentos de medición de CE**

Los conductímetros son utilizados en las mediciones de conductividad, están compuestos por dos placas de un material especial que puede ser platino, titanio, níquel recubierto con oro o grafito. Las placas permiten medir la cantidad de corriente que pasa por ellas y dicha medición es dependiente de la temperatura. Por ello, es necesario que estos instrumentos tengan compensadores automáticos de temperatura [24].

**Medidor de CE portátil.** - El electrodo de unión simple es adecuado para aplicaciones de uso general, es decir, menos exigentes que proporcionan comodidad de manejo, pero su calibración suele ser tediosa ya que no es tan precisa [24].

**Sonda de conductividad.** - Utiliza un sensor con electrodos de platino que permiten leer valores de conductividad. Además, este sensor proporciona conductividad automáticamente estandarizada a 25°C, o sea conductancia específica [24].

#### **1.3.5. Requerimientos nutricionales de la fresa**

Las plantas requieren de minerales como carbono, hidrógeno y oxígeno en un 96%, estos minerales son tomados a través del aire, agua y dióxido de carbono. Por su parte, el 4% de minerales restante corresponde a los micronutrientes y macronutrientes [25].

Tabla 1.1. Requerimientos nutricionales de la fresa [25].

<b>Requerimientos nutricionales del cultivo de fresa</b>			
Elemento		en ppm	
		Etapa Crec. Vegetación	Etapa Floración
Nitrógeno	N	180	170
Fósforo	P	45	50
Potasio	K	260	320
Calcio	Ca	160	170
Magnesio	Mg	50	50
Azufre	S	70	70
Hierro	Fe	2.0	2.5
Boro	B	0.8	1.0
Manganeso	Mn	1.0	1.0
Zinc	Zn	0.2	0.25
Cobre	Cu	0.2	0.25
Molibdeno	Mo	0.08	0.10

Entre los cultivos de frutas, se han realizado muchas investigaciones con respecto a las soluciones nutritivas y en la Tabla 1.1. se muestran los requerimientos nutricionales del cultivo de fresas tanto para su etapa de crecimiento y vegetación como para su etapa de floración.

### **1.3.6. Soluciones concentradas A, B, C**

Son el resultado de la correcta formulación de los nutrientes, teniendo en cuenta parámetros de compatibilidad de fertilizantes; por ejemplo, los fertilizantes que contienen calcio no se mezclan con fertilizantes que contienen sulfatos o fosfatos. La mayoría de las veces, cuando los fertilizantes incompatibles interactúan; se forman compuestos insolubles y precipitados que retienen los nutrientes y los hacen inaccesibles para la planta [26]. Véase la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Soluciones concentradas para fresas [26].

<b>SOLUCIÓN CONCENTRADA MADRE A</b>
nitrato de potasio fosfato monoamónico fosfato di amónico Nitrato de Manganeseo Nitro - S/ nitrato de amonio Fosfato amónico nítrico
<b>SOLUCIÓN CONCENTRADA MADRE B</b>
Sulfato de magnesio Sulfato de potasio Ácido bórico / bórax Sulfato de manganeseo Sulfato de cobre Sulfato de zinc Quelato de Hierro
<b>SOLUCIÓN CONCENTRADA MADRE C</b>
Nitrato de calcio

### 1.3.7. Oxigenación

Un déficit de oxígeno en la solución nutritiva recirculante reduce la permeabilidad de las raíces y limita la absorción de agua y nutrientes, con efectos negativos en el rendimiento de los cultivos que no utilizan el suelo [27].

#### 1.3.7.1. Métodos de aireación

Para garantizar una óptima producción se debe determinar el tipo de aireación adecuada que permita aumentar la oxigenación en los cultivos.

**Burbujeo.** - El sistema más fácil de usar para los cultivos de pequeña escala es el uso de bombas de aire para generar movimiento en la solución [28].

**Salto de agua.** - Otro método comúnmente usado en invernaderos es generar caídas de agua como una cascada devolviendo el agua al tanque principal [28].

## 1.4. Sistema SCADA

Un sistema SCADA hace referencia al control de supervisión y adquisición de datos. Está formado por componentes de software y hardware que permiten la realización de acciones en procesos industriales tanto de forma local como remota [29]. En la Figura 1.8. se muestra las características.

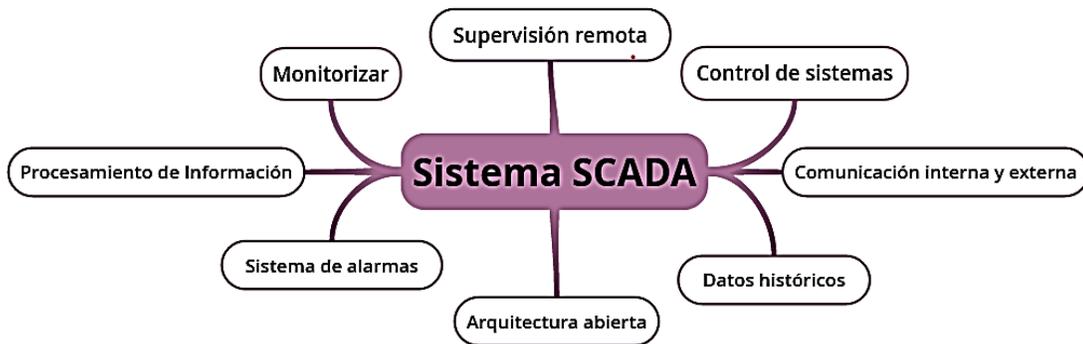


Figura 1.8. Características de un sistema SCADA.

### 1.4.1. Componentes básicos de un sistema SCADA

Los elementos que conforman un sistema SCADA son de gran importancia, ya que de ellos depende el funcionamiento de todo proceso en el sistema. A continuación, se describe cada uno de los elementos.

#### 1.4.1.1. Arquitectura hardware

Son los elementos físicos que se necesitan para la correcta implementación de un SCADA dirigido a la industria 4.0; esta ayuda a obtener y gestionar la información captada. Véase la Figura 1.9.

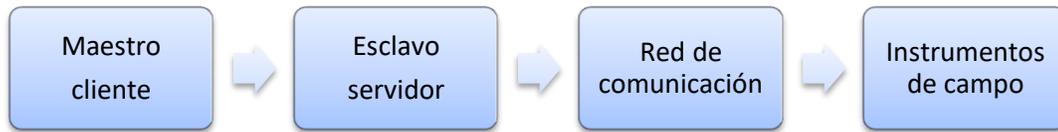


Figura 1.9. Arquitectura hardware SCADA.

**La red de comunicación** realiza la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware de un sistema SCADA, la misma puede ser implementada a través de cables o de manera inalámbrica usando distintos protocolos industriales, por ejemplo: CANbus, Fieldbus, Modbus, entre otros [31].

En Modbus se puede establecer una comunicación serial y TCP/IP, en la comunicación serial se determina un maestro y esclavo y en la comunicación TCP se habla de cliente y servidor. TCP/IP hace referencia al Protocolo de Internet y Protocolo de control de transmisión [31].

**Los instrumentos de campo** son aquellos que permiten el contacto directo y la obtención de información en el sistema, convirtiendo parámetros físicos como: flujo de fluido, nivel, posición en señales eléctricas de voltaje o corriente. Las salidas/entradas pueden ser análogas o digitales.

#### 1.4.1.2. Arquitectura Software

Es un programa ejecutado desde un ordenador que permite el diseño y creación de una interfaz gráfica para poder comunicar e interpretar los valores entre niveles de control, supervisión, gerencia y administración en el sistema.

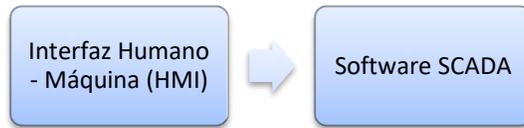


Figura 1.10. Arquitectura Software SCADA.

**Interfaz Humano Máquina en un SCADA.** - Es un dispositivo que tiene una pantalla de visualización vinculada al programa. Para la realización de una interfaz se debe tener presente tres modelos: el punto de vista del usuario, del programador y del diseñador [30]. Véase en la Figura 1.11. las funciones principales.

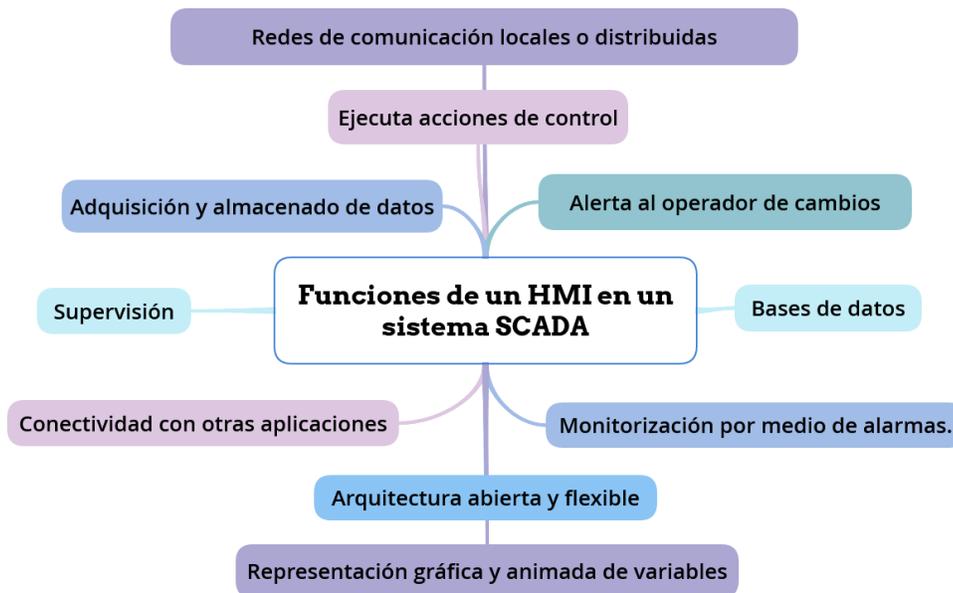


Figura 1.11. Funciones HMI.

**Software SCADA.** - Dario Prado en [32] menciona que “Un software SCADA se puede dividir en software propietario y abierto. El software propietario no es tan usado, ya que lo desarrollan las empresas. Sin embargo, los paquetes de software abierto son populares debido a la interoperabilidad del sistema teniendo la capacidad de conectar con

diferentes fabricantes en el mismo sistema”. En la Tabla 1.3. se muestra la comparación del software Movicon y Wonderware.

Tabla 1.3. Comparación softwares SCADA [32].

<b>Parámetro</b>	<b>Movicon 11</b>	<b>Wonderware Intouch</b>
Licencia	Gratuita	Pagada
Comunicación con diversos PLC	Contiene drivers para poder conectarse con PLC más conocidos.	Por medio de Wonderware DA Server, que es un OPC propio.
Uso estudiantil	Al ser software gratuito no necesita licencia para funcionar	Existe licencias de uso estudiantil en la universidad.
Límite de variables	Sin limites	Sin limites
Idiomas	Multilingüe	Multilingüe
Límite de Runtime	2 horas	Sin límite

**InTouch de Wonderware:** Según [33], Wonderware InTouch es un software que permite la realización y visualización de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) que se ejecuta en una PC utilizando el entorno Windows como sistema operativo. Consta básicamente de dos elementos WINDOWMAKER Y WINDOWVIEWER.

**Movicon 11.6 de Progea:** Según [34] Movicon es una plataforma de simple manejo que proporciona al usuario una interacción rápida y segura. Este software permite la supervisión y control mediante una programación amigable, sencilla e intuitiva. Además, cuenta con drivers de comunicación, scripts en Visual Basic y cliente web para PC/Smartphone/Tablet Windows/Android.

# Capítulo 2

## 2. Metodología

En este capítulo se detalla la metodología realizada en el proyecto. Se muestran las características, que forman parte del diseño y construcción del producto final.

### 2.1. Requerimientos del usuario

Consiste en determinar un listado de requerimientos del cliente, escuchando directamente su opinión y perspectiva del producto nuevo ofertado [35].

Tabla 2.1. Requerimientos del usuario.

<b>Deseos del cliente</b>	<b>Voz del ingeniero</b>
Se debe medir pH y CE	Utilización de sensores de pH y CE
Subir o bajar los niveles de pH	Sistema de control y regulación pH
Bajar los niveles de CE	Sistema de control y regulación de CE
La CE se reduzca agregando agua	
El módulo debe poder desplazarse	Sistema con fácil movilidad
Debe avisar cuando está fallando en la pantalla	Sistema de alarmas de funcionamiento y fallos y diseño HMI
Se debe tener datos de niveles de agua	Sistema de medición niveles de agua
Recirculación del agua en el sistema por ciertos tiempos	Sistema de recirculación de agua periódicamente
Alimentación de plantas precisa	Dosificación de las soluciones nutritivas
Que tenga oxigenación en el tanque	Sistema de oxigenación dentro del reservorio
Se pueda utilizar en otros cultivos	Adaptabilidad a diversos sistemas hidropónicos
Fácil de reparar	Mantenimiento
Que se conecte a la red eléctrica	Funcionamiento con red eléctrica 110V

La obtención de los requerimientos del usuario se realiza mediante una visita técnica a la empresa Huerto Urbano Tarpui en la ciudad de Quito. De dicha visita se infiere los siguientes índices, ver Tabla 2.1.

## 2.2. Diseño conceptual

El diseño conceptual ayuda a la resolución de problemas mediante el conocimiento, la investigación, la creatividad y el razonamiento [36].

Por ende, tomando como referencia la investigación, el estado del arte del capítulo 1 y los requerimientos del usuario; se diseña un esquema explicativo que define 3 niveles de trabajo en el sistema de dosificación. Véase Figura 2.1.

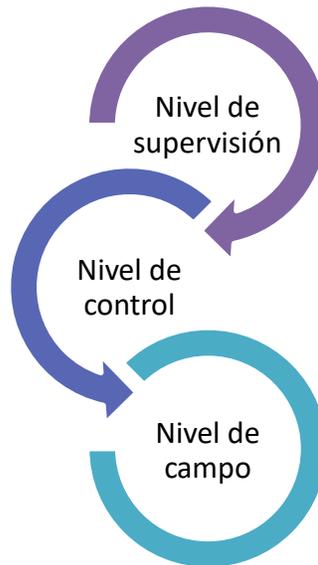


Figura 2.1. Esquema funcional del sistema.

En el nivel de campo se analiza que sensores y actuadores permitirán cubrir las necesidades del sistema, tomando consideraciones importantes como caudal, acción de la gravedad, entre otros. El nivel de control por su parte permite la selección de los sistemas

microprocesados a utilizar y como será su función en la adquisición, acondicionamiento y procesamiento de información.

La supervisión emite confiabilidad en el funcionamiento del sistema y la relación directa con los usuarios para realizar correcciones y un manejo adecuado.

Con la obtención de esta información se realiza un diseño en el software Movicon 11; la selección de este software radica en su permisibilidad para la supervisión y control de variables.

Por ello, se plantea el análisis de 4 secciones indispensables que se consideran en el proceso de automatización, como se detallan a continuación. Véase Figura 2.2.

- Caja de control
- Regulación pH, CE
- Soluciones concentradas
- Reservorio principal

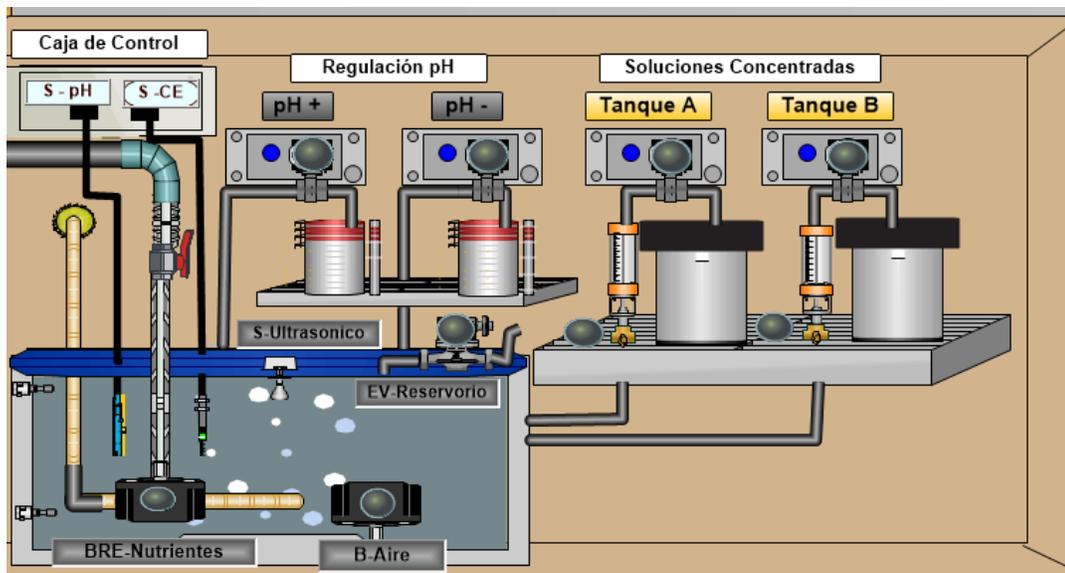


Figura 2.2. Diseño conceptual del sistema.

