

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CULTIVO
AEROPÓNICO DE HORTALIZAS EN EL BARRIO 19 DE ENERO, IBARRA.**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Lenyn Tarquino Lucero Arroyo

Director:

MSc. Eliana Carolina Ormeño Mejía

Ibarra – Ecuador

Febrero 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN 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.

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD	1004157606
APELLIDOS Y NOMBRES	Lucero Arroyo Lenyn Tarquino
DIRECCIÓN	Luciano Andrade 3-67 y Demetrio Aguilera
EMAIL	luceroa@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL	0987410238

DATOS DE LA OBRA	
TITULO	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CULTIVO AEROPÓNICO DE HORTALIZAS EN EL BARRIO 19 DE ENERO, IBARRA
AUTOR	LUCERO ARROYO LENYN TARQUINO
FECHA	03/01/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA	PREGRADO
TITULO POR EL QUE ASPIRA	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR	MSc. Eliana Ormeño

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor a terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el 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 3 días del mes de febrero de 2020

EL AUTOR:



Lenyn Tarquino Lucero Arroyo

100415760-6



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Eliana Ormeño en calidad de tutor del señor estudiante, Lucero Arroyo Lenyn Tarquino certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN CULTIVO AUTOMATIZADO PARA UN CULTIVO AEROPÓNICO DE HORTALIZAS EN EL BARRIO 19 DE ENERO, IBARRA”**. Para la obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobado la defensa, impresión y empastado.

MSc. Eliana Ormeño

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, por ser mis primeros maestros, quienes me enseñaron el camino hacia la superación, por sus palabras de aliento, su apoyo incondicional y sobre todo su cariño. A mi hermana Dora, por ser mi mayor soporte, quien me alienta a conquistar mis sueños, mi más grande compañera de vida, la persona con la que siempre he contado y en la que siempre podré confiar. A mis hermanas Evelyn y Diana, por su cariño, sostén y lealtad, por su compañía y sin lugar a dudas por todos esos grandes momentos que hemos compartido desde pequeños. A mi tío René a quien considero un segundo padre, por todos sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida. A mis sobrinos, los niños que, con sus ocurrencias, me sacan sonrisas hasta en los días más tediosos. A Karlita, por brindarme su tiempo, su permanente amor y comprensión, por motivarme, por haber creído en mis capacidades, por mantenerse a mi lado desde el principio. A mis amigos y compañeros, alegrías, tristezas, conocimientos y experiencias vividas a lo largo de estos 5 años de carrera.

AGRADECIMIENTOS

La tesis es el culminar de toda una carrera llena de obstáculos, posibilidades y oportunidades, es un logro propio y de todos con quienes comparto mi vida, es por eso que quiero agradecer a Dios por la vida y por su bondad hacia mí. Agradezco a mi alma mater, mi querida Universidad Técnica del Norte, que me abrió las puertas para la realización de mis estudios y me brindó docentes de excelencia académica, los cuales forjaron mis conocimientos, además me alentaron a expandirlos por mi propia cuenta. A mi Tutora, Eliana Ormeño por demostrar su interés en este proyecto, por ayudarme y corregir mis errores en el desarrollo del mismo e incentivar me para su culminación. A mi tío René por brindarme las facilidades y experiencia para realizar la implementación y manejo de mi trabajo de titulación. A mi familia, principalmente a mis padres y mi hermana Dora, quienes me han brindado el sustento emocional y económico para cursar la carrera, para la realización de esta tesis y para su correcta finalización. A mis hermanas Evelyn y Diana, a mis sobrinos quienes siempre han estado pendientes de mi bienestar, se alegran en cada uno de mis triunfos y me alientan en mis tropiezos. A Karlita por su inmensurable amor.

TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIA	iii
CERFIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xv
Planteamiento del Problema	xvii
Objetivos.....	xviii
Objetivo General.....	xviii
Objetivos Específicos	xviii
Justificación.....	xviii
Alcance	xix
CAPÍTULO 1	1
Marco Teórico.....	1
1.1. Métodos de cultivo sin suelo	1
1.1.1. Clasificación	2
1.1.1.1. Cultivos en sustrato.....	2
1.1.1.2. Cultivos en agua (hidroponía)	2
1.1.1.3. Cultivos en aire (aeroponía)	3
1.2. Análisis de métodos de cultivo.....	5
1.3. Automatización de sistemas de riego	7
1.3.1. Sistemas de riego.....	7
1.3.1.1. Riego por superficie	8
1.3.1.2. Riego por aspersión.....	8
1.3.1.3. Riego localizado	8
1.3.1.4. Riego por nebulización	8
1.3.2. Elementos que intervienen en un sistema de riego automatizado.....	8
1.3.3. Sistemas de control.....	10
1.3.3.1. Tipos de sistemas de control.....	11
1.3.3.2. Elementos dentro de un sistema de control.....	12
1.4. Análisis de automatización de sistemas de riego	13
1.5. Microcontrolador Arduino	15
1.5.1. ¿Qué es un microcontrolador?.....	15

1.5.2.	Lenguajes de programación	15
1.5.3.	Sistemas de alimentación	15
1.5.4.	Protocolos de comunicación.....	17
1.5.5.	Modelos de Arduino	18
1.5.6.	Escudos (Shields) hardware de Arduino	18
1.6.	Internet de las cosas IoT.....	20
1.7.	Parámetros del cultivo de lechuga	21
1.7.1.	Concentración total de sales solubles	21
1.7.2.	pH	22
1.7.3.	La concentración de boro (B) y otras sustancias tóxicas.....	23
1.7.4.	Temperatura y Humedad	23
CAPÍTULO 2		25
Desarrollo		25
2.1.	Diseño del sistema de automatización	25
2.1.1.	Diagrama de bloques.....	25
2.1.1.1.	Controlador.....	26
2.1.1.2.	Sensor de temperatura y humedad.....	26
2.1.1.3.	Sensor de pH.....	27
2.1.1.4.	Sensor de nivel de líquidos.....	28
2.1.1.5.	Pantalla LCD	29
2.1.1.6.	Relay	30
2.1.1.7.	Reloj en tiempo real (RTC)	31
2.1.1.8.	Comunicación	32
2.1.1.9.	Luces piloto	33
2.1.1.10.	Bomba Periférica	33
2.1.1.11.	Fuente de alimentación DC	34
2.1.1.12.	Interruptor termomagnético	35
2.1.2.	Diagrama de flujo del microcontrolador Arduino	36
2.1.3.	Diseño de diagramas eléctricos de potencia	37
2.1.3.1.	Diagramas de control y fuerza	37
2.1.3.2.	Distribución del tablero de control	39
2.2.	Simulación de componentes del sistema automatizado en Proteus 8.	41
2.4.	Diagrama de distribución general del sistema.....	45
CAPÍTULO 3.....		46
Resultados		46
3.1.	Construcción del sistema eléctrico	46

3.2.	Implementación del sistema automatizado en el invernadero	48
3.3.	Configuración del riego	52
3.4.	Características de la solución nutritiva	53
3.5.	Comparación productiva entre un cultivo tradicional y aeropónico	55
3.6.	Monitoreo de datos	59
3.7.	Interpretación de datos de ThingSpeak.....	60
3.8.	Costos de energía eléctrica	62
3.9.	Presupuesto del sistema automatizado.....	64
3.10.	Costos de producción	65

INDICE DE FIGURAS

Capítulo I	
Fig. 1.1 Cultivos en sustrato de fibra de coco.	2
Fig. 1.2 Cultivo hidropónico de lechuga.	3
Fig. 1.3. Columnas de cultivo para sistema aeropónico.	4
Fig. 1.4. Sistema aeropónico Schwalbach System.....	4
Fig. 1.5. Sistema aeropónico Aero-Gro System.....	4
Fig. 1.6 Bomba de riego.....	9
Fig. 1.7 Filtro de mallas y de anillas.	9
Fig. 1.8. Esquema de una red de tuberías.....	10
Fig. 1.9 Aspersores para riego.....	10
Fig. 1.10 Diagrama de bloques de Sistema en Lazo Abierto.....	11
Fig. 1.11 Diagrama de bloques de Sistema en Lazo Cerrado.....	12
Fig. 1.12 Sistema de alimentación de la placa Arduino UNO.	16
Fig. 1.13 Conexión de varios dispositivos mediante protocolo I2C.....	17
Fig. 1.14 Conexión de varios dispositivos mediante protocolo SPI.	18
Fig. 1.16 Escudo Arduino Ethernet.	19
Fig. 1.17 Escudo GSM.	20
Fig. 1.18 Sistema IoT.....	21
Fig. 1.19 Producción ante la variación de la CE.	22
Capítulo II	
Fig. 2.1 Diagrama de bloques del sistema	25
Fig. 2.2 Pantalla LCD 2x16 + módulo I2C.	29
Fig. 2.3 Shield GSM GRPS SIM900.	32
Fig. 2.4 Shield GSM GRPS SIM900 conexión con Arduino	33
Fig. 2.5 Luces piloto 22 mm <=250 v.	33
Fig. 2.6 Bomba Periférica de 0.5 HP.	34
Fig. 2.7 Datos de placa de la Bomba Periférica de 0.5 HP.	34
Fig. 2.8 Diagrama de flujo del sistema automatizado	36
Fig. 2.9 Circuito de control y fuerza para el encendido automático de la Bomba Periférica.	38
Fig. 2.10 Circuito de control y fuerza para el encendido manual de la Bomba Periférica.	39
Fig. 2.11 Diagrama de distribución externa del tablero de control.	40
Fig. 2.12 Diagrama de distribución interna del tablero de control.	41
Fig. 2.13 Simulación de componentes del sistema automatizado en Proteus 8.	42
Fig. 2.14 Conexión para pruebas de funcionamiento	43
Fig. 2.15 Datos del Monitor Serie en pruebas de funcionamiento	43
Fig. 2.16 Datos de la pantalla LCD en pruebas de funcionamiento	44
Fig. 2.17 Diagrama de distribución general del sistema automatizado.	45
Capítulo III	
Fig. 3.1 Tablero de control seleccionado.....	46
Fig. 3.2 Distribución de prueba de elementos del sistema y canalización.....	47
Fig. 3.3 Conexiones internas y externas del tablero de control.....	47
Fig. 3.4 Tablero de control finalizado.....	48
Fig. 3.5 Área destinada para la implementación del cultivo aeropónico.....	48
Fig. 3.6 Módulos productivos para aeroponía.....	48
Fig. 3.7 Canalizaciones del sistema de riego.....	49
Fig. 3.8 Elementos de control instalados en el invernadero.....	50

Fig. 3. 9 Pruebas del sistema de riego	50
Fig. 3.10 Colocación de planchas de ternopor	51
Fig. 3.11 Proceso de siembra en aeroponía	51
Fig. 3.12 Sistema aeropónico completamente instalado	51
Fig. 3.13 Dimensión radicular en etapa de siembra	52
Fig. 3.14 Dimensión radicular en etapa de desarrollo	53
Fig. 3.15 pH de la solución nutritiva	54
Fig. 3.16 Tendencia de pH en función del tiempo	55
Fig. 3.17 Comparación en número de hojas y diámetro de las platas.....	57
Fig. 3.18 Comparación productiva por densidad de área.....	58
Fig. 3.19 Datos del servidor Web ThingSpeak	59
Fig. 3.20 Widget y localización de ThingSpeak.....	60
Fig. 3.21 Monitoreo de datos en ThingViewFree desde un smartphone.....	60
Fig. 3.22 Interpretación de datos de temperatura y humedad	61
Fig. 3.23 Interpretación de datos de nivel	62
Fig. 3. 24 Interpretación de datos de pH	62
Fig. 3.25 Comparación de costos de producción entre cultivos	67
Fig. 3.26 Comparación de costos entre sistemas empleados para el cultivo.....	67