### 2.2.1. Descripción general

Se propone controlar los valores de pH, CE dentro del reservorio principal por medio de un lazo cerrado en control On/Off que permite tener únicamente dos estados para el funcionamiento de los actuadores; bien sea encendido o apagado. En la Figura 2.3. se observa la arquitectura del sistema de control de estos parámetros. Por otra parte, los sensores de nivel low, high y ultrasónico actúan como seguridad del sistema.

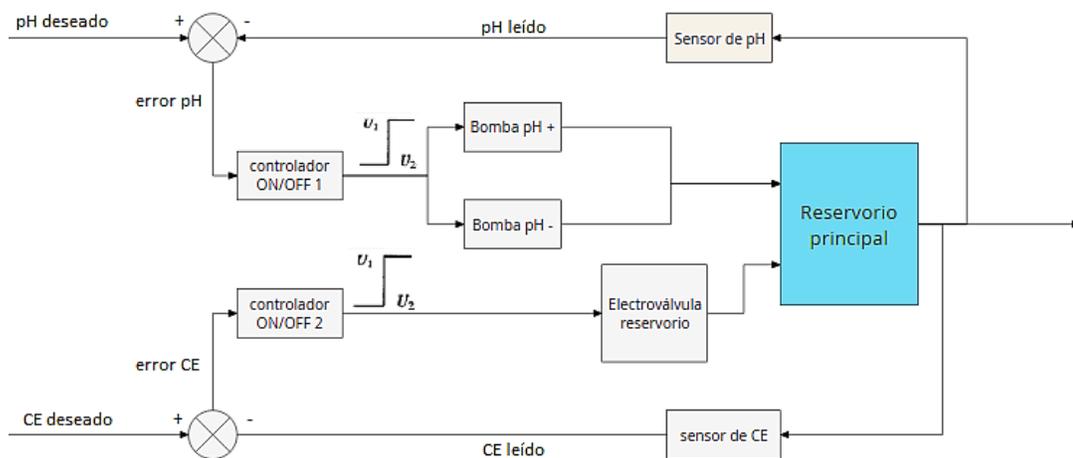


Figura 2.3. Arquitectura de control del sistema.

### 2.2.2. Diagrama de bloques del funcionamiento

El diagrama de bloques ayuda a mostrar cual va a hacer el funcionamiento del sistema, dividiendo en bloques los procesos que se realizan. Lo más importante las entradas y salidas que lo determinan.

El diseño del hardware del sistema de control, como se presenta en la Figura 2.4., ha sido desarrollado para cinco entradas y 9 salidas. Las entradas hacen referencia a los sensores de EC, pH, nivel high, nivel low, ultrasónico.

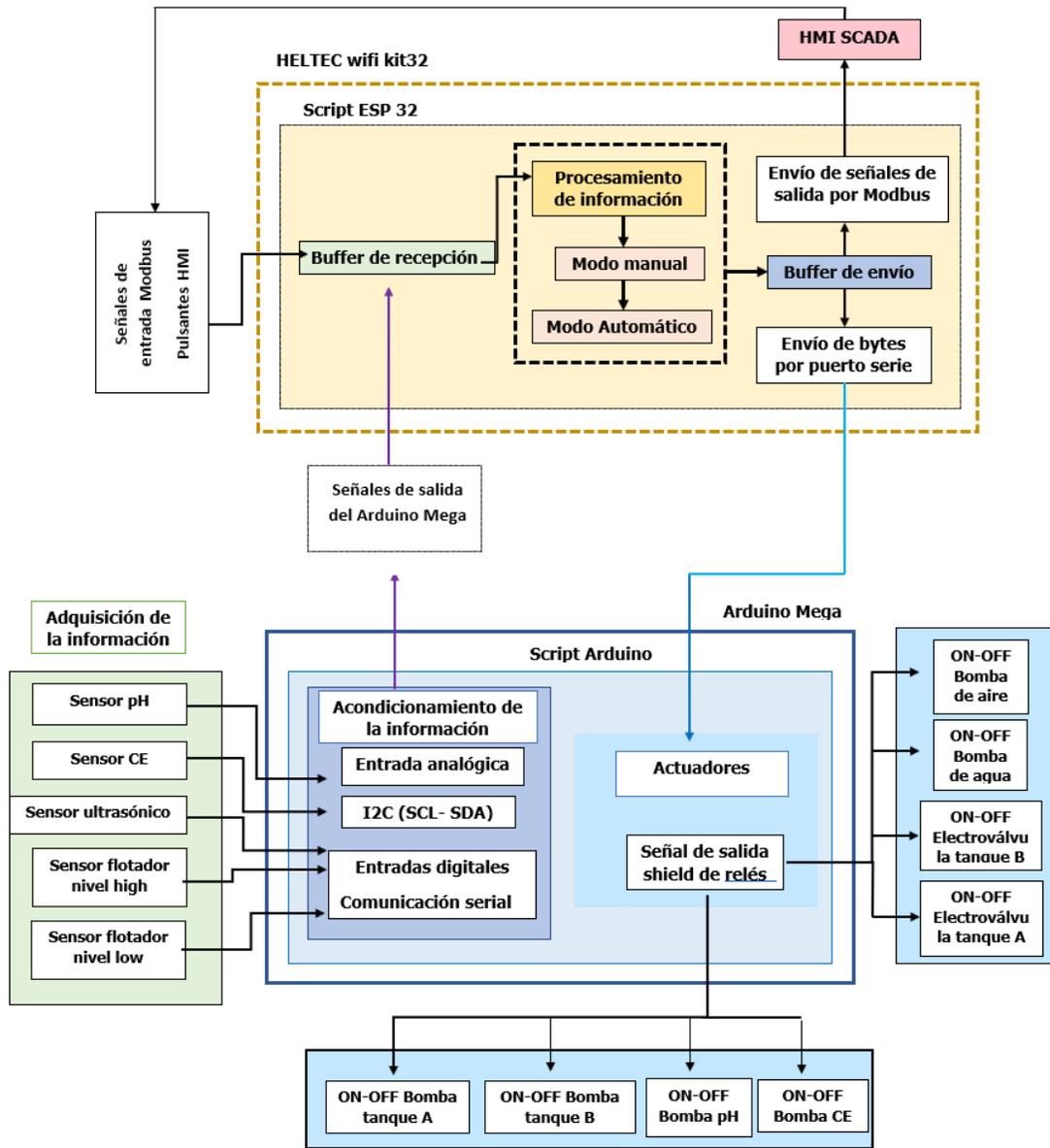


Figura 2.4. Diagrama de bloques del funcionamiento.

### 2.2.3. Sistema de comunicación

La comunicación se puede realizar entre un microcontrolador con otro microcontrolador o un microcontrolador con un PLC. En este caso el software SCADA Movicon 11 de Progea es el seleccionado ya tiene comunicación Modbus TCP/IP y es amigable con el usuario y programador.

El sistema SCADA, está compuesto por el cliente en este caso Movicon 11 que por medio del protocolo de comunicación Modbus – TCP/IP se conecta al servidor ESP 32 y ésta a su vez realiza una conexión con el controlador Arduino Mega por comunicación serial para el envío y recepción de información como se ilustra en la Figura 2.5.

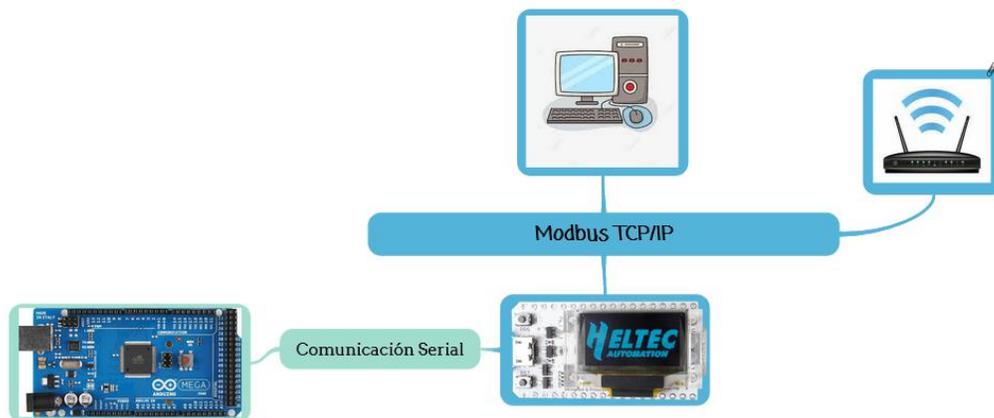


Figura 2.5. Sistema de comunicación del sistema.

Se selecciona el microcontrolador Arduino Mega principalmente por el número de conexiones de para sensores y actuadores, ya que cuenta con un microcontrolador muy potente de 8 bits, 54 pines digitales I/O, 16 entradas analógicas y un espacio más grande de memoria destinada a la programación elevada. A continuación, se puede ver sus especificaciones técnicas en comparación con un Arduino uno [37]. Ver tabla Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Comparación Arduino Uno – Mega 2560 [35].

	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
<b>Dimensión</b>	2.7 in x 2.1 in	4 in x 2.1 in
<b>Procesador</b>	Atmega 328P	Atmega 2560
<b>Tiempo de velocidad</b>	16MHz	16MHz
<b>Flash Memory (kB)</b>	32	256
<b>EEPROM (kB)</b>	1	4
<b>SRAM (kB)</b>	2	8
<b>Nivel de voltaje</b>	5V	5V
<b>Pines digitales I/O</b>	14	54
<b>Pines digitales I/O con PWM</b>	6	15
<b>Pines análogos</b>	6	16
<b>conectividad USB</b>	Standard A/B USB	Standard A/B USB
<b>Compatibilidad Shield</b>	si	si
<b>Ethernet / WI-FI/Bluetooth</b>	no (puede habilitar a módulo)	no (puede habilitar a módulo)

Por otra parte, la ESP32 Wifi Kit es una serie de microcontroladores System on Chip de bajo costo y de bajo consumo con sistema Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrados que en base a las investigaciones es la más acertada para intercambiar información en la nube y en simultaneo administre datos de sensores de manera precisa [38].



Figura 2.6. Circuito de conductividad embebido [38].

Se lo considera una herramienta ideal para proyectos referentes a aplicaciones IoT e industria 4.0 con sensores inteligentes. La Tabla 2.3. hace una comparación entre ESP32 y ESP 8266.

Tabla 2.3. Comparación ESP32 y ESP8266 [38].

Característica	ESP8266	ESP32
Procesador	Tensilica LX106 32bit a 80MHz (hasta 160MHz)	Tensilica Xtensa LX6 32bit Dual - core a 160MHz (hasta 240MHz)
Memoria RAM	80kB (40kB disponibles)	520kB
Memoria flash	Hasta 4MB	Hasta 16MB
ROM	No	448kB
Alimentación	3.0 a 3.6 V	2.2 a 3.6 V
Procesador	80mA (promedio). 225 mA máximo	80mA (promedio). 225 mA máximo
Consumo en modo sueño profundo	20uA (RTC + memoria RTC)	2.5 uA (10uARTC + memoria RTC)
Coprocesador de bajo consumo	No	sí, consumo inferior a 150uA
Wifi	802,11 b/n/g (hasta +20 dBm) WEP, WPA	802,11 b/n/g (hasta +20 dBm) WEP, WPA

## 2.3. Adquisición de datos

Un sistema DAQ básico sería un Arduino que recoge los datos, los procesa en tiempo real y posteriormente transporta los datos al lugar donde van a ser almacenados para ejecutar acciones. El encargado del proceso de adquisición es el Arduino Mega, en este microcontrolador irán conectados los sensores.

Cuando se recolecta datos para su procesamiento se toma en cuenta las variables que se desea medir, cómo se van a conectar y que se va a hacer con estos datos.

En el sistema se tomará mediciones constantes de sensores de pH, CE, sensores de nivel flotador y sensor de ultrasonido.

### 2.3.1. Medición de pH

El sensor electo es GAOHOU PH 0-14, un sensor analógico de detección de pH. Se muestra en la Figura 2.7., tiene un tiempo de respuesta  $\leq 5s$  y su electrodo tiene un solo cilindro que permite la conexión directa al terminal de entrada del medidor de pH. La selección de este sensor se basa en que la medición de pH en las fresas se realiza como máximo 4 veces al día y en un rango de 5.5 a 6.5 [39].



Figura 2.7. Sensor Gaohou pH 0-14 [39].

Como se observa el circuito tiene dos potenciómetros; offset y límite de pH. Además, el sensor es lineal por lo que tomando dos puntos se deduce la ecuación 2.1 para convertir el voltaje medido a pH.

$$pH = m(\text{voltaje medido}) + b \quad (2.1)$$

Los valores de  $m$  y  $b$  se calculan con las tablas respectivas de calibración en el siguiente capítulo.

La lógica del programa para controlar y equilibrar el pH de la solución nutritiva se muestra en la Figura 2.8. El microcontrolador compara los valores de pH registrados por el sensor de pH y, en consecuencia, los actuadores se activan automáticamente a través de la lógica diseñada. Los valores son comparados y analizados.

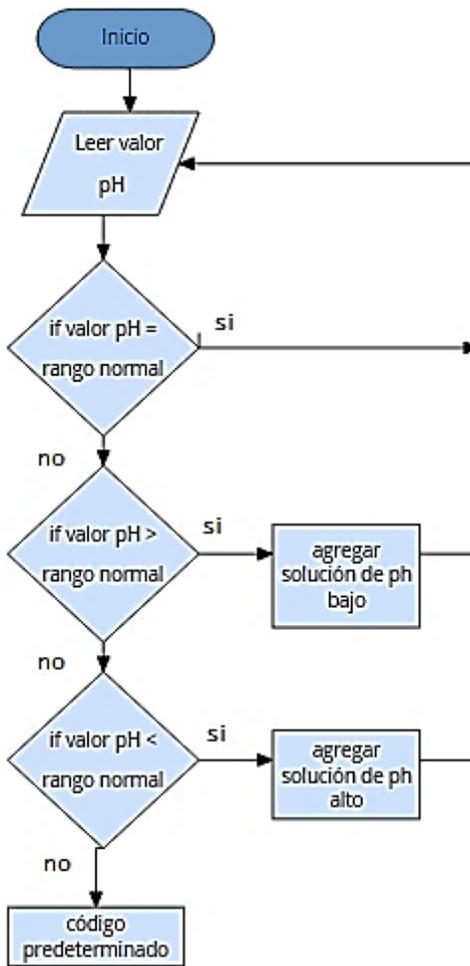


Figura 2.8. Lógica de control pH.

### 2.3.2. Medición de CE

El sensor de CE que se muestra en la Figura 2.9. es seleccionado tomando en cuenta la comparación de funcionamiento que se puede realizar con el sensor de pH analógico.



Figura 2.9. Circuito de conductividad embebido [40].

Además, se considera un rango mínimo y máximo de funcionamiento y la adaptabilidad con el circuito de conductividad embebido que este posee para medir conductividad, total de sólidos disueltos, salinidad, gravedad específica. Este sensor trabaja mediante protocolo UART e I2C [40].

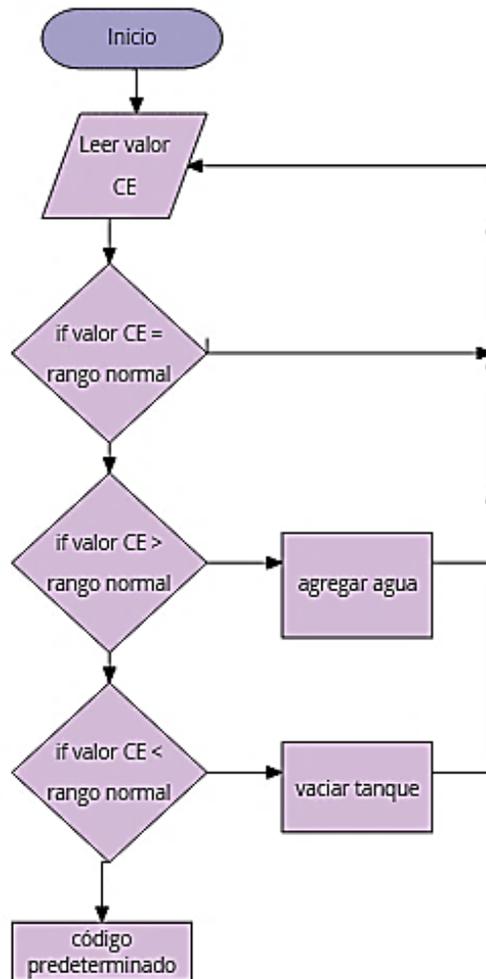


Figura 2.10. Lógica de control CE.

Los valores registrados indican que los parámetros a los cuáles está sujeta la CE de la solución nutritiva. Si la CE es menor que el rango especificado, la solución nutritiva en proporción con el tanque es reemplazada por completo. Si la CE es alta, se bombea agua a

el tanque para equilibrar el nivel de CE. La toma de decisiones la realiza la ESP32 a través de la implementación lógica. La Figura 2.10. muestra la lógica del programa y el diagrama de flujo para equilibrar la CE en el tanque de solución nutritiva.

### 2.3.3. Medición de nivel

El sistema necesita de 2 sensores para controlar el nivel de agua potable, solución nutritiva y funcionamiento correcto de la bomba.

Por ello, para la medición de nivel se selecciona el sensor interruptor de nivel flotador ya que es un tipo de dispositivo de control de nivel de líquido con estructura simple, cómodo de usar, tienen las ventajas de alta sensibilidad y durabilidad. Por su costo, fácil programación y adecuación al sistema se considera como la mejor opción [41]. Véase Figura 2.11.



Figura 2.11. Gikfun M8 - Sensor de nivel flotador [41].

La Figura 2.12. muestra la lógica del programa y el diagrama de flujo para equilibrar el nivel de líquido en el tanque de solución nutritiva. Por una parte, el nivel low se asegura que la bomba de agua funcione únicamente cuando el nivel sea el óptimo, es decir, cubra la altura de la bomba. Mientras que el nivel high hace referencia hasta que cantidad de agua se puede incorporar en el tanque y el alcance mínimo de medición del sensor ultrasónico.

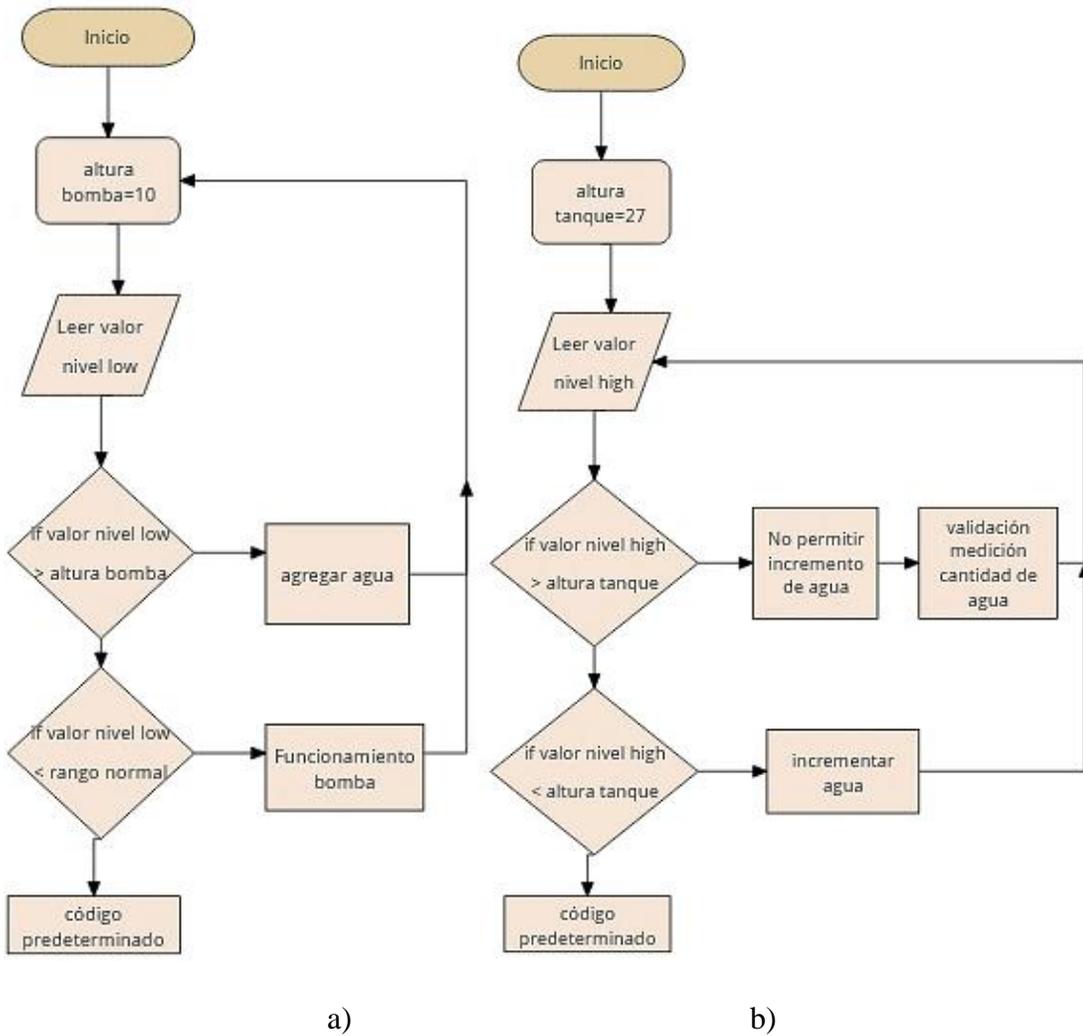


Figura 2.12. a) Lógica de control nivel low, b) Lógica de control nivel high.

### 2.3.4. Medición cantidad de agua

Este sensor será el encargado de regular la cantidad de agua en medición litros que va a entrar al reservorio, consta de transmisor ultrasónico, receptor y circuito de control con un ángulo efectivo menor a 15 grados [42]. Posee dos ojos por donde emite y recibe los ultrasonidos, uno es el Trigger o emisor, que se conectará a un pin digital en modo OUTPUT y por donde emitiremos el ultrasonido, y el otro es el Echo o receptor, que se

conecta a un pin digital en modo INPUT y se encargará de detectar o recoger la onda ultrasónica [40]. Véase Figura 2.13.



Figura 2.13. Excelity HC-SR04 - Módulo ultrasónico [42].

El sensor de ultrasonidos al medir la cantidad de espacio vacío en el recipiente es capaz de reconocer la capacidad total del recipiente y al restar la cantidad de espacio vacío se puede determinar cuánto líquido hay como detalla la ecuación 2.2 y 2.3.

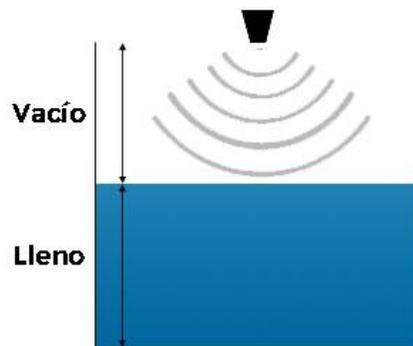


Figura 2.14. Funcionamiento módulo ultrasónico [42].

$$DistanciaLleno (cm) = distanciaTotal(cm) - distancia Vacío(cm) \quad (2.2)$$

$$Cantidad Líquido = distanciaLleno(cm) * \frac{100 (ml)}{distancia100ml(cm)} \quad (2.3)$$

## 2.4. Procesamiento de la acción de control

### 2.4.1. Diagramas funcionales

Una vez adquirido la voz del cliente y del ingeniero, se debe tener en cuenta los elementos más relevantes del proceso [43].

- a) Funciones primarias: son aquellas por las cuál el cliente comprará el producto
- b) Funciones secundarias: son aquellas que dan paso para que la función primaria se ejecute satisfactoriamente.

#### 2.4.1.1. Nivel 0

El nivel 0 representa el funcionamiento básico que tiene el sistema, donde se indica los elementos de entrada y el resultado que se obtiene. Ver Figura 2.15.



Figura 2.15. Nivel 0 – caja negra.

#### 2.4.1.2. Nivel 1

Este nivel muestra una descripción y desglose de subfunciones dentro de la descomposición funcional con la finalidad de llegar a conocer detalladamente el proceso que se realiza en el sistema de dosificación de nutrientes. Ver Figura 2.16.

Partiendo del diagrama de funciones, se realiza un análisis modular de las 6 subdivisiones.

El proceso inicia con el ingreso de agua potable y las mediciones de pH correspondientes. Dependiendo de dichos valores se realiza el control mediante el suministro de ácido o base utilizando bombas peristálticas con regulación de caudal; dando como resultado el agua tratada en el reservorio principal.

Por otra parte, las soluciones concentradas A y B deben ser dirigidas hacia el reservorio principal en proporciones medidas dependiendo de lo que desee el cliente.

Cuando las soluciones A, B y agua tratada están en el reservorio principal se realiza la medición de CE. Su control corresponde en permitir la incorporación de agua o evacuando todo el líquido del reservorio dependiendo el caso. Todas las sustancias que llegan al reservorio deben ser mezcladas para lograr un líquido homogéneo y totalmente disuelto mediante la utilización de una bomba de aire que además permite la oxigenación en el reservorio.

La medición del nivel ayuda a mantener la cantidad de sustancia adecuada para que no rebase el límite máximo y mínimo que permite un buen funcionamiento de los actuadores, principalmente de la bomba de agua; la misma que se encarga de la recirculación.

Finalmente, la visualización de valores se realiza por medio de un sistema SCADA utilizando una Interfaz gráfica que permite el monitoreo, control manual y automático de todos los componentes.

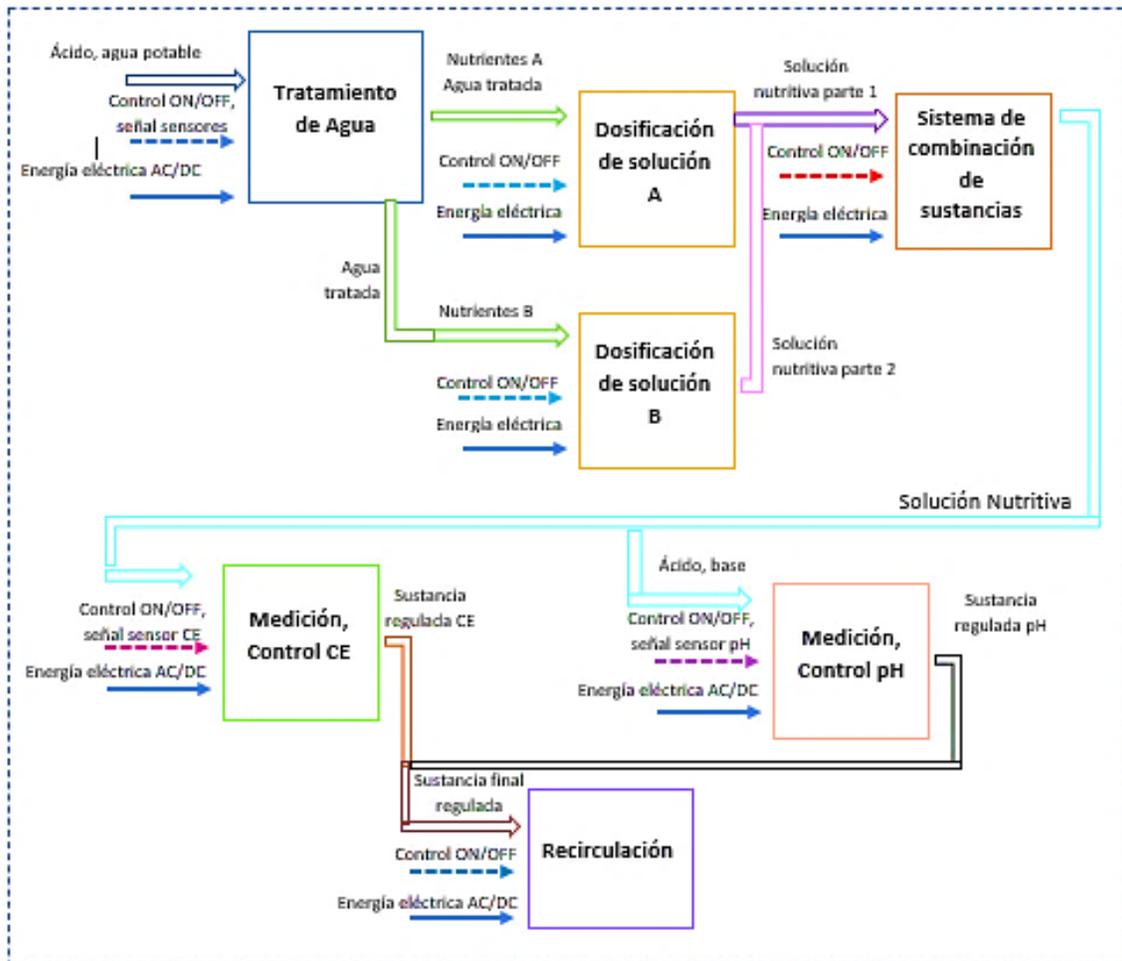


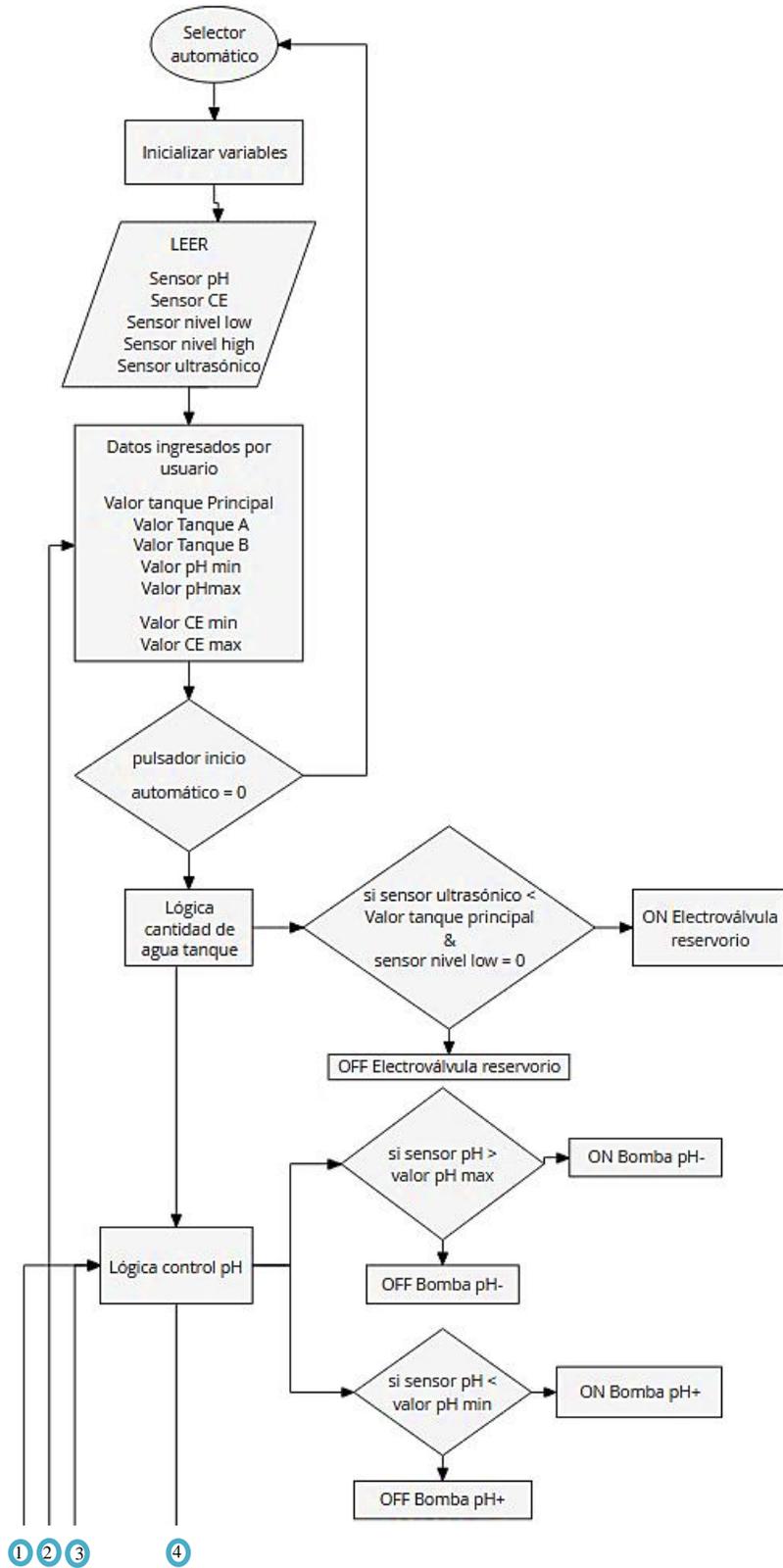
Figura 2.16. Estructura funcional.