INDICE DE CUADROS

Tabla 1.1 Porcentaje de relevancia según la especificación en cultivos sin suelo.....	5
Tabla 1.2 Análisis para la elección del tipo de cultivo	7
Tabla 1.3 Porcentaje de relevancia según la especificaciones para la elección de un controlador	14
Tabla 1.4 Análisis para la elección del controlador del sistema	14
Tabla 1.5 Especificaciones técnicas de algunos modelos arduino	18
Tabla 1.6 Comparación del valor de CE en el riesgo de salinidad.....	22
Tabla 1.7 ph óptimo para el cultivo de lechuga.....	23
Capítulo II	
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del sensor de temperatura y humedad.....	26
Tabla 2.2 Pines de conexión entre el módulo am2301 y arduino.....	27
Tabla 2.3 Características técnicas del sensor de ph	27
Tabla 2.4 Pines de conexión del sensor de ph y arduino	28
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas del sensor ultrasónico de nivel.....	28
Tabla 2.6 Pines de conexión entre el sensor ultrasónico de nivel y arduino	29
Tabla 2.7 Pines de conexión entre la pantalla lcd y arduino	30
Tabla 2.8 Especificaciones técnicas del módulo relay	30
Tabla 2.9 Pines de conexión entre el sensor ultrasónico de nivel y arduino	31
Tabla 2.10 Especificaciones técnicas del módulo relay.....	31
Tabla 2.11 Pines de conexión entre el módulo RTC DS1307 y arduino	32
Tabla 2.12 Cálculo de la fuente de alimentación	34
Tabla 2.13 Materiales externos del tablero de control	40
Tabla 2.14 Materiales internos del tablero de control	41
Tabla 2.15 Materiales de la distribución general del sistema	45
Capítulo III	
Tabla 3.1 Configuración de tiempos de riego.....	52
Tabla 3.2 ph inicial ante dosis de nutriente.....	54
Tabla 3.3 Comparación del desarrollo de las hojas entre un cultivo aeropónico y tradicional	55
Tabla 3.4 Comparación en número de hojas y diámetro de las plantas	56
Tabla 3.5 Comparación en diámetro de la planta	57
Tabla 3.6 Comparación radicular.....	58
Tabla 3.7 Consumo energético de la bomba periférica	62
Tabla 3.8 Consumo energético del tablero de control.....	63
Tabla 3.9 Costo total de energía eléctrica del sistema automatizado	64
Tabla 3.10 Presupuesto del sistema automatizado.....	64
Tabla 3.11 Costos de producción en cultivo tradicional con sistema de riego por goteo	65
Tabla 3.12 Costos de producción en cultivo tradicional con sistema de riego por goteo.....	66

RESUMEN

La agricultura tradicional es considerada la primera modalidad de cultivo y la de mayor uso hasta la actualidad. Este tipo de cultivo representa una gran necesidad de recursos tanto hídricos como en mano de obra que influyen directamente en su costo de producción. El cultivo al que va dirigido este estudio ha invertido en tecnologías que mejoran el ambiente de vida de las plantas con la construcción de invernaderos y, mejora el aprovechamiento del agua con un sistema de riego por goteo. El problema radica en la dependencia total de un operador para que poder ejecutar tanto el riego como el control de temperatura por apertura y cierre de cortinas, así como también, los altos costos que requiere el manejo de la planta en el suelo. Por tal motivo, esta investigación se focaliza en la búsqueda de una alternativa viable de producción con la intervención de un cultivo aeropónico automatizado que ayude al mejoramiento productivo y logre una autonomía en su funcionamiento. En este sentido se ha creado un sistema de automatización basado en un sistema embebido Arduino como controlador principal para realizar el procesamiento y ejecución de funciones en el sistema. Los resultados obtenidos en aeroponía, con un cultivo de lechuga, en función de la producción y dimensión de hojas, longitud de raíz y área utilizada reflejan un mejor crecimiento y densidad a comparación con un cultivo tradicional, por lo que se concluye que el correcto manejo de un cultivo aeropónico favorece al mejoramiento de la producción.

Palabras claves: Aeroponía, Arduino, Sistema Automatizado, Control, Comparación Productiva

Abstract

Traditional agriculture is considered the first cultivation modality and the one of greater use until the present time. This type of crop represents a great need for both water and labor resources that directly influence its production cost. The crop to which this study is directed has invested in technologies that improve the living environment of plants with the construction of greenhouses and, improve the use of water with a drip irrigation system. The problem lies in the total dependence of an operator to be able to execute both irrigation and temperature control by opening and closing curtains, as well as the high costs required for the management of the plant in the ground. For this reason, this research focuses on the search for a viable production alternative with the intervention of an automated aeroponic crop that helps productive improvement and achieves autonomy in its operation. In this sense, an automation system based on an Arduino embedded system has been created as the main controller to perform the processing and execution of functions in the system. The results obtained in aeroponics, with a lettuce crop, depending on the production and size of leaves, root length and area used reflect better growth and density compared to a traditional crop, so it is concluded that the correct handling of an aeroponic crop favors the improvement of production.

Keywords: Aeroponics, Arduino, Automated System, Control, Productive Comparison

INTRODUCCIÓN

Los sistemas automatizados de riego tienen características similares a cualquier sistema de control de un determinado proceso. Con el desarrollo en los últimos años de la informática y la electrónica se han introducido los sistemas de control en el sector industrial agroalimentario, incluyendo su aplicación de instalaciones de riego y fertilización (Ruiz & Molina, 2007).

Los sistemas de riego más comunes son: riego por superficie, riego por aspersion, riego localizado (por goteo) y riego por microaspersión (nebulización).

El riego por superficie es considerado como riego tradicional en el cual el agua se transporta gracias a la pendiente del terreno. Los principales inconvenientes es la pérdida de agua por evaporación, la difícil aplicación de dosis bajas de agua al cultivo y el difícil proceso de automatización (Carretero, 2016). El riego por aspersion es mediante aspersores que proporcionan agua al cultivo en forma de lluvia artificial. El principal inconveniente de éste sistema es la falta de uniformidad en el riego cuando existe una condición climática de mucho viento (Carretero, 2016). El riego localizado o por goteo consiste en aplicar el agua de riego a la zona concreta donde se encuentra la raíz de la planta. Uno de sus principales problemas es la obturación de los pequeños orificios de salida del agua provocado por partículas infiltradas en la canalización, lo cual, conllevaría a la paralización del riego en tal lugar (Palomino, 2009). Por último, el riego por nebulización se clasifica en nebulización de alta presión y baja presión. La nebulización de alta presión (superiores a las 60 atmósferas) produce una gota con un diámetro muy reducido, por lo cual, pesa poco y se mantiene flotando más tiempo en la atmosfera del cultivo gracias a las corrientes de aire que pueden existir. La nebulización a baja presión (entre 5 y 10 atmósferas) provoca un tamaño de gota mayor, por lo que ésta gota se precipita al cultivo rápidamente y necesita más energía calórica para producir su evaporación (Gómez, 2001). La nebulización es el sistema de riego más utilizado para cultivo aeropónico.

El término aeroponía se refiere a un sistema de cultivo en un ambiente aéreo; esta modalidad no necesita el contacto con el suelo. Es una técnica innovadora y responsable con el medio ambiente. En 1942, W. Carter fue el primero que investigó esta técnica. Posteriormente, en 1980, el Dr. Franco Massantini creo el primer diseño, llamado columnas de cultivo. (Córdova, 2016)

Su diseño inicialmente fue un cultivo en forma de columna con cilindros de PVC y otros materiales, de forma vertical y con perforaciones en las paredes laterales para poder introducir las plantas al momento del trasplante. Las raíces pasan expuestas al aire y en total

oscuridad, además, se instaló un sistema de riego mediante pulverización para que la solución nutritiva se distribuya a las plantas. (Córdova, 2016)

Dentro de los orígenes de la aeroponía, el sistema hidropónico fue la base para su desarrollo. “La aeroponía es el sistema hidropónico más moderno. Está determinada por la International Society for Soil-less Culture como un sistema donde las raíces están expuestas de manera continua o discontinua a un ambiente saturado de finas gotas de una solución nutritiva” (Otazú, Barker, Mateus, & Chuquilanqui, 2010)

La aeroponía es una variación sobre la técnica hidropónica fundamental que se ha mejorado con el uso de nebulizadores u otros dispositivos para crear una niebla fina de solución para permitir la entrega de nutrientes a las raíces de las plantas. (Vreugdenhil, Bradshaw, & Ross, 2007)

Los sistemas de cultivo aeropónico proporcionan una producción de alimentos limpia, eficiente y rápida. Los cultivos se pueden plantar y cosechar en el sistema durante todo el año sin interrupción y sin contaminación del suelo, pesticidas y residuos. Los sistemas aeropónicos pueden reducir el uso de agua en un 98%, el uso de fertilizantes en un 60% y el uso de pesticidas en un 100%, al mismo tiempo que maximizan los rendimientos de los cultivos. (NASA, 2006)

Una de las empresas que promueve y comercializa sistemas aeropónicos en Estados Unidos es AeroFarms. Esta empresa se encarga de la investigación para fomentar cultivos interiores o lo denominado Jardines Domésticos. Concluyen que “Nuestro sistema aeropónico es un sistema de circuito cerrado, que utiliza un 95% menos de agua que la agricultura de campo y un 40% menos que la hidroponía.” (AeroFarms, 2018)

En Ecuador existe un proyecto de sistema aeropónico implementado por el Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP) y el Centro Internacional de la papa (CIP) desde el 2010 para la producción de tubérculos-semilla categoría pre-básica de papa para ampliar el acceso a semilla de alta calidad a los agricultores. Con este sistema se busca mejorar los rendimientos y disminuir los costos de producción. (Otazú, 2010)

Dentro de la investigación realizada por expertos del INIAP y el CIP concluyen que “La aeroponía ofrece el potencial de mejorar la producción y reducir los costos en comparación con los métodos convencionales o con el otro método de cultivo sin suelo llamado hidroponía (cultivo en agua). La aeroponía explota eficientemente el espacio vertical del invernadero y el balance humedad-aire para optimizar el desarrollo de raíces, tubérculos y follaje.” (Otazú, 2010)

En Latinoamérica dentro del foro internacional denominado “Oportunidades en la Alianza del Pacífico para la Agricultura en América Latina” desarrollado en Cali, la organización CropLife Latin América manifestó que “La integración comercial, aduanera y cultural de la Alianza Pacífico requiere unidad, innovación, una actitud autocrítica, mayor atención a la inocuidad alimentaria y un balance entre la productividad, la responsabilidad social y la sostenibilidad agrícola. Se debe seguir avanzando en cuanto a inversión en I+D. Prueba de ello es que el 50% de la producción de la región se concentra en Argentina y Brasil que son los países que más invierten en investigación.” (CropLife, 2017)

Crear o mejorar sistemas de producción que ayuden al agricultor a mejorar sus cosechas es uno de los objetivos de organizaciones nacionales e internacionales. En Ecuador se cuenta con un Plan Nacional de Desarrollo (PND) realizado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades) en donde se especifican metas en los próximos años. El PND en el Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural, dice lo siguiente: “Es fundamental impulsar modelos de producción alternativos e incluyentes, los mismos que permitan fortalecer el poder organizativo de las localidades y el rescate de los saberes culturales. De tal forma que el impulso y desarrollo de sistemas productivos bajo enfoque agroecológico se presentan como una alternativa viable para alcanzar la soberanía alimentaria.” (Senplades, 2017)

Con este plan, se quiere impulsar la producción agroecológica mediante modelos alternativos de producción donde los sistemas aeropónicos pueden ganar relevancia al cumplir con las necesidades agrarias actuales y futuras.