## 2.4.2. Algoritmo de programación del sistema

Se implementa el diagrama de flujo para calcular la acción de control del sistema, en el cual se muestra detalladamente los pasos o procesos a seguir para su automatización.

Véase

Figura 2.17.



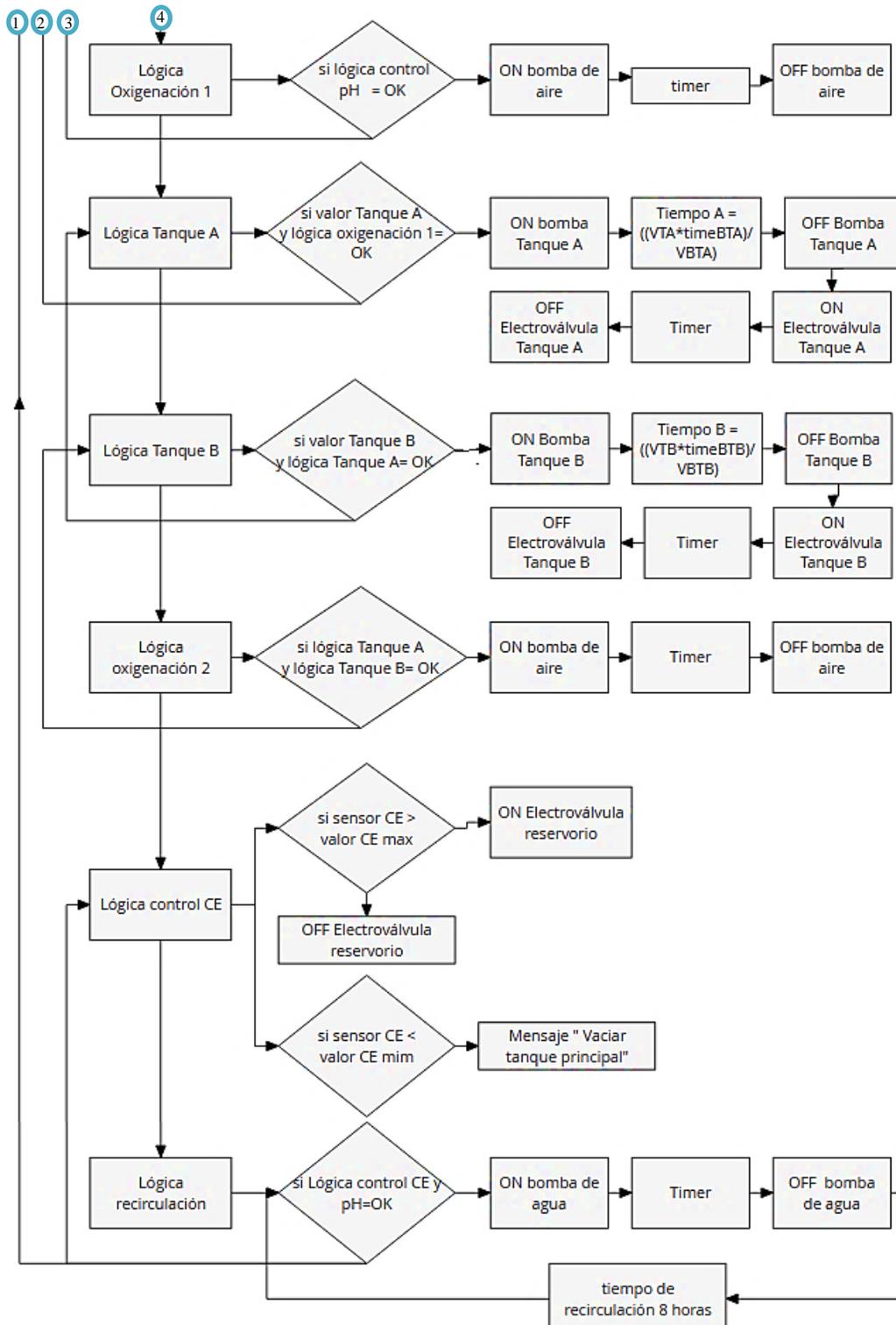


Figura 2.17. Diagrama de flujo del sistema.

## 2.5. Ejecución de la acción de control

Los elementos de ejecución hacen referencia a la incorporación de actuadores, estos componentes son capaces de transformar una energía en activación de un proceso dando paso a la automatización. Las señales emitidas de la ESP 32 generan la orden para activar un elemento final de control.

### 2.5.1. Selección de electroválvulas

Se utiliza electroválvulas porque son las que se ajustan correctamente al diseño del sistema y son óptimas para manejarlas en modo manual y automático. Las electroválvulas que intervienen tomando en cuenta el análisis modular son:

- Entrada del agua potable al reservorio principal
- Entrada solución A al reservorio principal
- Entrada solución B al reservorio principal

**Válvula Solenoide - SNS 2W025-08.** - Es una válvula solenoides de 2 vías, puerto NPT de 1/4", cuerpo de latón, AC110 voltios para facilitar conexiones y operación en agua con la presión del grifo entre 100 kPa o 150 kPa de mínimo y 500 kPa de máximo. Figura 2.16. [44].



Figura 2.18. Válvula Solenoide - SNS 2W025-08 [44].

### 2.5.2. Selección de bombas peristálticas con regulador de caudal

La bomba peristáltica con el regulador de caudal es la variante seleccionada ya que nos permitirá tener un mayor control en la cantidad de soluciones concentradas, lo más importante para el sistema es que esta bomba satisface una variedad de requisitos de flujo controlado principalmente en la compensación de pH, soluciones A y B.



Figura 2.19. Gikfun - Bomba dosificadora peristáltica ajustable [45].

La bomba peristáltica adquirida es de la marca Gikfun como se puede mostrar en la Figura 2.19. y sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Especificaciones técnicas bomba peristáltica Gikfun [45].

<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Detalle</b>
Tasa de flujo:	0.01 – 0.07 L/min
Tamaño del tubo:	0.079 in ID x 0.157 in OD
Fuente de alimentación:	12 CC

### 2.5.3. Selección bomba de aire de acuario

La bomba Hitop es una bomba de oxígeno silenciosa para tanque pequeño de hasta 15

galones, hecho de plástico ABS de ingeniería espesante con almohadillas de goma suave para los pies más paliación para el ruido [46].



Figura 2.20. Bomba de aire Hitop [46].

Esta bomba de aire es adecuada para tanques frescos y acuarios marinos. Se utiliza en plantas hidropónicas. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Especificaciones técnicas bomba de aire [46].

<b>Especificaciones Técnicas</b>	<b>Detalle</b>
Flujo:	1.5L/min
Presión:	18Kpa
Alimentación:	AC: 110-120 V, 60 Hz
Potencia:	2W

## 2.6. Presentación de la información

La información será mostrada en la HMI del sistema SCADA, se toma en cuenta la normativa HMI ISA101-2015; que establece estándares, prácticas recomendadas e informes técnicos relacionados con la realización de una interfaz.

Según [47] “El propósito del estándar ANSI/ISA-101.01-2015 es abordar la filosofía, el diseño, la implementación, la operación y el mantenimiento de las HMI para los sistemas de automatización de procesos, a lo largo de su ciclo de vida”.

Como señala [30], la interfaz hombre-máquina abarca los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica, presentándolos de manera sencilla y fácil de entender

### 2.6.1. Árbol de directorio - sinópticos HMI

En la Figura 2.21. se aprecia la distribución de los sinópticos en el HMI que estarán contemplados en el diseño. El sinóptico 1 lleva consigo el diseño final del sistema y su funcionamiento en tiempo real con las visualizaciones de sensores y seguimiento del proceso. Además, en él se puede tomar decisiones de operación automática o manual.

El sinóptico 2 y 3 hacen referencia al control manual de los actuadores mencionados en el diagrama de bloques. Aquí el usuario podrá operar en encendido y apagado.

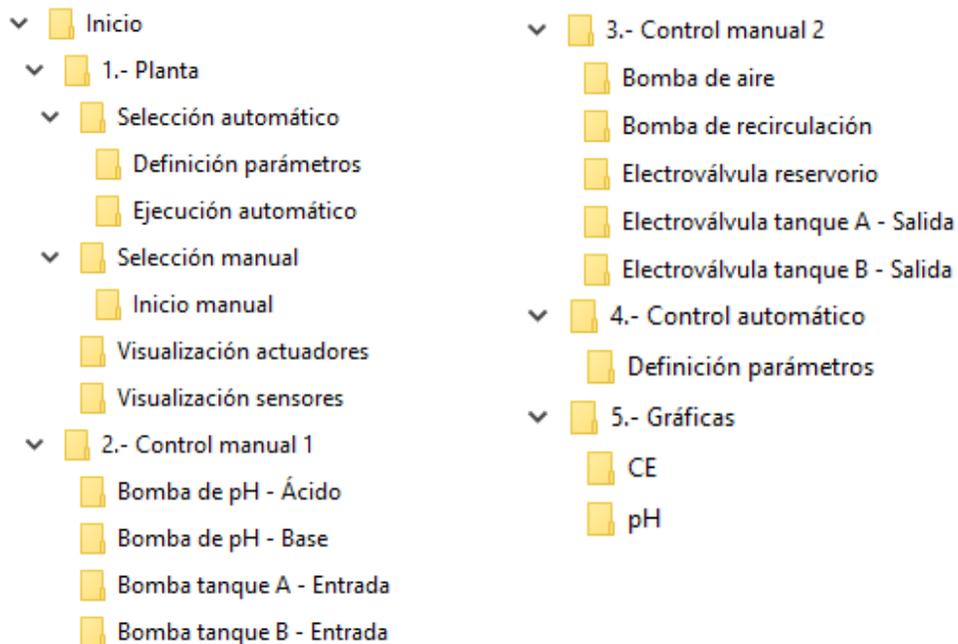


Figura 2.21. Diseño distribución sinópticos.

El sinóptico 4 es complementario para el funcionamiento automático, ya que en esta se ingresa los parámetros iniciales de funcionamiento como nivel de agua potable, cantidad de solución nutritiva y rangos de funcionamiento para el control de pH y CE.

El sinóptico 5 muestra las gráficas de la medición realizada por los sensores para de esta manera generar los datos a evaluarse y que avalan el sistema.

## 2.7. Programación Arduino Mega, ESP32 y SCADA

El controlador Arduino Mega puede activar y desactivar salidas junto con el envío y recepción de datos en forma serial. La ESP32 por su parte, es la encargada de comunicarse con el sistema SCADA y en su programación guardar el modo automático y manual del sistema. A continuación, se presentan los esquemas que detallan la programación en los controladores.

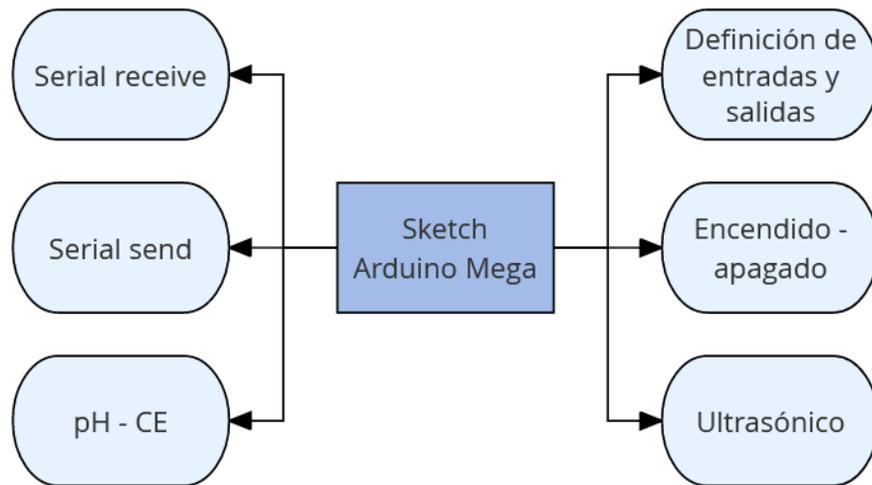


Figura 2.22. Esquema programación Arduino Mega.

Las variables de lectura y escritura se muestran en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente.

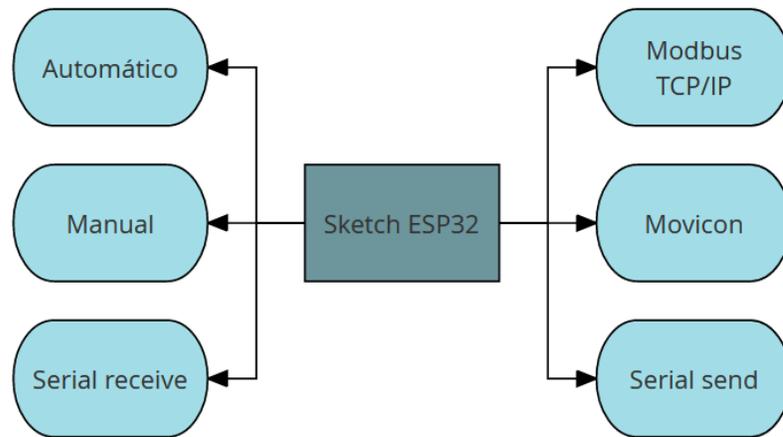


Figura 2.23. Esquema programación ESP32.

En el sistema se tomará mediciones constantes de sensores de pH, CE, sensores de nivel flotador y sensor de ultrasonido. En la Tabla 2.6. se detalla los pines correspondientes en la tarjeta Arduino Mega y su tipo de señal o protocolo de comunicación que utiliza. Además, se muestra los pines correspondientes de la conexión de actuadores.

Tabla 2.6. Conexiones físicas sensores y actuadores.

<b>SENSORES</b>		<b>PINES ARDUINO</b>	<b>COMUNICACIÓN</b>
1	Sensor de pH	A0	Entrada Analógica
2	Sensor de CE	SDA1, SCL1	Protocolo I2C
3	Sensor nivel low reservorio	Pin:8	Entrada Digital
4	Sensor nivel high reservorio	Pin:9	Entrada Digital
5	Sensor de ultrasonido	Pin: 2, Pin: 3	Entrada Digital
<b>ACTUADORES</b>			
6	Bomba Tanque A Entrada	Pin:47/ Relé1	Salida digital
7	Bomba Tanque B Entrada	Pin:49/ Relé2	Salida digital
8	Bomba de pH_ácido	Pin:51 /Relé3	Salida digital
9	Bomba de pH_base	Pin:53 /Relé4	Salida digital
10	Electroválvula Tanque A SALIDA	Pin: 23/Relé5	Salida digital
11	Electroválvula Tanque B SALIDA	Pin:25 /Relé6	Salida digital
12	Bomba de aire	Pin:27 /Relé7	Salida digital
13	Bomba de recirculación de nutrientes	Pin:29/Relé8	Salida digital
14	Electroválvula Reservorio entrada	Pin: 7/ Relé9	Salida digital

# Capítulo 3

## 3. Implementación y Resultados

En el presente capítulo, se detalla el proceso de implementación en el sistema de dosificación automática de solución nutritiva, pH y CE. Además, las pruebas de funcionamiento realizadas con todos los componentes.

### 3.1. Implementación hardware

Una vez definidos los componentes para el sistema dosificador, se realiza la implementación en físico correspondiente en el módulo NFT. Ver Figura 3.1.

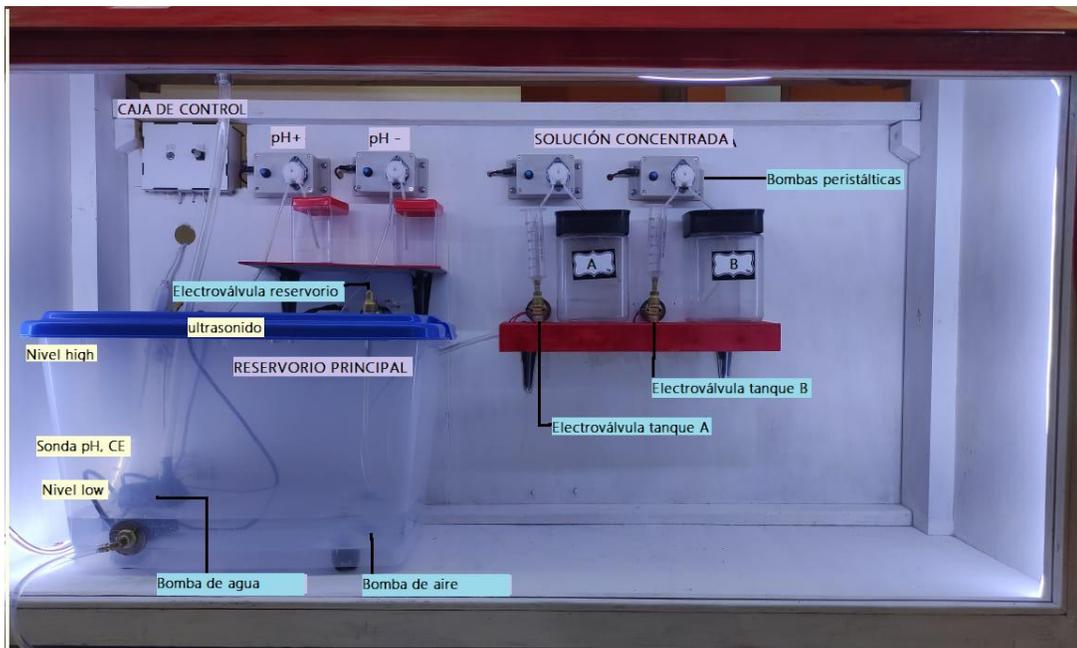


Figura 3.1. Implementación física del sistema.

### **3.1.1. Reservorio principal**

La capacidad del reservorio principal se basa en el número de plantas a cultivar y la revisión bibliográfica menciona lo que cada una de ellas consume en sus diferentes etapas. Por ello, se destina un reservorio con capacidad de 30 litros para abastecer la alimentación. También se observa la ubicación de los sensores: flotador low, flotador high, ultrasónico; y los actuadores: bomba de aire, bomba de agua y electroválvula reservorio. Véase Figura 3.1.

### **3.1.2. Solución concentrada**

La capacidad de los recipientes para las sustancias A, B, contienen 2 litros de volumen; los cuales permiten sobrellevar el periodo de cultivo. Pero es necesario utilizar envases con medición en ml para las cantidades que el usuario decida dosificar respectivamente. En esta sección, las electroválvulas del tanque A y B reflejan la función de permitir el paso de la sustancia medida al reservorio principal por acción de la gravedad. Véase la Figura 3.1.

### **3.1.3. Reguladores de pH y CE**

Los recipientes compensadores de pH + y pH – tienen capacidad de 500 ml; estos son accionados por las bombas peristálticas y mediante una regulación de caudal a 0.02 L/min es controlada la acidez o alcalinidad en la sustancia nutritiva.

En el caso de la CE, se predispone la utilización de la electroválvula del reservorio para la adición de agua y con ello la disminución de conductividad eléctrica.

### 3.1.4. Caja de control

La caja de control hace referencia al cerebro del sistema; ya que guarda en su interior el circuito impreso que incorpora las conexiones de controladores, sensores, nueve salidas relés para los actuadores, alimentación y conexión a tierra.

La norma IPC (Association Connecting Electronics Industries) habla acerca de la aceptabilidad de ensamblajes electrónicos, para obtener un buen diseño, fabricación, ensamble e inspección en las tarjetas de circuitos impresos (PCB) [48]. Se menciona que el ancho de pista a emplearse debe permitir el paso de la corriente máxima que vaya a circular por esta y la separación mínima entre pistas depende de la tensión que soporten. Para tensiones de trabajo digitales (5V-10V) una separación mínima de 0,3mm es suficiente. Con estas especificaciones se realiza el diseño PCB del circuito en el software Fritzing. Véase en la Figura 3.2.

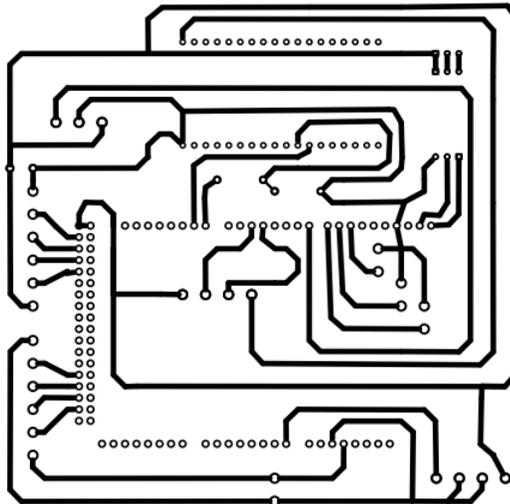


Figura 3.2. Diseño PCB.

La caja de control implementada es realizada en MDF y sujeta al panel principal del sistema; véase Figura 3.1. y Figura 3.3. Sobresale en su parte exterior las conexiones BNC de los sensores de pH y CE con sus respectivas sondas que se sumergen en el reservorio principal.

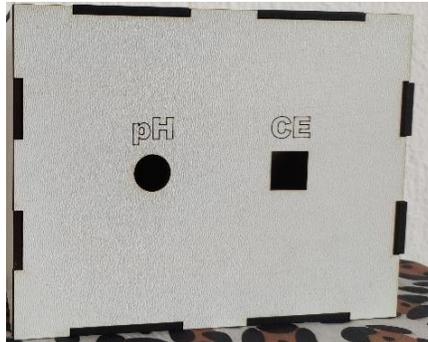


Figura 3.3. Caja de control del sistema.

## 3.2. Calibración de sensores

Se realiza la calibración de los sensores para verificar su funcionamiento, establecer los rangos de las lecturas y el tipo de variables para la programación.

### 3.2.1. Módulo pH

Con el potenciómetro del módulo se logra que un  $\text{pH} = 7$  corresponda a un voltaje de 2.5 V, ya que el pin analógico puede leer voltajes entre 0V y 5V. Por lo tanto, 2.5 V que está a la mitad entre un rango de 0 a 5 Voltios coincide con un  $\text{pH} = 7$  que está en la mitad del rango de 0 y 14.

Una vez cargado el programa en la placa y realizadas las conexiones se desconecta la sonda del conector BNC y se realiza un cortocircuito en ella para proceder a girar el potenciómetro de compensación.

Con las soluciones de calibración de pH que se muestra en la Figura 3.4. se realiza la toma de lecturas para constatar el correcto funcionamiento.



Figura 3.4. Soluciones calibradas pH – Atlas Scientific [39].

Se toma como referencia la solución pH de 7.00 para determinar cuál es el error relativo en la medición del sensor con respecto a la solución de calibración. Véase en la Tabla 3.1. y en la Figura 3.5. el detalle gráfico de estos valores.

Tabla 3.1. Lecturas de calibración sensor pH.

<b>Voltaje</b>	<b>Valor medido Sensor pH</b>	<b>Solución de calibración pH7.00</b>	<b>Porcentaje error relativo (%)</b>
<b>2,500</b>	6,805	7,000	2,78
<b>2,500</b>	6,993	7,000	0,10
<b>2,500</b>	7,150	7,000	2,14
<b>2,500</b>	7,203	7,000	2,90
<b>2,500</b>	7,900	7,000	12,86
<b>2,500</b>	7,180	7,000	2,57
<b>2,500</b>	7,060	7,000	0,86
<b>2,500</b>	7,415	7,000	5,93

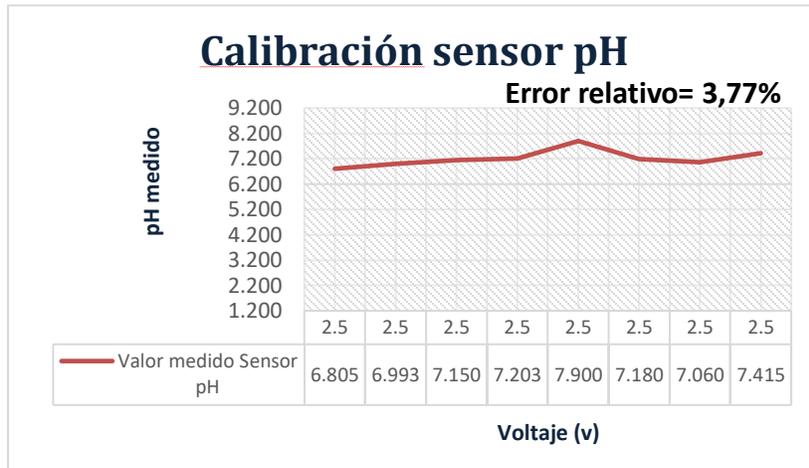


Figura 3.5. Curva de calibración del sensor pH.

### 3.2.2. Sensor de CE

La Figura 3.6. presenta el proceso de calibración de este módulo sensor y su datasheet se encuentra en el Anexo 3.

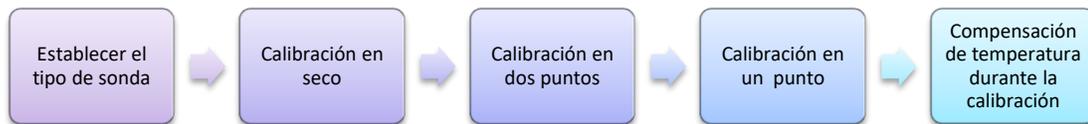


Figura 3.6. Proceso de calibración CE – Atlas Scientific.

Para esta calibración se utiliza soluciones de 80,000 $\mu$ S y 12,880  $\mu$ S correspondiente a 25°C en la temperatura. Véase en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Soluciones calibradas CE – Atlas Scientific [40].

Se realiza la recepción de lecturas de las soluciones y en la Tabla 3.2. se muestra los resultados obtenidos y el error relativo.

Tabla 3.2. Lecturas de calibración sensor CE.

Número de lectura	Valor medido ( $\mu\text{S/cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Solución ( $\mu\text{S/cm}$ )	Error relativo (%)
1	12305	23	12396	0.73
2	12311	23	12396	0.68
3	12099	22	12154	0.45
4	12107	22	12154	0.39
5	12750	25	12800	0.39
6	12762	25	12800	0.30
7	11123	18	11194	0.63
8	11172	18	11194	0.20

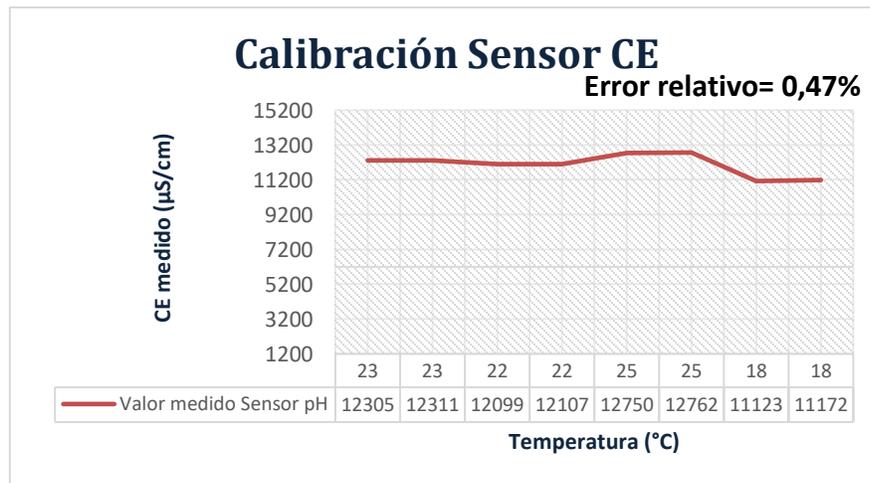


Figura 3.8. Curva de calibración del sensor CE.

### 3.2.3. Sensor de ultrasonido

En la Tabla 3.3. se muestra los resultados de las mediciones realizadas con el sensor de ultrasonido. En primera instancia aparecen las lecturas con el recipiente vacío, esto muestra la altura total del recipiente. Posterior a ello, se añade cantidades de agua en litros que ayudan a conocer mediante la ecuación 2.2 la altura que representa el líquido ingresado.

Tabla 3.3. Lecturas de calibración sensor ultrasónico.

	Número de lecturas	0L (cm)	4L (cm)	8L (cm)	12L (cm)	24L (cm)	32L (cm)	34L (cm)
<b>Espacio vacío</b>	1	30,11	26,90	24,03	20,93	12,09	6,13	4,45
	2	30,14	27,06	23,87	20,86	12,15	6,09	4,52
	3	30,07	26,98	23,94	21,14	11,96	6,03	4,41
	4	30,09	27,10	24,16	21,08	11,93	5,98	4,35
	5	30,00	27,00	24,00	21,00	12,00	6,00	4,50
<b>Espacio lleno</b>	1	0,01	2,96	6,08	9,06	18,12	23,97	25,41
	2	0,00	2,85	6,11	9,02	18,05	23,91	25,49
	3	0,06	3,06	6,03	8,87	18,17	23,86	25,55
	4	0,03	3,16	5,97	8,94	18,05	24,06	25,60
	5	0,00	3,00	6,00	9,00	18,00	24,00	25,50

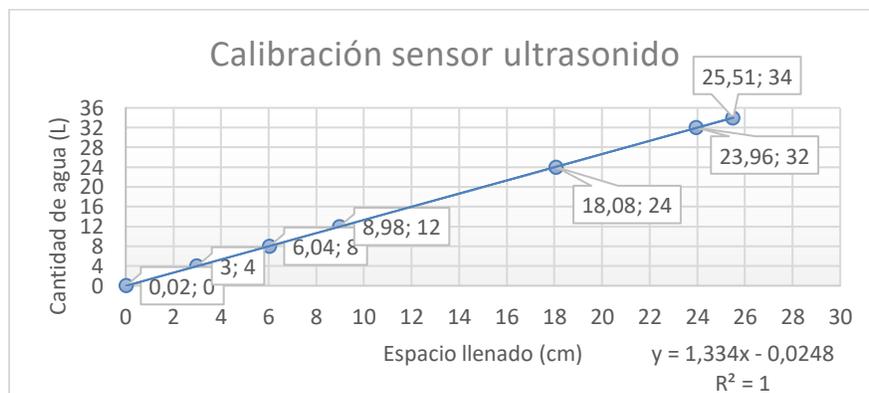


Figura 3.9. Curva de calibración del sensor de ultrasonido.

### 3.3. Regulación soluciones concentradas

La cantidad para incorporar de las soluciones concentradas A y B es de acuerdo con el total de agua tratada que hay en el reservorio. En la Tabla 3.4. se muestra dicho análisis; y de igual manera se muestra el tiempo que lleva en trasladarse al envase con medición en ml trabajando con un flujo de 0.06 L/min en la bomba peristáltica.

Tabla 3.4. Lecturas de funcionamiento en soluciones concentradas A y B

Número de lectura	Cantidad de agua tratada	Solución concentrada A		Solución concentrada B	
	(Litros)	(ml)	Tiempo (s)	(ml)	Tiempo (s)
1	10	50	51	20	21
2	12	60	61	24	25
3	14	70	71	28	29
4	16	80	81	32	33
5	18	90	91	36	37
6	20	100	101	40	41
7	22	110	111	44	45
8	24	120	121	48	49
9	26	130	131	52	53
10	28	140	141	56	57

### 3.4. Implementación de la interfaz humano - máquina

#### 3.4.1. Inicio

La pantalla de Inicio es prácticamente una carátula que engloba la información del sistema y consta de 5 botones de acceso directo que conducen a los demás sinópticos encargados del monitoreo, control y supervisión constante del módulo. Véase Figura 3.10.