Planteamiento del Problema

El proyecto a realizarse se encuentra localizado en la ciudad de Ibarra, parroquia Caranqui, barrio 19 de enero, en un cultivo de producción de hortalizas. El cultivo cuenta con 2 invernaderos, uno de 1680 m² y otro de 800 m² con sistema de riego por goteo con accionamiento de bombas y apertura de válvulas totalmente manual y una parte destinada al cultivo tradicional fuera del invernadero. Por la lejanía y difícil acceso al lugar el recurso hídrico debe ser controlado constantemente para evitar su desperdicio, ya que tal recurso no se lo dispone en abundancia en la localidad. Para la realización de éste proceso es necesario que uno o más trabajadores estén en el cultivo realizando el proceso de riego de forma manual de manera continua, por lo cual, se busca una alternativa que ayude a mitigar estos problemas de forma confiable, eficiente y segura para que el agricultor pueda enfocarse en otras actividades mientras su cultivo sigue su proceso automáticamente.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema automatizado para cultivo aeropónico de hortalizas mediante un sistema de control y detección de fallas que disminuya la cantidad de recursos y mejore la producción.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico sobre métodos de cultivo y sistemas de control de riego.
- Diseñar el sistema de control para el cultivo aeropónico.
- Implementar el sistema de control para el cultivo aeropónico y validación de resultados.

Justificación

La realización de éste proyecto busca lograr un modelo de producción alternativo agroecológico y viable, parámetros que está dentro del objetivo 6 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 creado por la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). Además, busca contar con parámetros de sustentabilidad, eficiencia en el proceso productivo, calidad en el producto, mejor aprovechamiento de espacios, reducción del uso de fertilizantes, innovación, entre otros. Por estos motivos se ve la necesidad de implementar éste sistema automatizado que cumpla con los requerimientos del agricultor y mejore el proceso de producción.

Para la realización de un cultivo, no necesariamente se requiere del uso del suelo. Un sistema aeropónico es un método de cultivo que provee a la planta de sus nutrientes únicamente por medio de un sistema de riego, sin hacer uso del suelo, y esa es una de sus principales ventajas. Este cultivo puede implementarse en cualquier lugar y se puede obtener producción.

Los sistemas aeropónicos ayudan a la reutilización y poco consumo de agua debido a su aspersión por medio de nebulizadores que proveen a la raíz los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo por medio de micro gotas, por lo cual se considera que este sistema ayudaría de gran manera a optimizar el uso del agua, recurso que no se dispone con facilidad en el sector donde va dirigido el proyecto.

Este sistema debe contar con parámetros muy estrictos de asepsia para prevenir posibles contaminaciones que afecten a todo el cultivo, por lo que también es necesario que esté dentro de un ambiente lo más estéril posible, en este caso, dentro de un invernadero.

Un sistema aeropónico necesariamente debe ser automatizado debido al constante riego en el día y la noche, por lo tanto, también se requiere de un sistema auxiliar y de alerta por posibles fallos en la energía o en algún proceso para que el suministro de agua sea lo más constante posible.

Es indispensable realizar un control de PH y conductividad eléctrica mediante mediciones en la solución nutritiva, debido a que bajo estos parámetros la planta realiza sus funciones de nutrición y desarrollo.

Por todos estos aspectos es necesario realizar una completa automatización del proceso para que la planta reciba la cantidad de nutrientes necesarios, con tiempos adecuados, ininterrumpidamente y se obtenga una mejor producción.

Alcance

El presente proyecto busca realizar la implementación de un módulo de control que realice el proceso productivo lo más autónomo posible y cumpla con parámetros de reducción del uso del agua, mejor aprovechamiento de espacios y aumento de producción en un área de 70 m² del invernadero de 800m² destinada a la producción de lechuga; se lo realizará en una sola parte del invernadero para poder realizar la comparación productiva con un cultivo tradicional.

Para el diseño del sistema automatizado se utilizará el microcontrolador y software Arduino con sus diferentes elementos adaptables conforme el proceso lo requiera para realizar el control del cultivo.

Los parámetros a controlar o monitorear dentro del proceso son: tiempos de riego, nivel del agua, PH en la solución nutritiva, temperatura, humedad, entre otros que consideren necesarios.

CAPÍTULO 1

Marco Teórico

Con la finalidad de comprender todos los conceptos a tratar en el presente estudio de investigación, en este capítulo se detallarán todos los fundamentos teóricos relacionados con la parte agraria y de automatización, los cuales cumplen un rol importante en el desarrollo del mismo.

1.1. Métodos de cultivo sin suelo

Los denominados cultivos sin suelo tienen límites bastante amplios. Abarca a todos aquellos métodos y sistemas que hacen crecer a la planta fuera de su hábitat natural que es el suelo. (Urrestarazu, 2015).

Por lo tanto, se entiende por cultivo sin suelo a cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo ya que se puede cultivar en una solución nutritiva o sobre cualquier sustrato donde se adicione solución nutritiva. (Baixauli & Aguilar, 2002).

Los autores Durán, Martínez & Navas (2000) detallan algunas ventajas y desventajas del cultivo sin suelo.

Ventajas

- Desarrollan cultivos homogéneos, de forma especial en su sistema radicular.
- Se reduce el uso de sustancias desinfectantes debido a la disminución de enfermedades producidas por los hongos del suelo.
- Se eliminan las labores de preparación del terreno para el proceso de siembra.
- Disminuye el consumo de agua, lo que ocasiona una mayor eficiencia en su utilización.
- Se puede tener un mejor control en el desarrollo vegetativo y productivo.
- Se mejora la calidad, cantidad y rapidez en el tiempo de cosecha.
- Posibilidad de automatizar la producción.

Desventajas

- El sistema puede ser contaminante cuando se evacúan los drenajes al suelo o a una fosa.

- Pueden aparecer enfermedades de raíz, por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos.
- Un cultivo sin suelo supone un mayor coste de instalación de elementos como sistemas de riego, canalizaciones, contenedores, equipos de control, entre otros.
- Requiere de un asesoramiento técnico por ser una técnica novedosa para el agricultor.
- El sistema requiere una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición.

1.1.1. Clasificación

Los cultivos sin suelo, dependiendo del medio donde se desarrollan las raíces se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua (hidroponía) y cultivos en aire (aeroponía). (Durán, Martínez, & Navas, 2000).

1.1.1.1. Cultivos en sustrato

Las principales funciones de un sustrato dentro del sistema de cultivo sin suelo es proporcionar un medio ambiente “ideal” para el crecimiento de las raíces y constituir una base adecuada para el anclaje o soporte mecánico de las plantas. (Baixauli & Aguilar, 2002)

Este tipo de cultivos se clasifica según su capacidad de retención de agua, entonces, los sustratos que se caracterizan por su baja capacidad para retener el agua y los nutrientes, como lo son la grava y arlita, requieren un aporte de agua y soluciones nutritivas de manera continua. En cambio, los sistemas lana de roca, perlita, fibra de coco, arena, que se caracterizan por su mayor capacidad de retención de agua y permitir utilizar riegos menos frecuentes. (Durán et al., 2000).



Fig. 1.1 Cultivos en sustrato de fibra de coco.

Fuente: (Baixauli & Aguilar, 2002)

1.1.1.2. Cultivos en agua (hidroponía)

El sistema hidropónico es una técnica de producción de plantas principalmente de tipo herbáceo, donde se aprovechan sitios no convencionales, pero tomando en consideración las necesidades de las plantas como agua, nutrientes, luz y temperatura. En el cultivo hidropónico los nutrientes esenciales son proporcionados por la solución nutritiva, por lo que la disponibilidad de este elemento y de muchos otros (niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra, la acción de patógenos, etc.) incidirán en el rendimiento del cultivo. (Beltrano & Gimenez, 2015)



Fig. 1.2 Cultivo hidropónico de lechuga.

Fuente: (Sádaba et al., 2008)

1.1.1.3. Cultivos en aire (aeroponía)

La aeroponía es una técnica de cultivo moderno en la cual la planta se desarrolla en un entorno aéreo. Mediante un sistema de aspersión continua se aplica a la raíz de la planta las sustancias nutritivas para su adecuado crecimiento. (Roa, 2012)

La aeroponía es un cultivo en donde las raíces se encuentran en una atmósfera saturada de humedad y fertilizadas continuamente y discontinuamente con una mezcla de agua y nutrientes en forma de pequeñas gotas. (Urrestarazu, 2015).

Según la revista digital InfoAgro (2016), el cultivo aeropónico se clasifica en los siguientes:

- Columnas de cultivo. - Consiste en introducir las plantas en perforaciones laterales de un cilindro que puede ser de PVC u otro material. La solución nutritiva será pulverizada en el interior del cilindro para que se distribuya sobre las raíces. (InfoAgro, 2016).



Fig. 1.3. Columnas de cultivo para sistema aeropónico.

Fuente: (Hidroenv, 2016)

- Schwalbach System (SS). - Consiste en un depósito que alimenta una cámara de crecimiento en la que las raíces se encuentran en completa oscuridad. El elemento encargado de distribuir y pulverizar la solución nutritiva será una bomba de agua. (InfoAgro, 2016).



Fig. 1.4. Sistema aeropónico Schwalbach System.

Fuente: (Parkehidropónico, 2015)

- Aero-Gro System (AGS). – Cuenta con tecnología ultrasónica para proyectar la solución nutritiva a baja presión con la finalidad de prevenir las obstrucciones en tuberías y boquillas al momento de la pulverización. (InfoAgro, 2016).



Fig. 1.5. Sistema aeropónico Aero-Gro System.

Fuente: (Indras-planet, 2019)

1.2. Análisis de métodos de cultivo

El análisis para determinar el método de cultivo más adecuado para ser implementado en el cultivo de hortalizas, específicamente para el de lechuga, se lo realiza por el método de factores ponderados, puesto que, este método nos permite comparar entre ciertas opciones y requerimientos importantes para determinar el que mejor se adapte a las necesidades.

Para la realización del análisis se utiliza los parámetros más importantes que un cultivo sin suelo requiere. Según InfoAgro (2016), los parámetros son:

- Uso eficiente del agua
- Grado de Automatización
- Costo de instalación
- Dificultad del manejo del cultivo

El método de factores ponderados toma en cuenta un porcentaje de relevancia “Peso” de acuerdo con los requerimientos del sistema. Por lo tanto, a cada especificación se le otorga un porcentaje que, sumado entre todos, de un total de 100%. (Jarabo & García, 2018).

El peso fue distribuido de la siguiente manera:

TABLA 1. 1
PORCENTAJE DE RELEVANCIA SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN EN CULTIVOS SIN SUELO

Especificación	Peso
Uso eficiente de agua	40%
Grado de Automatización	30%
Costo de implementación	20%
Manejo del cultivo	10%
TOTAL	100%

Fuente: (InfoAgro, 2016)

Este porcentaje se multiplica con la “calificación”, la cual, es otorgada a la especificación en respuesta a cada cultivo según criterios técnicos. Su resultado se convierte en la “calificación ponderada” que deben sumarse para obtener el resultado y comparado entre todos para poder determinar el mejor cultivo en relación con las especificaciones. (Jarabo & García, 2018).

El uso eficiente del agua constituye un parámetro elemental ya que la planta se encuentra en un hábitat de desarrollo completamente distinto y el único medio de alimento para su desarrollo es el agua. En los 3 métodos de cultivo sin suelo aproximadamente se tiene una eficiencia de agua conforme los siguientes datos: sustrato 40%, hidroponía 70% y Aeroponía 90%. (Durán et al., 2000)

El cultivo en sustrato cuenta con pérdidas por la falta de retención y nula recirculación de agua, mientras que en un sistema hidropónico se aprovecha mejor el recurso al recircular, la forma de circulación del agua no es tan eficiente ya que el agua permanece estancada y es propensa a acelerar la propagación de hongos. Por el contrario, en aeroponía estas complicaciones son minimizadas por el uso de un sistema de riego por nebulización, recirculación y buena oxigenación del agua por estar en constante riego aéreo. (InfoAgro, 2016).