Figura 3.10. Sinóptico Inicio HMI.

### 3.4.2. Planta

El sinóptico planta muestra en detalle la representación del módulo físico con todos los bloques indicados. Esta pantalla mediante el botón selector U – on/off permite al usuario seleccionar el modo manual u automático.

Si el usuario selecciono el modo automático, debe primero ingresar los rangos de trabajo del módulo pulsando el botón “Ajuste de parámetros”; seguidamente la perilla selectora que inicia este modo.

Se presenta la visualización de los actuadores y las mediciones constantes de los sensores de pH, CE, ultrasonido, nivel low, nivel high.

Véase Figura 3.11.

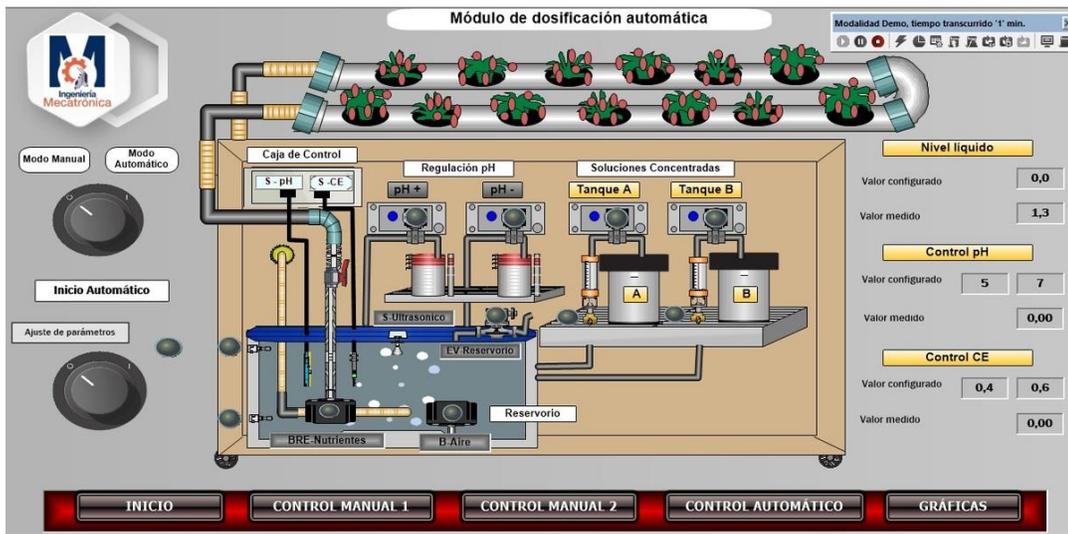


Figura 3.11. Sinóptico Planta HMI.

### 3.4.3. Control manual 1 y Control manual 2

Estos sinópticos hacen referencia a la operación en modo manual de los actuadores, esta se realiza mediante pulsadores de encendido y apagado que tiene cada uno. Por su parte, el indicador led permite observar el correcto funcionamiento en la conexión SCADA.

Véase Figura 3.12.

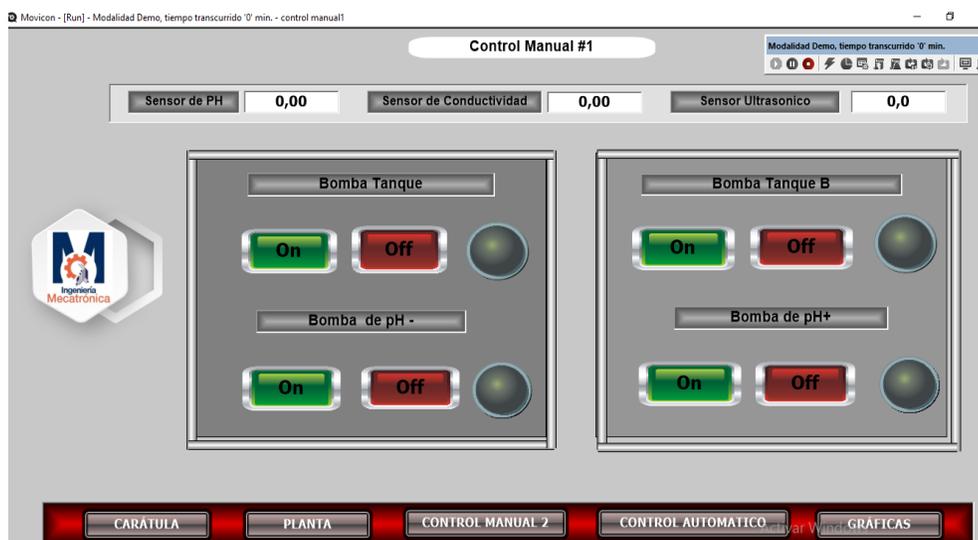


Figura 3.12. Sinóptico Control Manual HMI.

### 3.4.4. Gráficas pH y CE

Esta pantalla permite observar el comportamiento de los sensores y el control realizado en ellos en tiempo real. Véase Figura 3.13.

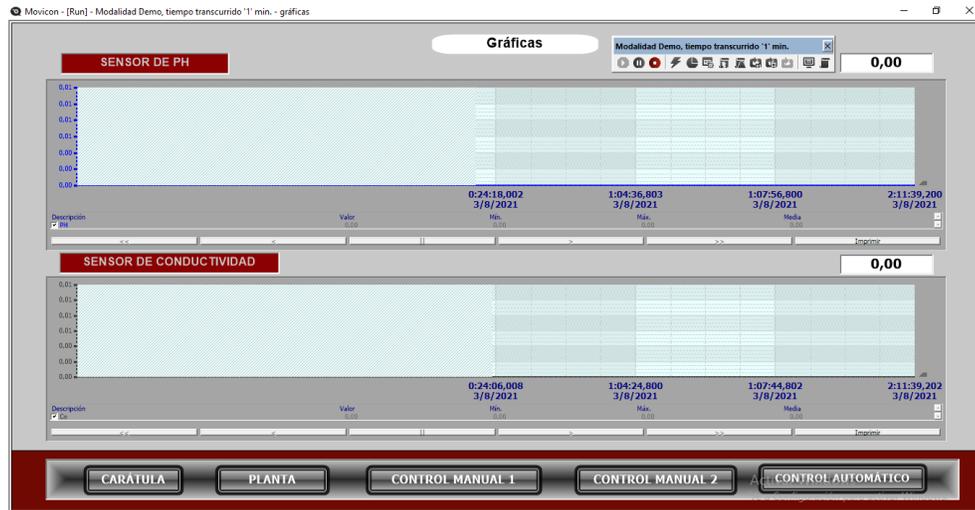


Figura 3.13. Sinóptico Gráficas HMI.

## 3.5. Pruebas de funcionamiento

Una vez implementado el sistema de dosificación se unifica las partes correspondientes al trabajo de hidroponía inteligente.

Las pruebas inician con la incorporación de las plántulas de fresas al sistema y la recepción de lecturas en el modo automático en el cultivo durante un periodo 8 semanas.

### 3.5.1. Control de pH

La Tabla 3.5. muestra las lecturas tomadas con relación al control de pH. Se inicia con la declaración de los rangos permisibles de pH con los cuáles trabajará el módulo, logrando así una adaptabilidad a cualquier sistema hidropónico.

El control se lo realiza en la incorporación de agua potable como primera lectura y en la duración de la solución nutritiva durante una semana.

Tabla 3.5. Lecturas del control de pH

<b>Rango de pH (5,5 - 6,2)</b>				
Número de lectura	Medición del sensor	Compensación H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> en pulsos 0.02 L/min	Compensación KOH en pulsos 0.02 L/min	Valor pH obtenido
<b>Semana 1</b>				
Agua potable	7,15	15	0	5,83
Solución Nutritiva	6,50	4	0	5,85
<b>Semana 2</b>				
Agua potable	7,26	18	0	5,85
Solución Nutritiva	5,72	0	1	5,80
<b>Semana 3</b>				
Agua potable	7,00	10	0	5,85
Solución Nutritiva	5,45	0	5	5,90
<b>Semana 4</b>				
Agua potable	7,26	18	0	5,82
Solución Nutritiva	6,30	8	0	5,87
<b>Semana 5</b>				
Agua potable	7,00	10	0	5,80
Solución Nutritiva	6,00	2	0	5,84
<b>Semana 6</b>				
Agua potable	7,15	14	0	5,86
Solución Nutritiva	5,72	0	1	5,83
<b>Semana 7</b>				
Agua potable	7,20	15	0	5,94
Solución Nutritiva	6,10	2	0	5,89
<b>Semana 8</b>				
Agua potable	7,23	17	0	5,81
Solución Nutritiva	5,94	1	0	5,86

### 3.5.2. Control CE

En el HMI se ajusta el rango de funcionamiento de este parámetro y las lecturas promedio se analizan semanalmente, tomando en cuenta que la cantidad de solución nutritiva preparada va aumentando conforme crecen las plantas. Y el sensor ultrasónico es preciso para saber qué cantidad de agua se adiciona para controlar la conductividad. Véase Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Lecturas del control de CE

<b>Rango de CE (1,2 – 1,5 mS/cm)</b>					
Número de lectura	Solución preparada (Litros)	Medición del sensor (mS/cm)	Compensación con agua (Litros)	Nueva solución	Valor CE (mS/cm)
<b>Semana 1</b>					
S. Nutritiva	14,6	1,72	8	---	1,32
<b>Semana 2</b>					
S. Nutritiva	16,3	1,64	7	---	1,30
<b>Semana 3</b>					
S. Nutritiva	18,1	1,58	6	---	1,34
<b>Semana 4</b>					
S. Nutritiva	20,0	1,50	4	---	1,33
<b>Semana 5</b>					
S. Nutritiva	22,9	1,42	3	---	1,36
<b>Semana 6</b>					
S. Nutritiva	24,5	1,34	0	---	1,34
<b>Semana 7</b>					
S. Nutritiva	26,2	1,24	1	---	1,24
<b>Semana 8</b>					
S. Nutritiva	28,1	1,18	0	SI	---

## 3.6. Análisis de resultados

### 3.6.1. Resultados en el sistema hidropónico

La mejor manera de evaluar los resultados es en base al desarrollo de las plantas y su paso por las fases de crecimiento, vegetación y floración. Y por ello se muestra en la Figura 3.14. todo el proceso llevado a cabo.



Figura 3.14. Producción fresas hidropónicas.

### 3.6.2. Resultados en base a requerimientos cualitativos

Los resultados se evalúan cualitativamente tomando como principal referencia los deseos del cliente y en base al trabajo realizado se describe si se cumplió ese aspecto. Véase Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Esquema de resultados cualitativos

Descripción	Cumple	Observaciones
Utilización de sensores de pH y CE	Si	El sensor de CE no tiene disponibilidad en el país.
Control y regulación pH	Si	Se aplica un control on/off en lazo cerrado y se regula con las bombas peristálticas.
Control y regulación de CE	Si	Se aplica un control on/off en lazo cerrado y se regula con la electroválvula reservorio.
Sistema con fácil movilidad	Si	El diseño del sistema permite el fácil ensamble y la movilidad del módulo.
Diseño HMI – supervisión remota	Si	Movicon11 permite el diseño HMI y la supervisión remota con el protocolo TCP/IP
Sistema de alarmas	Si	En la interfaz se incorpora este parámetro.
Sistema de medición niveles de agua	Si	Los sensores flotadores permiten saber nivel máx y min en el reservorio y el sensor ultrasónico la lectura de la cantidad de agua.
Sistema de recirculación de agua periódicamente	Si	En la programación consta este parámetro de recirculación automática cada 8 horas.
Dosificación de las soluciones nutritivas	Si	Se dosifica las soluciones concentradas A y B de acuerdo con lo ingresado por el usuario.
Sistema de oxigenación dentro del reservorio	Si	La bomba de aire solventa este parámetro al igual que la homogenización de las sustancias.
Adaptabilidad a diversos sistemas hidropónicos	Si	Se adapta a todo sistema porque los rangos de pH, CE son ingresados por el usuario dependiendo el cultivo.
Mantenimiento	Si	Fácil mantenimiento, pero se recomienda cambiar las mangueras cada 3 meses.
Funcionamiento con red eléctrica 110V	Si	

# Capítulo 4

## 4. Conclusiones y Trabajo futuro

### 4.1. Conclusiones

Este trabajo presenta la realización de un sistema de dosificación automática para cultivos hidropónicos; capaz de controlar y ejecutar acciones en la estructura física mediante una supervisión remota.

El modelo conceptual aplicado define tres niveles de trabajo: nivel de campo, nivel de control y nivel de supervisión. El nivel de campo desempeñó un papel importante ya que permitió determinar que sensores y actuadores son convenientes y se ajustan a los requerimientos del diseño.

El nivel de control ayudó a definir que controladores utilizar y que función desempeñarían; por ello, se decidió una comunicación serial entre un Arduino Mega que se encarga de recibir las señales analógicas, digitales simples y buses digitales con la ESP32 como servidor y controlador programable del modo manual y automático.

El nivel de supervisión es un complemento al control; por lo cual se ejecutó una comunicación TCP/IP entre la ESP 32 y Movicon 11 generando un sistema SCADA con el diseño de la HMI.

La metodología de diagramas funcionales permitió subdividir cada proceso y analizar que sucede con las variantes de energía, materia y señal en la obtención de resultados. Por otra parte, permitió seleccionar las alternativas adecuadas para el diseño e implementación.

En la implementación se determinó que, la investigación de los parámetros de cultivo en las fresas hidropónicas permite determinar los rangos de control de pH y CE con los cuales trabaja el sistema. Los rangos establecidos fueron: pH de 5,5 a 6,2 y CE de 1,2 a 1,5 mS/cm.

En el registro de las mediciones de calibración de los sensores de pH, CE, ultrasónico y verificación de funcionamiento de los actuadores se produjo errores en el buffer de envío del Arduino Mega, porque la configuración del bus de datos serial no acondicionaba idóneamente la información con los canales de envío entre el sensor de CE y la bomba de recirculación. Por consiguiente, se opta por la estructura de envío en forma de bytes por el puerto serie.

La programación se dividió en 3 secciones debido a la estructura de cliente, servidor y controlador. Lo principal fue lograr la comunicación entre Movicon, ESP32 y Arduino Mega; ya que se experimentó un modelo actual de sistema SCADA con el componente ESP 32; muy importante para trabajar con industria 4.0 a bajo costo.

Para garantizar el control continuo de pH y CE dentro del reservorio se lleva a cabo la selección del sensor analógico para pH y el sensor digital con protocolo I2C para CE. De esta manera se obtiene un funcionamiento simultáneo y una adquisición de datos por canales diferentes. Con esto, se interpreta que el error relativo del sensor digital es menor y tiene mayor precisión en referencia al sensor analógico.

El sistema se adaptó al ensamble final de hidroponía inteligente y de las tablas de resultados se infiere que se cumplió con los objetivos propuestos y los requerimientos del usuario. El sistema automático de dosificación funcionó correctamente dotando a las plantas la solución nutritiva únicamente necesaria para su crecimiento y controlando el pH y CE constantemente. Además, se incorpora la adaptabilidad a cualquier sistema hidropónico con el ingreso inicial de parámetros y rangos a controlar en el HMI.

## **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda utilizar sensores digitales con protocolo I2C tanto en pH y CE, para facilitar la programación con el envío de bytes por el puerto serie.

En el sistema de regulación de pH se recomienda que el actuador; en este caso, las bombas peristálticas consten de un control de caudal para facilitar la realización de pruebas de funcionamiento con diferentes flujos y de una manera sencilla.

Se debe realizar el mantenimiento del sistema luego de cada período de cultivo para evitar el crecimiento de algas.

Al implementar un sistema de baja escala, se recomienda incorporar una bomba de aire en el reservorio principal para oxigenar la solución nutritiva, ya que se puede generar un déficit alimenticio en las plantas.

### **4.3. Trabajo futuro**

Implementar proyectos con la utilización de la ESP32 y la Industria 4.0 para generar una base de datos o trabajar con procesos de Big Data y control Fuzzy en investigaciones de inteligencia artificial.