Además, debido a las condiciones del lugar, al no contar con agua de riego, se requiere de un sistema que ayude a reducir el consumo de agua ya que este recurso no abunda en la localización del cultivo en especial en épocas de verano.

La automatización en cultivos sin suelo es necesario por su complejo manejo debido a que requieren mayor supervisión en los parámetros productivos por su directa afectación en el rendimiento de la planta. El grado de automatización entre uno y otro varía según los requerimientos de cada cultivo siendo el aeropónico el que mayor grado de automatización requiere ya que las raíces de las plantas se suspenden en el aire y en caso de fallas del sistema con déficit de riego o nutriente, la planta tendería a bajar su rendimiento en función de su crecimiento o morir con mayor rapidez en comparación con los otros dos cultivos. (Durán et al., 2000).

La automatización en este cultivo es de suma importancia, ya que por su difícil acceso al lugar se requiere que la producción se ejecute automáticamente cuando no sea posible acceder a él.

Los costos normalmente determinan la viabilidad de proyectos agrícolas por influir directamente en los costos de producción, cuanto más automatizado es un sistema, mayor es su costo por implementación. Ya que el cultivo de hortalizas conlleva a que es un cultivo de bajo coste de venta, el costo de implementación debe ser lo más bajo posible para poder lograr una rentabilidad aceptada. (Ariel et al., 2013).

Los cultivos sin suelo son cultivos más complicados de manejar que un cultivo tradicional, por ende, la automatización es importante en ellos. Estos cultivos cuentan con un grado de dificultad de manejo distinto y por ello es un parámetro importante a tomar en cuenta en la elección de uno u otro sistema. En función de dificultad, el cultivo aeropónico es de grado alto, el hidropónico de grado medio y en sustrato de grado bajo. (Urrestarazu, 2015).

Con los parámetros ya especificados se diseña la siguiente tabla correspondiente al análisis para la elección del tipo de cultivo.

TABLA 1.2

ANÁLISIS PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE CULTIVO

ANÁLISIS PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE CULTIVO							
Especificación	Peso	Cultivo en Sustrato		Cultivo Hidropónico		Cultivo Aeropónico	
		Calificación	Calif. Ponderada	Calificación	Calif. Ponderada	Calificación	Calif. Ponderada
Uso eficiente de agua	40%	5	2	8	3,2	10	4
Grado de Automatización	30%	4	1,2	8	2,4	10	3
Costo de implementación	20%	10	2	6	1,2	5	1
Manejo del cultivo	10%	9	0,9	7	0,7	5	0,5
TOTAL	100%	6,1		7,5		8,5	

Fuente: (Urrestarazu, 2015)

Los resultados del análisis dan una mayor calificación al cultivo Aeropónico por lo tanto se determina que es el más idóneo para ser implementado.

1.3. Automatización de sistemas de riego

En la actualidad, los sistemas automáticos son implementados en la mayoría de los procesos industriales con la finalidad de estandarizar la producción, aumentar la productividad, mejorar la calidad y principalmente permitir que las personas no realicen procesos repetitivos o de mucho esfuerzo. (Vásquez, 2016).

Vásquez (2016), afirma “La automática es la ciencia que estudia los métodos y procedimientos que permiten la sustitución del operador humano por un operador artificial, en la ejecución de una tarea física o mental, previamente programada.” (p.124).

Bajo este concepto, centrándonos en los sistemas automatizados de riego, el sistema debe cumplir con los parámetros mencionados anteriormente con la finalidad de desarrollar su proceso de manera autónoma y confiable.

El riego automatizado logra convertir tareas complejas en acciones rápidas y prácticas. Además, se programa para realizar el riego según los requerimientos del cultivo en tiempos adecuados. Una instalación de riego automatizado se compone de un programador, difusores, electroválvulas, entre otros.(Chávez, García, & Ortiz, 2011).

Para comprender lo que es un sistema de riego a continuación se detallan los sistemas más comunes en cultivos.

1.3.1. Sistemas de riego

Existen distintos métodos o sistemas de riego, que en función de su aplicación se decide entre uno u otro. Para realizar la selección es necesario un estudio previo para tomar una correcta decisión y para ello, se deben tener en cuenta parámetros tales como: el tipo de

suelo, el tipo de agua y la el cultivo al que va dirigido. (Carretero, 2016). A continuación, se detallan algunos sistemas de riego.

1.3.1.1. Riego por superficie

El riego por superficie es el más antiguo del mundo y considerado como riego tradicional en el cual el agua se transporta gracias a la pendiente del terreno. El agua va disminuyendo conforme desciende por la parcela debido a la infiltración que sufre. La pérdida de agua por evaporación es el principal inconveniente, además del difícil proceso de automatización. (Carretero, 2016).

1.3.1.2. Riego por aspersión

El riego por aspersión se lo realiza mediante aspersores que proporcionan agua al cultivo en forma de lluvia artificial. La falta de uniformidad cuando existen condiciones climáticas con mucho viento es su principal inconveniente. (Carretero, 2016)

1.3.1.3. Riego localizado

El riego localizado o por goteo consiste en aplicar el agua de riego a la zona concreta donde se encuentra la raíz de la planta. Uno de sus principales problemas es la obturación de los pequeños orificios de salida del agua provocado por partículas infiltradas en la canalización, lo cual, conllevaría a la paralización del riego en tal lugar. (Palomino, 2009).

1.3.1.4. Riego por nebulización

El riego por nebulización se clasifica en nebulización de alta presión y baja presión. La nebulización de alta presión (superiores a las 60 atmósferas) produce una gota con un diámetro muy reducido, por lo cual, pesa poco y se mantiene flotando más tiempo en la atmosfera del cultivo gracias a las corrientes de aire que pueden existir. La nebulización a baja presión (entre 5 y 10 atmósferas) provoca un tamaño de gota mayor, por lo que ésta gota se precipita al cultivo rápidamente y necesita más energía calórica para producir su evaporación. (M. Gómez, 2001).

1.3.2. Elementos que intervienen en un sistema de riego automatizado

Según Carretero (2016), los principales elementos que intervienen son:

- a. Bombeo: se refiere a la bomba de motor eléctrico o combustión para la elevación del agua. (Carretero, 2016)



Fig. 1.6 Bomba de riego.

Fuente: (Novagric, 2016)

- b. Equipo de filtrado: constituye el filtro o malla que se encuentra posterior al equipo de bombeo. (Carretero, 2016)

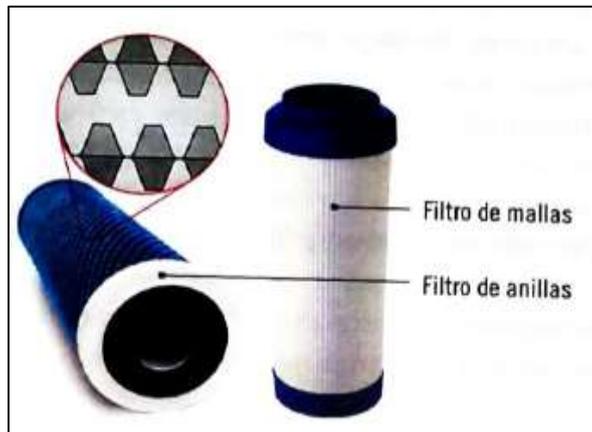


Fig. 1.7 Filtro de mallas y de anillas.

Fuente: (Carretero, 2016)

- c. Red de tuberías: es la canalización por donde circulará el agua para el proceso del riego, desde su etapa de impuso, donde cuyo material suele ser de acero, para posteriormente pasar por etapas primaria y secundaria que generalmente están hechas por PVC hasta llegar a tuberías terciarias que son normalmente de polietileno (PE), para ramales de riego. Además, intervienen los accesorios de las tuberías como codos, empalmes, collarines, tapones, entre otros. (Carretero, 2016)

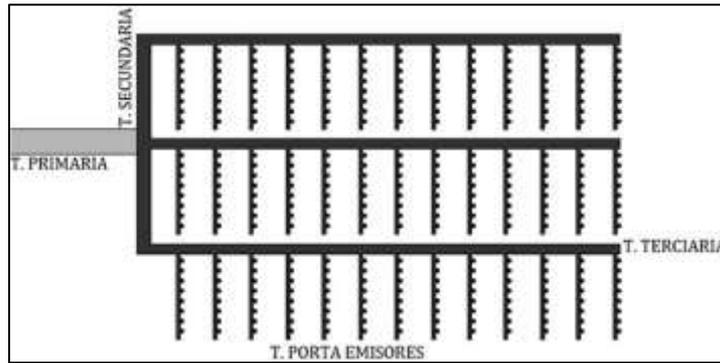


Fig. 1.8. Esquema de una red de tuberías.

Fuente: (Novagric, 2016)

- d. Emisores de riego: son los elementos que proporcionan la forma de salida de agua como son los aspersores, microaspersores, goteros, cañones de riego, entre otros. (Carretero, 2016)



Fig. 1.9 Aspersores para riego.

Fuente: (Novagric, 2016)

- e. Dispositivos de control: son los elementos que intervienen en la programación del riego, apertura y cierre automático de válvulas, medidores, sensores, etc. (Carretero, 2016)

Para detallar el punto anterior a continuación se presentan todos los elementos que intervienen en un sistema de control.

1.3.3. Sistemas de control

Se define a un sistema de control como el conjunto de componentes o dispositivos que actúan en conjunto para lograr su objetivo de control, el cual, surge por la necesidad del hombre de mejorar su estándar de vida y de que algunas tareas sean realizadas en forma automática. (Ñeco, Reinoso, & García, 2013)

1.3.3.1. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control se dividen en dos: sistemas de control en lazo abierto y sistemas de control en lazo cerrado. (Ñeco et al., 2013)

a. Sistema de control en lazo abierto

“Los sistemas de control en lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la acción de control.” (Vásquez, 2016). Es decir, en este tipo de sistema la señal de salida no es medida por lo cual no es realimentada para realizar una acción de comparación respecto a la señal de entrada.

Además, una característica de los sistemas de lazo abierto es que se usan principalmente en base a tiempos como, por ejemplo, en semáforos y lavadoras de ropa. Los elementos que componen este tipo de sistema son: Señal de entrada, elemento de control, planta o proceso y señal de salida. (Ñeco et al., 2013)

A continuación, en la Figura 1.10, se muestra el diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto.

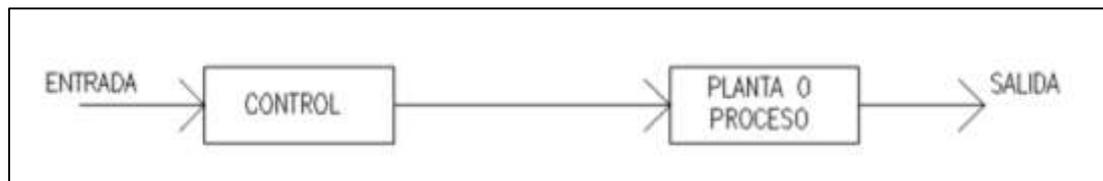


Fig. 1.10 Diagrama de bloques de Sistema en Lazo Abierto.

Fuente: (Ñeco et al., 2013)

b. Sistema de control en lazo cerrado

Los sistemas de control en lazo cerrado cuentan con una realimentación de la señal de la salida que ayuda a realizar una comparación con la señal de referencia de tal manera que la diferencia entre una y otra (señal de error) sirve para que el controlador modifique la acción de control sobre los elementos actuadores de la planta. Esto quiere decir que, en un sistema de lazo cerrado la señal de salida tiene un efecto directo respecto a la acción de control. (Vásquez, 2016).

La ventaja de estos sistemas es la poca afectación ante la variación en la señal de entrada ya que el controlador es el encargado de tomar medidas correctivas en función de la señal a controlar y la señal de referencia, de tal forma que, el controlador reduce el error y llevar a la señal de salida al valor deseado. Los elementos que componen este tipo de sistema son: señal de entrada, elemento de control, planta o proceso, elementos de medición (sensores) y señal de salida. (Ñeco et al., 2013)

A continuación, en la Figura 1.11, se muestra el diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

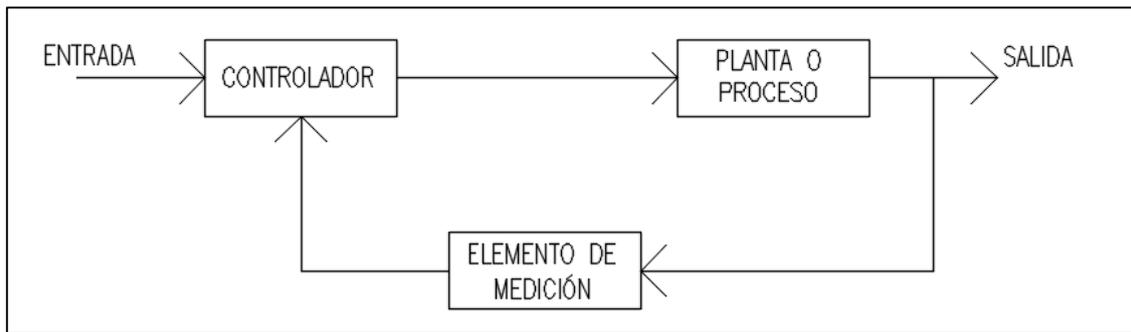


Fig. 1.11 Diagrama de bloques de Sistema en Lazo Cerrado.

Fuente: (Ñeco et al., 2013)

1.3.3.2. Elementos dentro de un sistema de control

Existen diferentes elementos que intervienen en un sistema de control y es necesario clasificarlos. Ñeco García et al. (2013) los clasifica de la siguiente manera:

- a. **Variable a controlar.** - Es la variable que se desea mantener dentro de ciertas condiciones o también conocida como señal de salida. (Ñeco et al., 2013).
- b. **Planta o sistema.** – Es el objeto o elemento a regular para realizar una determinada función. (Ñeco et al., 2013).
- c. **Sensor.** – Es el elemento que permite obtener el valor de la variable a controlar en determinado instante de tiempo. (Corona, Abarca, & Mares, 2014).
- d. **Señal de referencia.** – Es el valor el cual se desea que adquiera la señal de salida. (Ñeco et al., 2013).
- e. **Actuador.** – Es el elemento o dispositivo que actúa sobre el sistema para ejecutar la acción de control directa sobre el proceso con la finalidad de modificar la señal de salida. (Corona et al., 2014).
- f. **Controlador.** – Es el elemento que permite comandar al actuador para evaluar las condiciones y emitir las acciones en función del objetivo de control. (Ñeco et al., 2013).

1.4. Análisis de automatización de sistemas de riego

Todo sistema aeropónico necesita un sistema de riego automatizado, por lo tanto, es necesario un sistema de riego que facilite su automatización. El emisor de riego es de mucha importancia, ya que es el que va a distribuir la solución nutritiva hacia todas las raíces del cultivo. Estos dos requerimientos son importantes para garantizar que la planta cuente con la solución nutritiva correctamente distribuida y no afecte a la raíz. (Otazú, 2010).

Tomando en cuenta todos los sistemas de riego mencionados anteriormente en este capítulo y los utilizados en los sistemas aeropónicos estudiados, se concluye que el sistema de riego por nebulización es el más adecuado para ser implementado.

Las ventajas sobre los demás sistemas de riego radican en que la gota expulsada por el emisor de riego es más pequeña, lo que disminuye la afectación a la raíz por efecto de la fuerza del agua y, además, el riego es mejor distribuido ya que la fina neblina creada por los nebulizadores humedece de mejor manera a la raíz y permanece durante más tiempo en el aire, prolongando por mayor tiempo la humedad de las raíces en el ambiente cerrado. (M. Gómez, 2001).

Otro aspecto importante dentro del sistema de automatización es el controlador, el cual, realizará todas las funciones de procesamiento de información y accionamiento de procesos. Por lo tanto, se realizó el siguiente análisis para la determinación del controlador más adecuado en un cultivo aeropónico.

Para la determinación del controlador del sistema se realizó un análisis de factores ponderados tomando en cuenta algunos dispositivos que se pueden encontrar en nuestro medio para fines de automatización.

Se utilizó el método de factores ponderados debido a que este realiza una comparación entre las diferentes alternativas para conseguir determinar una o varias alternativas válidas.

Para la realización del análisis Gómez (2012) menciona algunas de las siguientes especificaciones como criterios de selección para un controlador.

- Costo del equipo
- Confiabilidad
- Capacidad de entradas y salidas (I/O)
- Lenguaje de programación
- Complejidad de aplicación

El peso (relevancia) fue distribuido de la siguiente manera:

TABLA 1.3

PORCENTAJE DE RELEVANCIA SEGÚN LA ESPECIFICACIONES PARA LA ELECCIÓN DE UN CONTROLADOR

Especificación	Peso
Costo	30%
Confiabilidad	30%
Capacidad I/O	20%
Lenguaje Prog.	10%
Complejidad Aplicación	10%
TOTAL	100%

Fuente: (Gómez, 2012)

Costo del equipo. - Se consideró que el costo tiene una gran relevancia, debido a que está destinado al cultivo de hortalizas, las cuales son de bajo costo.

Confiabilidad. - La confiabilidad del sistema ya que el sistema debe funcionar continuamente, sin interrupciones prolongadas.

Capacidad de entradas y salidas (I/O). - La capacidad de entradas y salidas es importante, ya que se tendrá en el sistema múltiples sensores y actuadores.

Lenguaje de programación. - El lenguaje de programación ayudaría a que cualquier técnico con conocimiento de un lenguaje general pueda lograr reparar averías o cambio de materiales con menor dificultad.

Complejidad de Aplicación. - Todo sistema tiene su complejidad de aplicación, sería un error desaprovechar un controlador robusto para una aplicación sencilla o colocar un controlador poco confiable en un proceso industrial. Por lo cual, se debe tomar en cuenta cual controlador puede cumplir correctamente las funciones del sistema con un mejor aprovechamiento de sus funciones.

Para este análisis se debe otorgar una calificación la cual se la otorga acorde a criterios técnicos del dispositivo en respuesta a las especificaciones. Con todos los aspectos ya detallados anteriormente, se realiza el análisis de la siguiente manera:

TABLA 1.4

ANÁLISIS PARA LA ELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL SISTEMA

ANÁLISIS DE FACTORES PONDERADOS PARA LA ELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL SISTEMA AUTOMATIZADO									
Especificación	Peso	Arduino Mega 2560		Arduino PLC -ArdBox		LOGO V8 Siemens		PLC Siemens S7-1200	
		Calificación	Calif. Ponderada	Calificación	Calif. Ponderada	Calificación	Calif. Ponderada	Calificación	Calif. Ponderada
Costo	30%	10	3	7	2,1	7	2,1	5	1,5
Confiabilidad	30%	7	2,1	8	2,4	9	2,7	9	2,7
Capacidad I/O	20%	10	2	6	1,2	5	1	6	1,2
Lenguaje Prog.	10%	7	0,7	7	0,7	9	0,9	9	0,9
Complejidad Aplicación	10%	8	0,8	9	0,9	8	0,8	6	0,6
TOTAL	100%	8,6		7,3		7,5		6,9	

Fuente: (Gómez, 2012)

Con estos resultados se concluye que el mejor controlador del sistema es el microcontrolador Arduino Mega 2560, el cual, obtuvo la mayor calificación en comparación con los demás dispositivos.

A continuación, se detallará algunas características de Arduino.

1.5. Microcontrolador Arduino

El portal web oficial de Arduino define que “Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida: activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Puede decirle a su placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en el cableado) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.” (Arduino, 2019)

Moreno y Córcoles (2018), afirman que “Arduino es un dispositivo de hardware libre que monta un microcontrolador en una placa de circuito impreso con los elementos necesarios para su funcionamiento y que dispone de un entorno de programación libre junto con un lenguaje de programación propio.”

1.5.1. ¿Qué es un microcontrolador?

Se puede definir a un microcontrolador como un circuito integrado programable debido a que es un dispositivo electrónico que integra un gran número de componentes. Además, tienen la particularidad de ser capaces de realizar operaciones lógicas programadas por el usuario y de ser el componente más importante para el procesamiento y control. La diferencia entre un microcontrolador y un microprocesador es el tipo de sistema, cerrado o abierto. El microcontrolador es un sistema cerrado, lo que quiere decir que, todos los componentes los integra en un mismo sistema, en cambio el microprocesador es un sistema abierto donde por el contrario algunos elementos se encuentran fuera del sistema eléctrico. (Moreno & Córcoles, 2018)

1.5.2. Lenguajes de programación

Arduino utiliza un lenguaje de programación de propósito general C/C++. Dentro de este lenguaje se les incorpora a los elementos existentes instrucciones que se quieran programar en el microcontrolador, las cuales deben ser coherentes y sin errores. (Moreno & Córcoles, 2018)

1.5.3. Sistemas de alimentación

La placa Arduino requiere de una alimentación externa para que pueda operar. Según López (2016) afirma que ésta alimentación eléctrica que se le suministra a una placa de Arduino puede ser de 3 formas.

- a. **Mediante una fuente externa.** - Para este caso, la placa está diseñada para soportar voltajes entre 6 y 20 voltios (V), pero se recomienda que se encuentren entre 7 y 12 V. Este voltaje de entrada posteriormente se regula con un circuito regulador integrado en la placa que convierte el voltaje a 5 V. (López, 2016).
- b. **Mediante USB a un ordenador.** – El voltaje recibido mediante un ordenador será de 5 V, pero en caso de recibir un voltaje superior, la placa Arduino detiene la conexión mediante polifusible reseteable que incorpora hasta que el voltaje vuelva a ser de 5V. (López, 2016).
- c. **Mediante la conexión a Vin y GND.** – En este caso, se debe tener un voltaje previamente regulado a 5 V para alimentar la placa, caso contrario, se podría quemar el circuito por exceso de corriente ya que el diodo de protección no actúa en este tipo de conexión. (López, 2016).

Por el contrario, para alimentar a distintos elementos desde la placa Arduino, la placa cuenta con pines desde donde se extra el voltaje. Estos pines son: pin 3,3 V, pin 5 V y pin Vin. El pin 3,3 V proporciona esta tensión y puede proporcionar una intensidad máxima de 50 mA con un margen de error del 1% gracias a que se encuentra regulado por el circuito LP2985. El pin 5 V, de igual manera, proporciona este valor de voltaje y una intensidad máxima de 300 mA. El pin Vin a su salida tiene el mismo voltaje que entra por el conector de alimentación, es decir que, si se alimenta con 12 V a la entrada, se obtiene 12 V en este pin. (López, 2016)

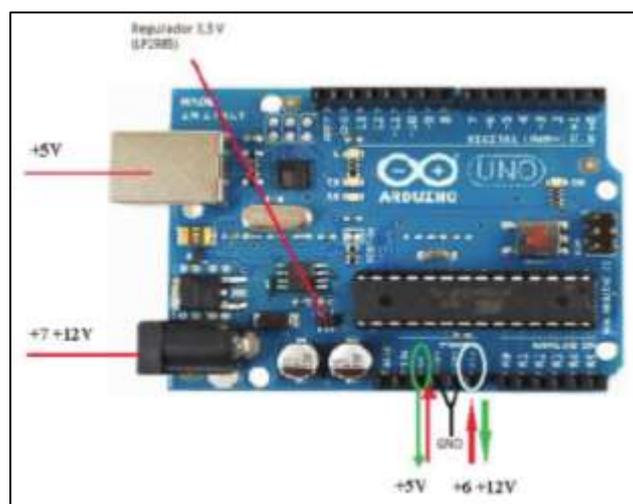


Fig. 1.12 Sistema de alimentación de la placa Arduino UNO.