Incorporar mejoras en el módulo, es decir, mayor cantidad de parámetros controlados en la solución nutritiva como: cantidad de oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y un actuador que facilite la evacuación automática del líquido del reservorio.

En las soluciones concentradas A, B y C se recomienda plantear el diseño y construcción de un sistema automático de formulación y un control de los micronutrientes y macronutrientes para determinar cómo afecta el pH y CE de la solución final. Un trabajo que se lo realizaría con FICAYA.

En el diseño de la HMI y programación se recomienda incorporar el proceso de calibración automática de los sensores ya que en este proyecto se optó por mantenerlos como procesos separados; la medición y calibración.

# Anexos

## Anexo 1. Variables de lectura – programación

<b>Variables de lectura</b>	<b>Entrada o Salida Asignada Movicon</b>	<b>Variable ESP32</b>	<b>Variable Modbus</b>
Valor de pH	Monitoreo1[0]	PH	IREG1_1
Valor de CE	Monitoreo1[1]	CE	IREG1_2
Sensor nivel low reservorio	Monitoreo1[2]	SNLOW_RESV	IREG1_3
Sensor nivel high reservorio	Monitoreo1[3]	SNHIGH_RESV	IREG1_4
Sensor de ultrasonido	Monitoreo1[4]	SNLOW_TAGUA	IREG1_5
Bomba Tanque A Entrada	Monitoreo1[5]	BTA_IN	IREG1_6
Bomba Tanque B Entrada	Monitoreo1[6]	BTB_IN	IREG1_7
Bomba de pH_ácido	Monitoreo1[11]	BPH_ACIDO	IREG1_12
Bomba de pH_base	Monitoreo1[12]	BPH_BASE	IREG1_13
Electroválvula Tanque A SALIDA	Monitoreo1[9]	EVTA_OUT	IREG1_10
Electroválvula Tanque B SALIDA	Monitoreo1[10]	EVTB_OUT	IREG1_11
Electroválvula Reservorio entrada	Monitoreo1[7]	EV_RESV	IREG1_8
Bomba de aire	Monitoreo1[8]	BAIRE	IREG1_9
Bomba de recirculación de nutrientes	Monitoreo1[13]	BRE_NUTRIENTES	IREG1_14

## Anexo 2. Variables de escritura – programación

Variables de escritura	Entrada o Salida Asignada Movicon	Variable Modbus	Nombre ESP32
<b>Bomba Tanque A Entrada</b>			
Pulsador activación bomba TANQUE A	Manual1[0]	HREG1_1	PON_BTA_IN
Pulsador desactivación bomba TANQUE A	Manual1[1]	HREG1_2	POFF_BTA_IN
<b>Bomba Tanque B Entrada</b>			
Pulsador activación bomba TANQUE B	Manual1[2]	HREG1_3	PON_BT B_IN
Pulsador desactivación bomba TANQUE B	Manual1[3]	HREG1_4	POFF_BT B_IN
<b>Electroválvula Reservorio</b>			
Pulsador activación electroválvula RESERVORIO	Manual1[4]	HREG1_5	PON_EV_RESV
Pulsador desactivación electroválvula RESERVORIO	Manual1[5]	HREG1_6	POFF_EV_RESV
<b>Bomba de aire</b>			
Pulsador activación Bomba de aire	Manual1[6]	HREG1_7	PON_BA
Pulsador desactivación Bomba de aire	Manual1[7]	HREG1_8	POFF_BA
<b>Electroválvula Tanque A SALIDA</b>			
Pulsador activación electroválvula TANQUE A SALIDA	Manual2[0]	HREG2_1	PON_EVTA_OUT
Pulsador desactivación electroválvula TANQUE A	Manual2[1]	HREG2_2	POFF_EVTA_OUT
<b>Electroválvula Tanque B SALIDA</b>			

Pulsador activación electroválvula TANQUE B SALIDA	Manual2[2]	HREG2_3	PON_EVTB_OUT
Pulsador desactivación electroválvula TANQUE B SALIDA	Manual2[3]	HREG2_4	POFF_EVTB_OUT
<b>Bomba de pH_ácido</b>			
Pulsador activación pH ácido	Manual2[4]	HREG2_5	PON_BPH_ACIDO
Pulsador desactivación pH ácido	Manual2[5]	HREG2_6	POFF_BPH_ACIDO
<b>Bomba de pH_base</b>			
Pulsador activación pH base	Manual2[6]	HREG2_7	PON_BPH_BASE
Pulsador desactivación pH base	Manual2[7]	HREG2_8	POFF_BPH_BASE

## Anexo 3. Datasheet sensor Ezo EC.



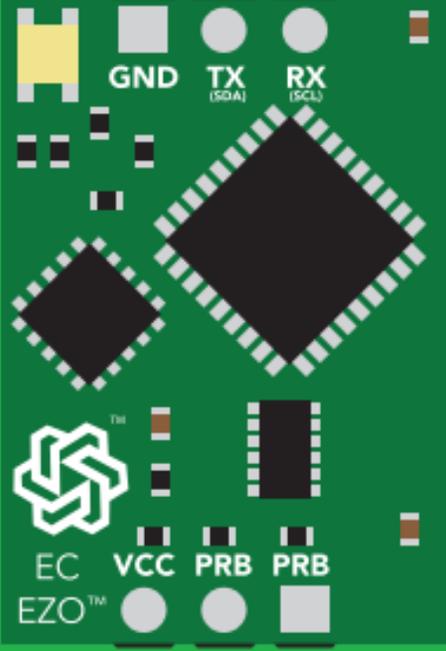
# AtlasScientific™

Environmental Robotics

**V 6.2**  
Revised 9/20

# EZO-EC™

## Embedded Conductivity Circuit

Reads	Conductivity = $\mu\text{S/cm}$ Total dissolved solids = ppm Salinity = PSU (ppt) 0.00 – 42.00 Specific gravity (sea water only) = 1.00 – 1.300	
Range	0.07 – 500,000+ $\mu\text{S/cm}$	
Accuracy	+/- 2%	
Response time	1 reading per sec	
Supported probes	K 0.1 – K 10 any brand	
Calibration	1 or 2 point	
Temp compensation	Yes	
Data protocol	UART & I <sup>2</sup> C	
Default I <sup>2</sup> C address	100 (0x64)	
Operating voltage	3.3V – 5V	
Data format	ASCII	 <b>PATENT PROTECTED</b>

Written by Jordan Press  
Designed by Noah Press

This is an evolving document, check back for updates.

# Calibration theory

Simple calibration

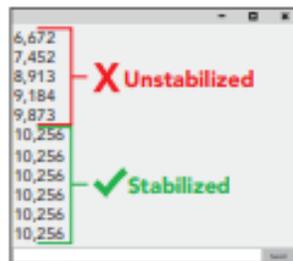
## UART mode

Continuous readings

Advanced calibration

## I<sup>2</sup>C mode

Continuously request readings



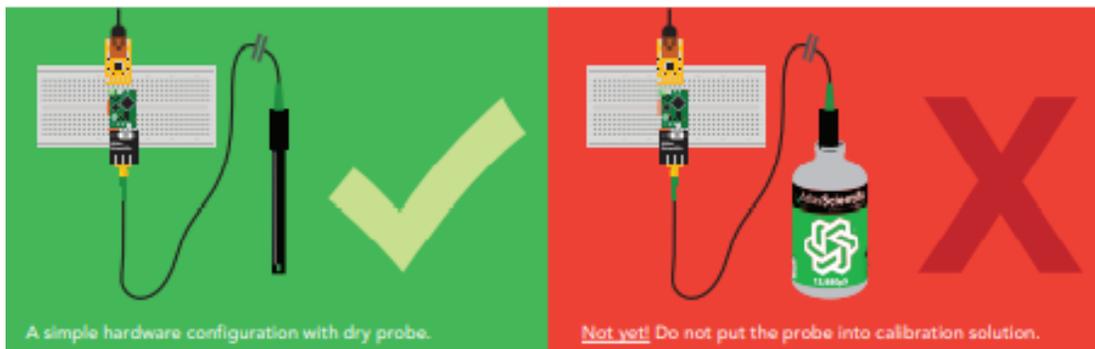
The most important part of calibration is watching the readings during the calibration process.

It's easiest to calibrate the device in its default state (UART mode, with continuous readings enabled).

Switching the device to PC mode after calibration **will not** affect the stored calibration. If the device must be calibrated in PC mode be sure to **continuously request readings** so you can see the output from the probe.

## 1. Pre-calibration setup

Connect the dry conductivity probe and take continuous readings.



## 2. Set probe type

If your probe  $\neq$  K 1.0 (default), then set the probe type by using the "K,n" command. (where  $n = K$  value of your probe) for more information, see page 33 or 60.

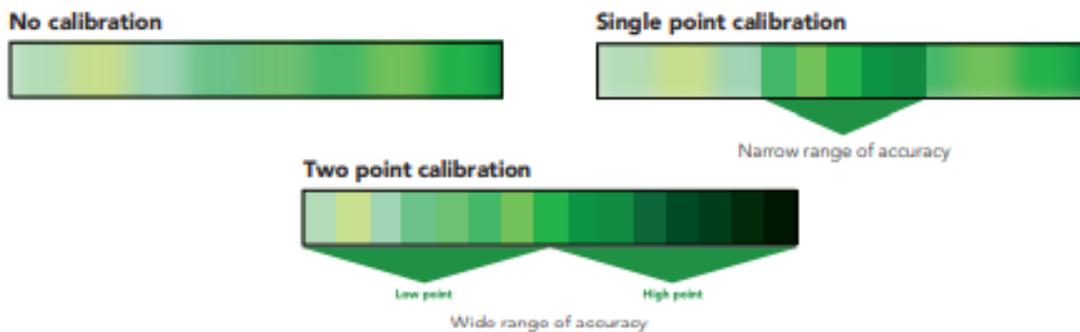
### 3. Dry calibration

Perform a dry calibration using the command "Cal,dry" Even though you may see reading of 0.00 before issuing the "Cal,dry" command, it is still a necessary part of calibration.

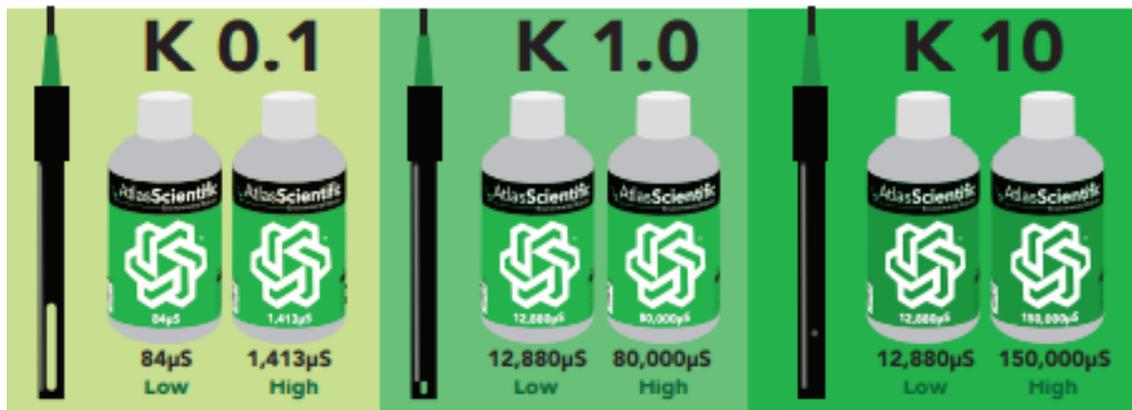
00.00 → "Cal,dry" → 0.00 ✓ Correct

17.00 → "Cal,dry" → 0.00 ✓ Also correct

### 4. Single point or Two point calibration



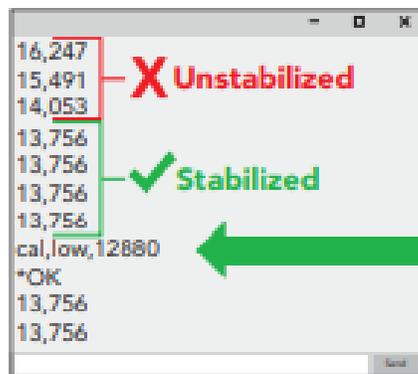
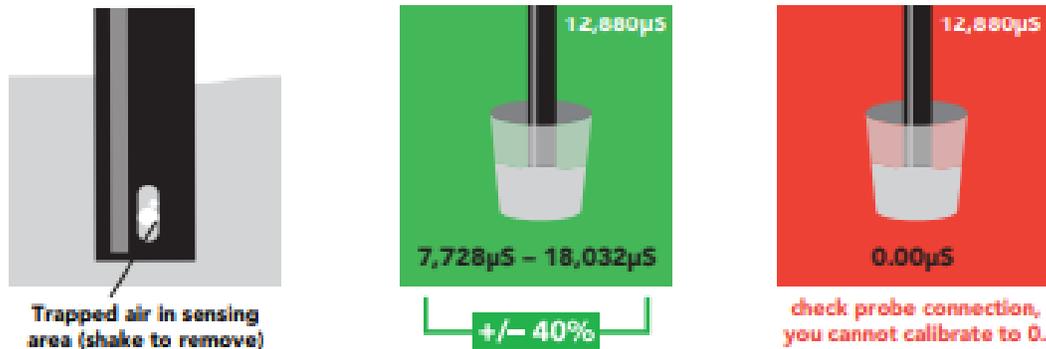
### Recommended calibration points



When calibrating, Atlas Scientific recommends using the above µS values. However, you can use any µS values you want.

## Two point calibration - low point

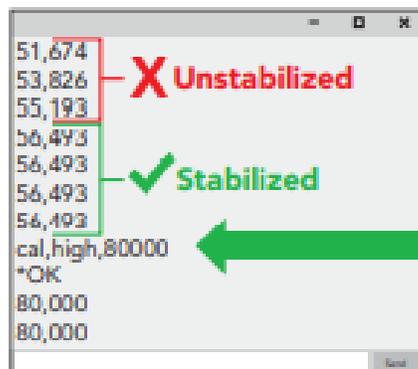
Pour a small amount of the low point calibration solution into a cup. Shake the probe to make sure you do not have trapped air bubbles in the sensing area. You should see readings that are off by **1 – 40%** from the stated value of the calibration solution. Wait for readings to stabilize (small movement from one reading to the next is normal).



Once the readings stabilize, issue the low point calibration command. "cal,low,12880"  
(Readings will **NOT** change)

## Two point calibration - high point

- Rinse off the probe before calibrating to the high point.
- Pour a small amount of the high point calibration solution into a cup.
- Shake the probe to remove trapped air.
- Readings may be off by +/- 40%
- Wait for readings to stabilize.



Once the readings stabilize, issue the high point calibration command. "cal,high,80000"  
(Readings **will** change, calibration complete).

## Anexo 4. Datasheet Shield relés.

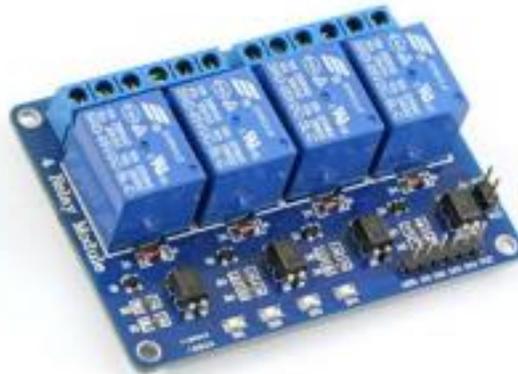


# Handson Technology

## User Guide

### 4 Channel 5V Optical Isolated Relay Module

This is a LOW Level 5V 4-channel relay interface board, and each channel needs a 15-20mA driver current. It can be used to control various appliances and equipment with large current. It is equipped with high-current relays that work under AC250V 10A or DC30V 10A. It has a standard interface that can be controlled directly by microcontroller. This module is optically isolated from high voltage side for safety requirement and also prevent ground loop when interface to microcontroller.