Fuente: (López, 2016)

1.5.4. Protocolos de comunicación

En la actualidad, para realizar la conexión entre el microcontrolador y los diversos dispositivos se implementan protocolos de comunicación en muchos circuitos integrados. Los protocolos más comunes utilizados en Arduino y sus diversas versiones son el I2C (o TWI) y el SPI. (López, 2016).

- a. **Protocolo I2C/TWI.** Es una transmisión serie síncrona que solamente utiliza dos hilos, uno para el reloj SCL (System Clock, sistema de reloj) que indica cuando leer los datos, y el otro, el SDA (System Data, Sistema de datos) que sirve para transmitir los datos. En este protocolo, uno de los componentes que se encuentra conectado al bus debe actuar como maestro (master) para controlar el reloj y decidir su velocidad. Los pines de la conexión para comunicación I2C en la placa Arduino UNO están en A4 (SDA) y A5 (SCL), mientras que en el Arduino Mega se encuentran en los pines digitales de comunicación 20 (SDA) y 21 (SCL). (López, 2016).

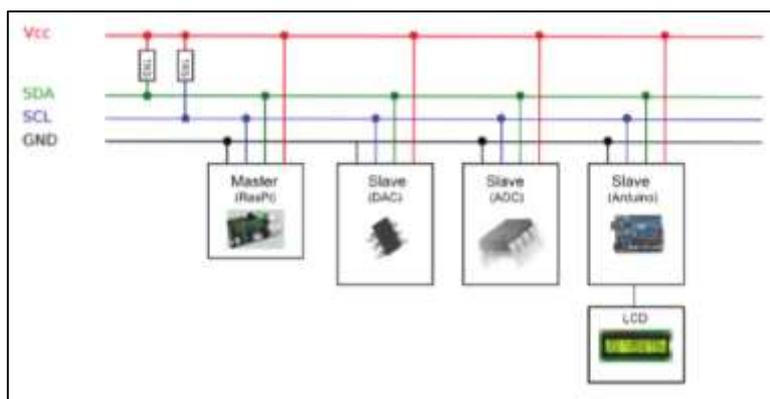


Fig. 1.13 Conexión de varios dispositivos mediante protocolo I2C.

Fuente: (López, 2016)

- b. **Protocolo SPI.** Este protocolo de comunicación utiliza una solución síncrona, lo realiza por medio de líneas distintas para el reloj (clock) y otra para los datos. El problema de pérdida de sincronía se pierde gracias a que la señal de reloj indica al dispositivo que está recibiendo cuando leer los datos. El reloj es generado por el maestro y recibe el nombre de CLK por clock o SCK por Serial Clock. El maestro cuando envía información, lo realiza por una línea de datos llamada MOSI (Master Out Slave In, salida de datos del master y entrada de datos al esclavo) o también denominada SIMO. Cuando el esclavo responde, lo hace por una línea llamada MISO (Master In Slave Out, salida de datos del esclavo y entrada al master) o también denominada como SOMI. La última línea de control es llamada SS (Slave Select, Selección de un esclavo) o también denominada SSTE, la cual indica a un esclavo

que el mensaje es para él o bien le pide una respuesta a una petición del maestro. (López, 2016).

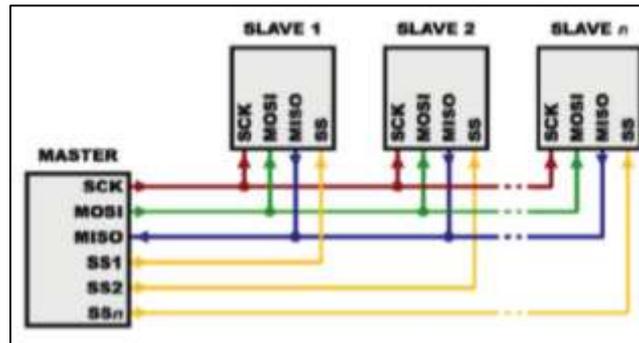


Fig. 1.14 Conexión de varios dispositivos mediante protocolo SPI.

Fuente: (López, 2016)

1.5.5. Modelos de Arduino

Arduino tiene una amplia gama de versiones comerciales tanto oficiales como no oficiales. A continuación, en la Tabla 1.5, se resume algunos modelos de placas y sus especificaciones técnicas.

TABLA 1.5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ALGUNOS MODELOS ARDUINO

Especificaciones técnicas entre algunos modelos de Arduino				
Detalles	Micro	UNO	Mega	Leonardo
Microcontrolador	ATmega32U4	ATmega328P	ATmega2560	ATmega32U4
Voltaje de operación [V]	5	5	5	5
Pines digitales	20	14	54	20
Pines PWM	7	6	15	7
Pines de entradas analógicas	12	6	16	12
Corriente DC por cada pin I/O [mA]	20	20	40	40
Corriente DC por cada pin de 3,3V [mA]	50	50	50	50
Memoria Flash [KB]	32	32	256	32
Memoria SRAM [KB]	2,5	2	8	2,5
Memoria EEPROM [KB]	1	1	4	1
Velocidad de Reloj [MHZ]	16	16	16	16

Fuente: (Novillo, Hernández, Mazón, Molina, & Cárdenas, 2018)

1.5.6. Escudos (Shields) hardware de Arduino

Un escudo o shield es una placa que se puede conectar con Arduino mediante acoplamiento de sus pines con la finalidad de ampliar sus capacidades. Normalmente, este tipo de módulos necesitan una alimentación externa ya que Arduino únicamente puede proporcionar 500 mA y puede ser insuficiente. (López, 2016)

A continuación, se muestran algunos modelos destinados para comunicación:

a. Escudo Ethernet

El escudo Arduino Ethernet permite una conexión a internet con la placa Arduino a través de un cable RJ45. Cuenta con una velocidad de transmisión de 10/100Mb y un chip Wiznet W5100. (López, 2016)



Fig. 1.15 Escudo Arduino Ethernet.

Fuente: (Arduino, 2019)

b. Escudo Wi-Fi

Este escudo Wi-Fi (o Arduino WiFi Shield) le permite al usuario conectar la placa Arduino a una conexión inalámbrica Wi-Fi. Se conecta a través de puerto SPI y utiliza el tipo de encriptación o cifrado WEP y WPA2 Personal. (López, 2016)

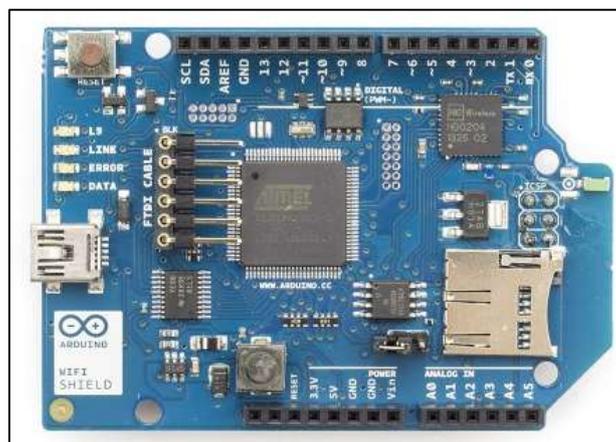


Fig. 3. Escudo Wi-Fi.

Fuente: (Arduino, 2019)

c. Escudo GSM

El escudo GSM (o Arduino GSM Shield) permite conectar a Arduino a internet mediante conexión inalámbrica GPRS, además, poder enviar y recibir llamadas y mensajes de texto

SMS. Es necesario conectar una tarjeta SIM proporcionada por un operador de red al escudo para poder contar con las especificaciones mencionadas.(Arduino, 2019)



Fig. 1.16 Escudo GSM.

Fuente: (Arduino, 2019)

1.6. Internet de las cosas IoT

Internet de las cosas o también conocido como IoT por sus siglas en inglés "Internet of Things" se define según Madakam, Ramaswamy, & Tripathi (2015) como: "Una red abierta y completa de objetos inteligentes que tenga la capacidad de autoorganizarse, compartir información, datos y recursos, reaccionar y actuar ante situaciones y cambios en el entorno" (p.2).

En la actualidad, el concepto de Internet de las cosas ha ido madurando para lograr una interconexión de objetos físicos en la red, con la finalidad de tener conectividad desde cualquier lugar y momento. Dentro de procesos físicos donde se emplean sensores y actuadores se conectan redes de internet para que se convierta en una herramienta de comunicación, comprensión y respuesta rápida del sistema. (Madakam, Ramaswamy, & Tripathi, 2015)

El portal web ThingSpeak, define que "Internet de las cosas (IoT) describe una tendencia emergente en la que una gran cantidad de dispositivos integrados (cosas) están conectados a Internet. Estos dispositivos conectados se comunican con personas y otras cosas y, a menudo, proporcionan datos de sensores al almacenamiento en la nube y a los recursos de computación en la nube donde los datos se procesan y analizan para obtener información importante. Las soluciones de IoT están diseñadas para muchas aplicaciones verticales, tales como monitoreo y control ambiental, monitoreo de salud, monitoreo y control industrial y domótica." (ThingSpeak, 2019)

Utilizando el siguiente diagrama se pueden describir muchos sistemas IoT que actualmente se utilizan.

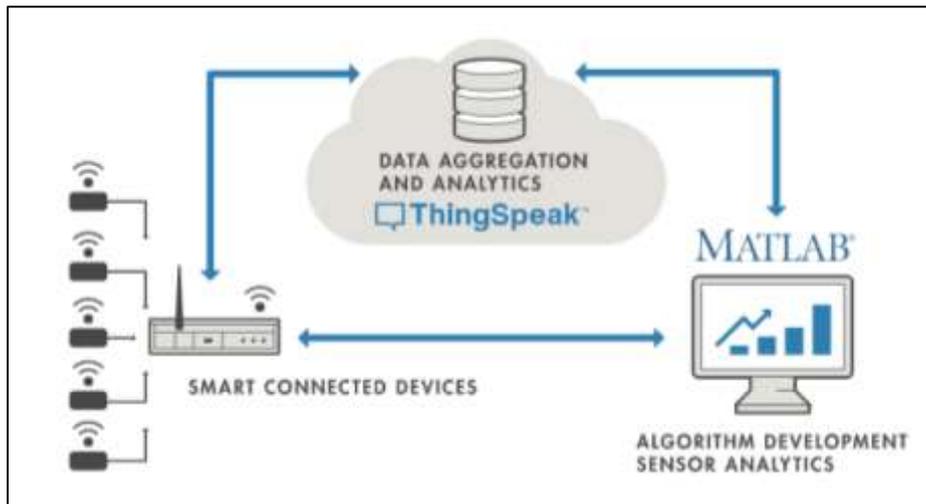


Fig. 1.17 Sistema IoT

Fuente: (ThingSpeak, 2019)

El sistema empieza con la recopilación de datos desde dispositivos inteligentes denominado “cosas” para posteriormente ser almacenados en la nube para ser verificados en tiempo real. Los datos ahora pasan por un proceso de análisis para obtener información proveniente de los valores históricos y aplicando algoritmos asociados a la aplicación. Para este último paso, usualmente los datos se extraen de la plataforma IoT hacia un software externo para ser analizados y utilizados de la manera que se requieran. (ThingSpeak, 2019)

1.7. Parámetros del cultivo de lechuga

Todo cultivo cuenta con parámetros en los cuales su desarrollo es más óptimo, por lo tanto, se debe definir algunos de ellos para elegir el más importante y establecer un control o monitoreo del mismo. (Carretero, 2016).

Debido a que es un cultivo aeropónico, únicamente se alimenta a la planta por solución nutritiva, los parámetros deben ser direccionados a la calidad del agua que se le suministre a la planta y con el ambiente donde se desarrolla el cultivo. (Otazú, 2010).

La calidad del agua utilizada para este tipo de cultivo es de vital importancia para el riego puesto que es un factor que afecta directamente a su rendimiento. (Carretero, 2016).

Existen diversas variables que afectan la calidad del agua de riego, Carretero (2016) afirma las siguientes:

1.7.1. Concentración total de sales solubles

La concentración de sales se determina mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE). La CE es directamente proporcional a la concentración salina del agua analizada y,

como se puede observar en la siguiente gráfica, la producción del cultivo disminuye a mayor salinidad.(Carretero, 2016).



Fig. 1.18 Producción ante la variación de la CE.

Fuente: (Carretero, 2016)

En la Tabla 1.6, se observa una comparación entre el valor de CE y el riesgo de salinidad existente.

TABLA 1.6
COMPARACIÓN DEL VALOR DE CE EN EL RIESGO DE SALINIDAD.

CE(dS/cm)	Riesgo Salinidad
$X < 0,8$	Bajo
$0,8 < X < 1,6$	medio
$1,6 < X < 3$	Alto
$X > 3$	muy alto

Fuente: (Carretero, 2016)

Por lo tanto, en un cultivo lo ideal sería mantener la CE en un grado medio para cualquier tipo de cultivo.

1.7.2. pH

El pH o potencial de hidrógeno, es la expresión química que indica la acidez o alcalinidad del agua. La escala que indica el pH va desde 1 (máxima acidez) al 14 (máxima alcalinidad), cuando el pH = 7 es el estado neutro, es decir, la cantidad de ácido es igual a la cantidad alcalina o básica.(Corona et al., 2014). En cultivos sin suelo es importante monitorear el pH de la solución de nutrientes puesto que puede afectar al crecimiento vegetal de dos maneras:

- **Disponibilidad de los nutrientes (disueltos en agua):** Ciertos valores de pH pueden producir reacciones químicas entre las sales minerales, creándose un precipitado sólido que no puede absorber la planta.(Carretero, 2016).
- **Procesos fisiológicos de las raíces:** pues cada planta/cultivo presenta unos rangos óptimos de pH donde absorber es adecuado, fuera de los cuales pueden presentarse posibles daños por toxicidad, debido al exceso de absorción de otros elementos.(Carretero, 2016).

Debido a lo mencionado anteriormente, según Carretero (2016), los valores óptimos de pH en Lechuga es el siguiente:

TABLA 1.7
PH ÓPTIMO PARA EL CULTIVO DE LECHUGA

Cultivo	pH óptimo
Lechugas	5,8 – 7,2

Fuente: (Carretero, 2016)

1.7.3. La concentración de boro (B) y otras sustancias tóxicas

Se diferencian los problemas de toxicidad de los de salinidad por ocurrir los primeros en el interior de la planta, ya que se acumulan las sustancias en las hojas. Los iones causantes de problemas de toxicidad suelen ser el sodio, los cloruros y el boro. Se debe poner especial énfasis, fundamentalmente, la toxicidad por boro, ya que ocurre a concentraciones muy bajas, aun siendo un micronutriente esencial en la planta.(Carretero, 2016).

1.7.4. Temperatura y Humedad

La revista digital InfoAgro (2016), menciona que “El cultivo de lechuga soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30 °C y como mínima temperaturas de hasta –6 °C. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%.”

Para este trabajo de investigación, tomando en cuenta los parámetros relacionados con la calidad del agua mencionados anteriormente, se analizará únicamente el pH de la solución nutritiva debido al mayor grado de relevancia para cultivos sin suelo y en especial para cultivos de Lechuga. Con respecto a la temperatura y humedad, se necesita su monitoreo

para conocer su tendencia y poder tomar medidas correctivas o compensatorias si salen de sus parámetros permitidos en dicho cultivo.

Se realiza únicamente el monitoreo de temperatura y humedad ya que el control automático constituye un aumento extremadamente alto al sistema automatizado debido a la dimensión del invernadero.

CAPÍTULO 2

Desarrollo

2.1. Diseño del sistema de automatización

El sistema de automatización es el encargado de realizar todas las operaciones del cultivo de forma autónoma. Consta de múltiples elementos que combinados realizan su aporte para cumplir con los requerimientos necesarios.

En este capítulo, se detalla el diseño del sistema automatizado.

2.1.1. Diagrama de bloques

Un diagrama de bloques constituye la representación gráfica del funcionamiento de un sistema. En el diagrama se deben detallar los elementos que interactúan con la finalidad de poder comprender su estructura, comportamiento y conexión. (Ñeco et al., 2013).

En la Figura 2.1, se muestra el modelo de diagrama de bloques diseñado para un sistema automatizado para cultivo aeropónico, donde intervienen todos los elementos necesarios para realizar funciones de control y monitoreo.

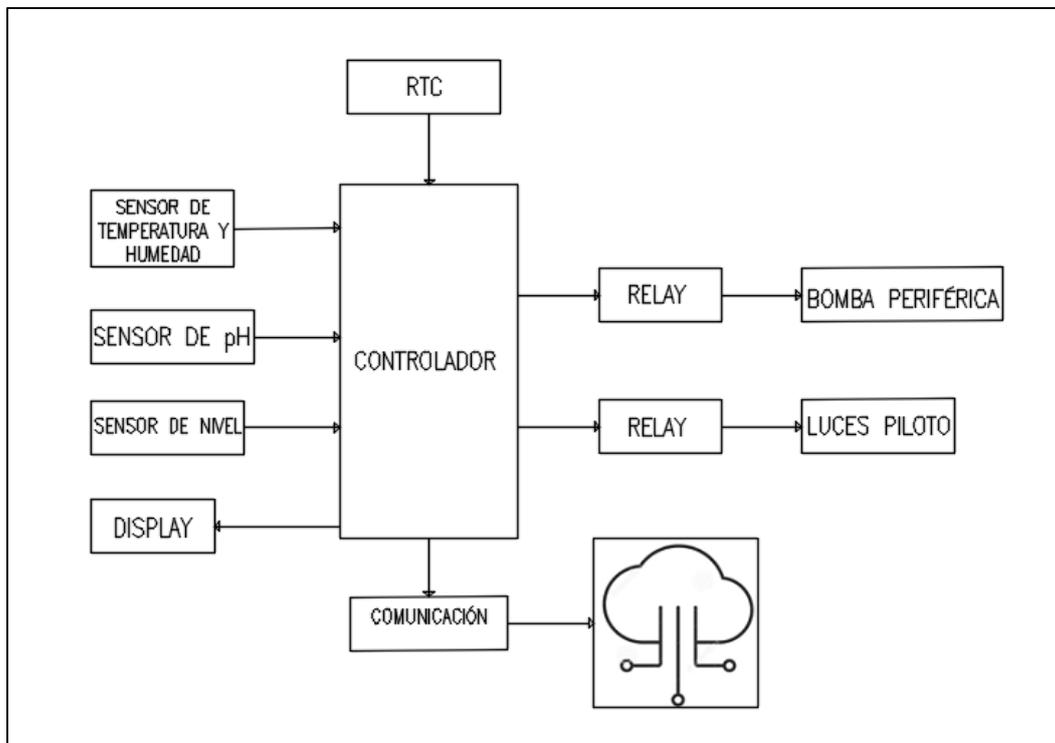


Fig. 2.1 Diagrama de bloques del sistema

Fuente: (El Autor, 2019)

Este sistema necesita realizar múltiples funciones a la vez ya que está integrado elementos que proporcionan datos (sensores, RTC). los imprimen (LCD), los envía remotamente (COMUNICACIÓN), encienden o apagan procesos de potencia (RELAY) y genera procesamiento en el controlador, según los datos entregados, para tomar decisiones.

Para cumplir con todas estas exigencias del sistema, se necesitan elementos que se adapten a las condiciones del lugar (soportar altas y bajas temperaturas), que puedan funcionar continuamente sin interrupciones y que su precisión sea buena.

A continuación, se detalla cada uno de los elementos seleccionados respecto a su funcionalidad, características y conexiones dentro del sistema.

2.1.1.1. Controlador

En el diagrama se incluye un controlador que será el centro de todas las funciones para de procesamiento y ejecución según el sistema requiera. Actúa como maestro y los elementos conectados a él como esclavos.

Según el análisis realizado en el capítulo anterior se concluyó que el mejor dispositivo para esta aplicación es el microcontrolador Arduino Mega 2560. Sus especificaciones técnicas se detallan en el capítulo I.

2.1.1.2. Sensor de temperatura y humedad

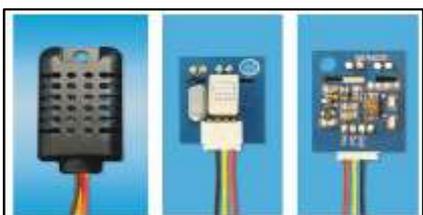
Este sensor tiene la función de obtener los valores de temperatura y humedad relativa del ambiente con la finalidad de llevar un monitoreo y tomar acciones de corrección o compensatorias ante posibles variaciones que estén fuera del parámetro permitido del cultivo de lechuga.

El sensor de temperatura y humedad seleccionado es el módulo AM2301 que cuenta con un sensor DHT21.

En la Tabla 2.1 se observa las especificaciones técnicas del sensor.

TABLA 2.1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

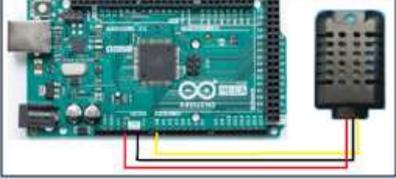
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	
Alimentación DC	3.5 ~ 5.5 [v]
Rango de humedad	0 ~ 100 [%]
Rango de temperatura	(-)40 ~ 80 [°C]
Precisión (humedad)	± 3 [% HR]
Precisión (temperatura)	± 0.5 [°C]



Fuente: (AOSONG, 2010)

Para su conexión, en la siguiente tabla se muestra la distribución de sus pines.

TABLA 2.2
PINES DE CONEXIÓN ENTRE EL MÓDULO AM2301 Y ARDUINO

MODULO AMT2301	ARDUINO MEGA	GRÁFICO
Vcc	5v	
GND	GND	
Data	2 (cualquier pin digital)	

Fuente: (AOSONG, 2010)

2.1.1.3. Sensor de pH

El sensor de pH tiene la función de medir el potencial de hidrogeno de la solución nutritiva, la cual, determina si es adecuada o no para la alimentación de la planta. Como se pudo constatar en el capítulo anterior, este parámetro es indispensable ya que la solución nutritiva es el único medio con el que la planta se nutre y, por lo tanto, su parámetro debe estar siempre en los rangos óptimos para garantizar una mejor producción.

El sensor utilizado se muestra en la Tabla 2.3, con sus respectivas especificaciones técnicas.

TABLA 2.3
CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SENSOR DE PH

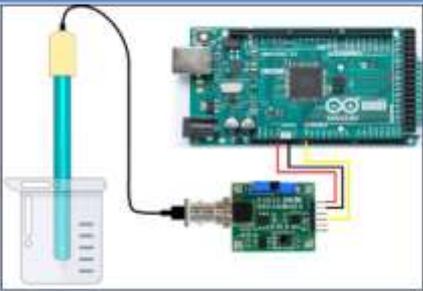
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE PH	
Alimentación	5 [v]
Corriente	5-10 [mA]
Consumo	≤ 0.5 [W]
Temperatura de trabajo	10 - 50 [°C]
Precisión	± 0.1
Rango	0 - 14
Tiempo de respuesta	≤ 1 min
LED Rojo	Límite de pH
LED Verde	Alimentación
Potenciómetro de ajuste de ganancia	
Indicador LED de encendido	
Interfaz pH2.0	
Conector BNC	



Fuente: (Wiki et al., 2014)

Para su conexión, en la Tabla 2.4, se muestra la distribución de sus pines.