### Brief Data:

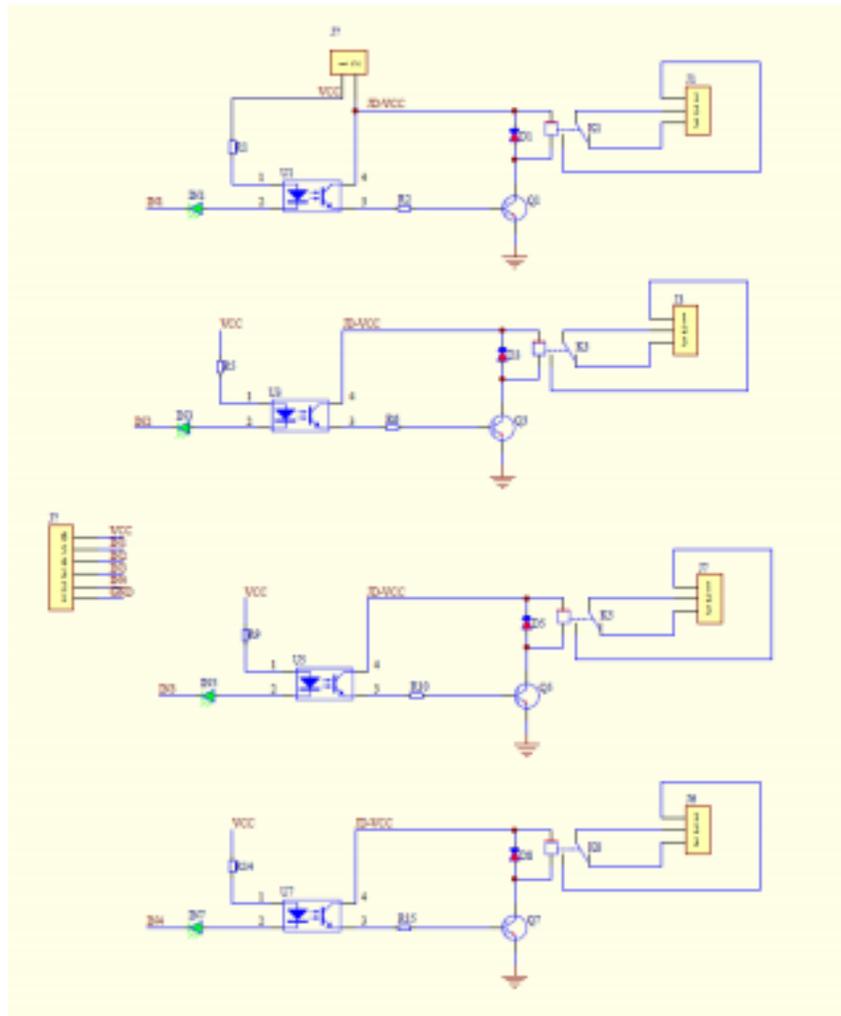
- Relay Maximum output: DC 30V/10A, AC 250V/10A.
- 4 Channel Relay Module with Opto-coupler. LOW Level Trigger expansion board, which is compatible with Arduino control board.
- Standard interface that can be controlled directly by microcontroller ( 8051, AVR, \*PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic).
- Relay of high quality low noise relays SPDT. A common terminal, a normally open, one normally closed terminal.
- Opto-Coupler isolation, for high voltage safety and prevent ground loop with microcontroller.

**Schematic:**

VCC and RY-VCC are also the power supply of the relay module. When you need to drive a large power load, you can take the jumper cap off and connect an extra power to RY-VCC to supply the relay; connect VCC to 5V of the MCU board to supply input signals.

NOTES: If you want complete optical isolation, connect "Vcc" to Arduino +5 volts but do NOT connect Arduino Ground. Remove the Vcc to JD-Vcc jumper. Connect a separate +5 supply to "JD-Vcc" and board Gnd. This will supply power to the transistor drivers and relay coils.

If relay isolation is enough for your application, connect Arduino +5 and Gnd, and leave Vcc to JD-Vcc jumper in place.



4 Channel Relay Module Schematic

## Anexo 5. Datasheet sensor de ultrasonido.



Tech Support: [services@elecfreaks.com](mailto:services@elecfreaks.com)

### Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

#### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

#### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

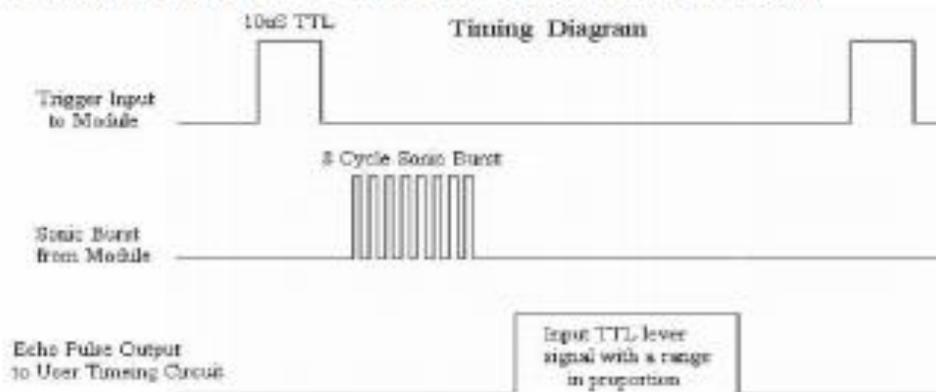
#### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
Measuring Angle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



## Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10 $\mu$ s pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



## 6. Bibliografía

- [1] N. Andrade, "La Importancia de la Agricultura en nuestro país", *Utn.edu.ec*, 2017.  
[Online]. Available: <https://www.utm.edu.ec/ficaya/carreras/agropecuaria/?p=1091>. [Accessed: 24- Aug- 2020].
- [2] "Ecuador: Fruticultores de Imbabura y Carchi con la mira en las exportaciones | Noticias Agropecuarias", *Elproductor.com*, 2020. [Online]. Available: <https://elproductor.com/ecuador-fruticultores-de-imbabura-y-carchi-con-la-mira-en-las-exportaciones/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [3] M. Chicaiza Carrera, "Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de fresa en el Barrio San Pedro, Parroquia la Esperanza, Cantón Ibarra", *Repositorio.utm.edu.ec*, 2013. [Online]. Available: <http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/1326>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [4] F. Ibadango Ruiz, "Eficiencia y rentabilidad del sistema hidropónico vertical frente al convencional en la producción de tres variedades de fresa (fragaria vesca L.), en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura", *Repositorio.utm.edu.ec*, 2017. [Online]. Available: <http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/6405>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [5] A. Torres, D. Camberato, D., & R. Lopez, "Medición de pH y Conductividad Eléctrica en Sustratos" 2020. [Online]. Available: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-237-SW.pdf>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [6] A. Mehboob, W. Ali, T. Rafaqat and A. Talib, "Automation and Control System of EC and pH for Indoor Hydroponics System", 2019. [Online]. Available: [https://ieec.neduet.edu.pk/2019/Papers\\_IEEC\\_2019/IEEC\\_2019\\_33.pdf](https://ieec.neduet.edu.pk/2019/Papers_IEEC_2019/IEEC_2019_33.pdf). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [7] A. Isabel Luna Maldonado, J. Mariana Márquez Reyes, H. Flores Breceda, H. Rodríguez Fuentes, J. Antonio Vidales Contreras and U. Luna Maldonado, "Automation and Robotics Used in Hydroponic System", *Urban Horticulture - Necessity of the Future*, 2020. Available: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90438>. [Accessed 6 August 2021].
- [8] Lenni, H. Suhardiyanto, K. Seminar and R. Setiawan, "Development of a Control System for Lettuce Cultivation in Floating Raft Hydroponics", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 542, p. 012, 2020. Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012067>. [Accessed 6 August 2021].
- [9] "IntelliDose - Automatically Manage Nutrient & pH Levels — Autogrow", *Autogrow*, 2021. [Online]. Available: <https://autogrow.com/products/intelldose-system>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [10] B. Controller, "Bluelab Pro Controller", *Bluelab.com*, 2017. [Online]. Available: <https://bluelab.com/amer/bluelab-pro-controller>. [Accessed: 06-Aug- 2021].
- [11] "Implementación de dos sistemas para cultivos hidropónicos bajo cubierta en la subcuenca del río Machángara", *Ambiente.gob.ec*, 2020. [Online]. Available: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/AICCA-Ecuador-TdR-Hidroponi%CC%81a-Macha%CC%81ngara\\_revCR-27.07.2020.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/AICCA-Ecuador-TdR-Hidroponi%CC%81a-Macha%CC%81ngara_revCR-27.07.2020.pdf). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [12] Cabezas, R., 2020. *curso hidroponia urbana*. [online] academia-online-de-cultivos-hidroponicos. Available at: <<https://renecabezas.com/>> [Accessed 18 March 2021].
- [13] X. Pérez, "Tratamiento de Agua para Hidroponía", *Docsity*, 2020. [Online]. Available: <https://www.docsity.com/es/tratamiento-de-agua-para-hidroponia/5290100/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [14] "Guía: Calidad del agua en hidroponía : : Hydro Environment : : Hidroponía en Mexico", *Hydroenv.com.mx*, 2020. [Online]. Available: [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=148](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=148). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [15] B. FLORES, "EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA CON SUSTRATOS SÓLIDOS EN FRESA", *Repositorio.uta.edu.ec*, 2018. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28424/1/Tesis200%20%20>

Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20585.pdf.

[Accessed: 06- Aug- 2021].

- [16] "Efectos del pH de la solución nutritiva en el crecimiento de las plantas | Hidroponía España I Cultivos Hidropónicos - Tienda Oficial", *GroHo España*, 2019. [Online]. Available: <https://www.groho.es/post/efectos-del-ph-de-la-solucion-nutritiva-en-el-crecimiento-de-las-plantas>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [17] "13 Claves para la producción hidropónica de fresas – AgTech América", *Agtechamerica.com*, 2021. [Online]. Available: [http://agtechamerica.com/13-claves-para-la-produccion-hidroponica-de-fresas/#:~:text=La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20\(CE\)%20de,y%20la%20disponibilidad%20de%20micro nutrientes](http://agtechamerica.com/13-claves-para-la-produccion-hidroponica-de-fresas/#:~:text=La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20(CE)%20de,y%20la%20disponibilidad%20de%20micro nutrientes). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [18] "ÁCIDO FOSFÓRICO GRADO TÉCNICO | MOLINOS & CIA. | Fertilizantes Perú", *Molicom.com.pe*, 2021. [Online]. Available: [https://www.molicom.com.pe/molinos/web/secciones/producto\\_detalle.php?idcat=8&idprod=42](https://www.molicom.com.pe/molinos/web/secciones/producto_detalle.php?idcat=8&idprod=42). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [19] "pH", *Hidroponía al cubo*, 2020. [Online]. Available: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/ph/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [20] "Regulación pH - Hidroponia", *Hidroponia*, 2020. [Online]. Available: <http://hidroponia.info/regulacion-de-ph/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [21] "Tipos de Phmetros | Ventajas Y Desventajas - Cislab", *Cislab*, 2019. [Online]. Available: <https://www.cislab.mx/tipos-de-phmetros-ventajas-y-desventajas/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [22] "Medidores de pH, ¿qué son y cómo funcionan?", *Es.omega.com*, 2020. [Online]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/medidor-ph.html>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [23] "FAQ – Electrical Conductivity (EC) in Hydroponics", *Scienceinhydroponics.com*, 2017. [Online]. Available: <https://scienceinhydroponics.com/2009/02/faq-electrical-conductivity-ec-in-hydroponics.html>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [24] "LA CONDUCTIVIDAD", *Equipos y laboratorio de Colombia*, 2020. [Online]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/la-conductividad>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [25] "Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral", *Lamolina.edu.pe*, 2020. [Online]. Available: [http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol\\_presentacion.htm](http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_presentacion.htm). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [26] G. Sela, "Preparation of Fertilizer Stock Solutions for Hydroponics", *Maximumyield.com*, 2017. [Online]. Available: <https://www.maximumyield.com/preparation-of-fertilizer-stock-solutions-for-hydroponics/2/994>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [27] G. Martínez-Gutiérrez, Y. Ortiz-Hernández and R. López-Pozos, "Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga", *Scielo.org.mx*, 2020. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802012000500010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000500010). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [28] M. Basterrechea, "Los 3 Métodos de Aireación Principales en Hidroponía - Hidroponía Casera", *Hidroponía Casera*, 2021. [Online]. Available: <https://www.hidroponiacasera.net/los-3-metodos-de-aireacion-principales-en-hidroponia/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [29] L. Aghenta and M. Iqbal, "Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thinger.IO and ESP32 Thing", *Electronics*, vol. 8, no. 8, p. 822, 2019. Available: [10.3390/electronics8080822](https://doi.org/10.3390/electronics8080822) [Accessed 6 August 2021].
- [30] P. Rodríguez, "Sistemas SCADA". 3rd ed. México, D.F.: Alfaomega, p.12. 2019. [Accessed 6 August 2021].
- [31] "Modbus: Qué es y cómo funciona | Comunicaciones Industriales", *aula21 / Formación para la Industria*, 2019. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [32] O. Jácome Prado, "Sistema de supervisión de producción y eficiencia de máquinas tejedoras de una planta textil", *Repositorio.utn.edu.ec*, 2020. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10300>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [33] "Wonderware InTouch HMI Software - Características | Wonderware Iberia", *Wonderware Software - Powering the Industrial World*, 2021. [Online]. Available: <https://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/caracteristicas/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [34] E. Vaca Paredes, "Implementación de un sistema scada mediante el software intouch para el control y visualización de procesos industriales", *Repositorio.utn.edu.ec*, 2019. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8916>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [35] J. Bernal, "Ingeniería del diseño", *Tdx.cat*, 2019. [Online]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/05Jcb05de16.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [36] "INGENIERIA DEL DISEÑO - Diseño conceptual", *Sites.google.com*, 2020. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/ingenieriadeldisenodisenconceptual>. [Accessed: 29- Jul- 2021].
- [37] "Arduino - Products", *Arduino.cc*, 2019. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/main/products>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [38] "WiFi Kit 32", *Heltec Automation*, 2020. [Online]. Available: <https://heltec.org/project/wifi-kit-32/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [39] D. Caballero, "Cómo usar un sensor de pH con Arduino", *Scidle*, 2020. [Online]. Available: <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].

- [40] "EZO™ Conductivity Circuit | Atlas Scientific", *Atlas Scientific*, 2021. [Online]. Available: <https://atlas-scientific.com/embedded-solutions/ezo-conductivity-circuit/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [41] "Tienda Apolo", *Grupoakaes.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.grupoakaes.com/gikfun-m8-1260-in-nivel-liquido-sensor-pecera-agua-flotador-interruptor-pp-plastico-bola-flotador-controlador-kit-diy-para-arduino-ek1373-x-3/p>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [42] "Sensor de nivel de agua con Arduino utilizando ultrasonidos", *Programar fácil con Arduino*, 2021. [Online]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-de-nivel-de-agua-con-arduino/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [43] "[43] SNS 2W025-08 1/4 \"AC110V NPT Válvula solenoide eléctrica de latón normalmente cerrada agua, aire, diesel\", *Amazon.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/2W025-08-AC110V-NPT-solenoide-normalmente/dp/B0794X7YTN>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [44] "Gikfun Bomba dosificadora peristáltica ajustable de 12 V", *Amazon.com*, 2021. [Online]. Available: [https://www.amazon.com/sp?\\_encoding=UTF8&asin=&isAmazonFulfilled=1&isCBA=&marketplaceID=ATVPDKIKX0DER&orderID=&protocol=current&seller=A34K5WF5Z9R33P&sshmPath=](https://www.amazon.com/sp?_encoding=UTF8&asin=&isAmazonFulfilled=1&isCBA=&marketplaceID=ATVPDKIKX0DER&orderID=&protocol=current&seller=A34K5WF5Z9R33P&sshmPath=). [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [45] *HITOP Bomba de aire*. Amazon.com. (2019). Retrieved 24 May 2021, from [https://www.amazon.com/sp?\\_encoding=UTF8&asin=&isAmazonFulfilled=1](https://www.amazon.com/sp?_encoding=UTF8&asin=&isAmazonFulfilled=1)

&isCBA=&marketplaceID=ATVPDKIKX0DER&orderID=&protocol=current&seller=A2QUVHOUVV1SN6&sshPath=.

- [46] "Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos", *InTech México Automatización*, 2019. [Online]. Available: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-01-2015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].
- [47] A. Laverde, "Ensayos, Normas y Certificación de Seguridad Eléctrica para diseñadores de equipos electrónicos y eléctricos", */Normas IPC/Certificación/ALDELTA*, 2021. [Online]. Available: <https://www.aldeltatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/ipc-a-610-aceptabilidad-ensambles/>. [Accessed: 06- Aug- 2021].