TABLA 2.4
 PINES DE CONEXIÓN DEL SENSOR DE PH Y ARDUINO

SENSOR DE pH	ARDUINO	GRÁFICO
Vcc	5v	
GND	GND	
Po	A0 (cualquier pin analógico)	

Fuente: (Wiki et al., 2014)

2.1.1.4. Sensor de nivel de líquidos

En sensor de nivel de líquidos tiene la función de obtener el valor porcentual del nivel de agua proveniente del tanque reservorio, y para ello, es fundamental un sensor de tipo analógico que indique en cualquier momento el estado de la variable.

El sensor utilizado se muestra en la Tabla 2.5, con sus respectivas especificaciones técnicas.

TABLA 2.5
 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SENSOR ULTRASONICO DE NIVEL

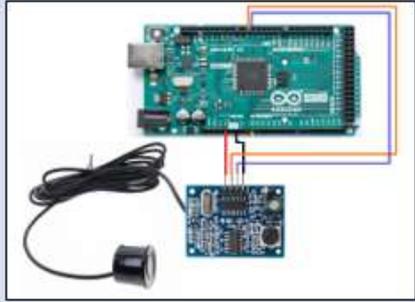
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR DE NIVEL		
Alimentación	5 [v]	
Corriente de funcionamiento	30 [mA]	
Rango de operación	25 [cm] ~ 4.5 [m]	
Resolución	0.5 [cm]	
Ángulo de detección	< 70 [°]	
Temperatura de funcionamiento	(-)10 ~ 70 [°C]	
Longitud del cable	2.5 [m]	
Peso	54 [g]	

Fuente: (DFRobot, 2017)

Para su conexión, en la Tabla 2.6, se muestra la distribución de sus pines.

TABLA 2.6

PINES DE CONEXIÓN ENTRE EL SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL Y ARDUINO

SENSOR DE NIVEL	ARDUINO	GRÁFICO
Vcc	5V	
GND	GND	
Trig	6 (cualquier pin digital)	
Echo	5 (cualquier pin digital)	

Fuente: (DFRobot, 2017)

2.1.1.5. Pantalla LCD

La pantalla LCD tiene la función de mostrar datos útiles, provenientes del sistema, en la planta donde se encuentra ubicado, con la finalidad de mostrar a un operador el valor de las variables o valores importantes para su interpretación.

La pantalla seleccionada es una “LCD 2x16 + módulo I2C” la cual al estar utilizando protocolo de comunicación I2C disminuye el número de pines de salida para realizar la comunicación con el microcontrolador. La pantalla LCD mostrada en la Figura 2.2, ayudará a visualizar el estado de las variables de pH, nivel de agua, temperatura, humedad y elementos que se consideren necesarios.

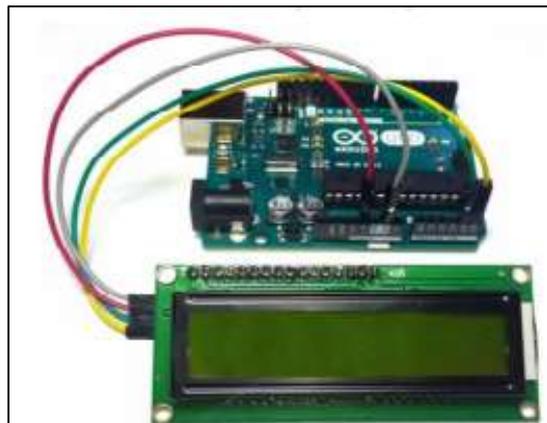


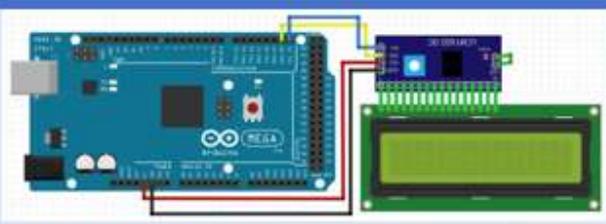
Fig. 2.2 Pantalla LCD 2x16 + módulo I2C.

Fuente: (TodoElectrodo, 2013)

Para su conexión, los pines varían según el modelo utilizado de Arduino, por lo tanto, para su versión MEGA la conexión es la siguiente:

TABLA 2.7

PINES DE CONEXIÓN ENTRE LA PANTALLA LCD Y ARDUINO

LCD+I2C	ARDUINO MEGA	GRÁFICO
Vcc	5v	
GND	GND	
SDA	20	
SCL	21	

Fuente: (TodoElectrodo, 2013)

2.1.1.6. Relay

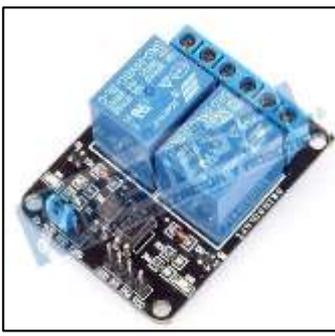
Los relay (relés) tienen la función de interactuar entre los elementos de corriente directa y corriente alterna del sistema. La función de estos elementos en este proceso es recibir señales del microcontrolador, para ejecutar la apertura o cierre de sus contactos y ejecutar acciones de fuerza.

Los relay seleccionados son los módulos relay de 5VDC – 125 VAC como se muestra en la Tabla 2.8, ya que vienen integrados elementos de aislamiento y protección para prevenir fallas eléctricas y por su diseño poder controlar cargas de alta potencia.

TABLA 2.8

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO RELAY

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO RELAY	
Voltaje de operación	5V DC
Señal de control	TTL (3,3V o 5V)
Nº de Relays (canales)	2
Modelo Relay	SRD-05VDC-SL-C
Capacidad máx.	10A/250VAC, 10A/30VDC
Corriente máx.	10A (NO), 5A (NC)
Tiempo de acción	10 ms / 5 ms
Indicadores	Tipo LED
Para activar salida	0 V

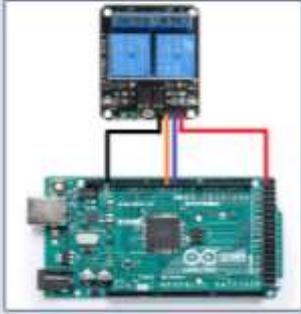


Fuente: (Rambal, 2015)

Para su conexión con Arduino, los pines van distribuidos de la siguiente manera.

TABLA 2.9

PINES DE CONEXIÓN ENTRE EL SENSOR ULTRASÓNICO DE NIVEL Y ARDUINO

MÓDULO RELAY	ARDUINO	GRÁFICO
Vcc	5v	
GND	GND	
IN1	3 (cualquier pin digital)	
IN2	4 (cualquier pin digital)	

Fuente: (Rambal, 2015)

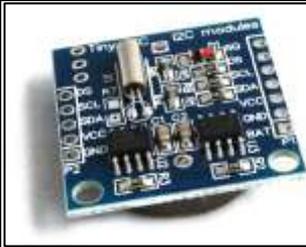
2.1.1.7. Reloj en tiempo real (RTC)

Para esta aplicación es necesario utilizar un reloj en tiempo real debido a que Arduino internamente no lo tiene integrado. Las funciones de este elemento es generar un tiempo que ayude a realizar encendidos y apagados de actuadores e internamente se pueda tener el control de elementos que dependan del tiempo proporcionado por el módulo.

Por lo tanto, se añade un módulo RTC DS1307 que agrega fecha y hora en tiempo real y una batería de respaldo para guardar datos ante la desconexión de su alimentación externa. Las características del módulo se muestran en la Tabla 2.10.

TABLA 2.10

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO RELAY

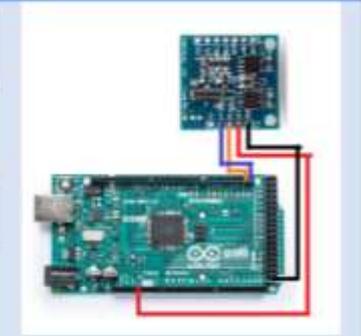
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO RTC DS1307		
Voltaje de operación	3,3V-5V	
Integrados principales	AT24C32 y DS1307.	
Dirección I2C del DS1307	Read(11010001) Write(11010000)	
Memoria EEPROM	AT24C32 (4K * 8bit = 32Kbit = 4KByte)	
Comunicación	I2C	
Batería	Hasta 3 años	

Fuente: (Maxim Integrated, 2015)

Para su conexión con Arduino, los pines van distribuidos conforme a la Tabla 2.11.

TABLA 2.11

PINES DE CONEXIÓN ENTRE EL MÓDULO RTC DS1307 Y ARDUINO

MÓDULO RTC	ARDUINO	GRÁFICO
Vcc	3,3v	
GND	GND	
SDA	20	
SCL	21	

Fuente: (Maxim Integrated, 2015)

2.1.1.8. Comunicación

Debido a las condiciones geográficas donde se desarrolla el proyecto, no se cuenta con ninguna señal cableada de internet por lo que es necesaria una comunicación remota para poder conocer el estado de las variables del cultivo en cualquier momento.

Por lo tanto, se considera al Shield GSM GRPS SIM900 el dispositivo más adecuado por su capacidad de conectarse a Internet y realizar o recibir llamadas y mensajes de texto a través de su conexión inalámbrica 2G.



Fig. 2.3 Shield GSM GRPS SIM900.

Fuente: (Software, 2007)

Para su conexión con Arduino es importante detallar que sus pines de comunicación del Shield son el 7 y 8 pero irán conectados a los pines 10 y 11 del Arduino Mega como se muestra en la Figura 2.4. Caso contrario no se establecerá una correcta comunicación entre los dos dispositivos.

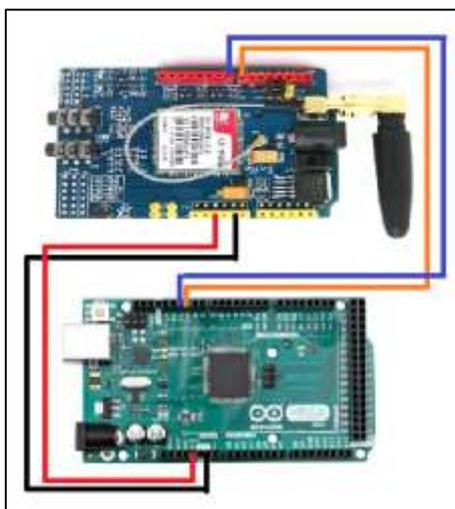


Fig. 2.4 Shield GSM GRPS SIM900 conexión con Arduino

Fuente: (Software, 2007)

2.1.1.9. Luces piloto

Este tipo de luces cumple una funcionalidad importante de visualización dirigida hacia el operador que se encuentra en la planta de producción. El objetivo es poder identificar un desajuste de los valores óptimos de las variables a monitorear y poder tomar medidas correctivas en el sistema lo más pronto posible.



Fig. 2.5 Luces piloto 22 mm <=250 v.

Fuente: (Schneider, 2019)

2.1.1.10. Bomba Periférica

La bomba periférica será la encargada de realizar el proceso de riego tomando el agua desde el tanque reservorio con solución nutritiva hasta los nebulizadores por medio de la canalización.

Los tiempos de encendido de la bomba serán programados dependiendo de las necesidades hídricas que requiera la plantación de lechuga.



Fig. 2.6 Bomba Periférica de 0.5 HP.

Fuente: (Promesa, 2018)

Las especificaciones técnicas de la bomba periférica que se va a utilizar son las siguientes.

			
PUMP	PBP - 50	n.1904	1978
Q.	5 + 40 l/min	H	38 + 5 m
H.max	40 m	Q.max	40 l/min
1-Mot.	V 115/230	Hz 60	3400 min ⁻¹
kW	0.37	HP	0.50
In	2.5 A	W.max	550
C	20 μF	VL	300 V
I.C.	I B	I.P.	44
 continuous duty			

Fig. 2.7 Datos de placa de la Bomba Periférica de 0.5 HP.

Fuente: (Promesa, 2018)

2.1.1.11. Fuente de alimentación DC

La fuente de alimentación es elemento que se encargada de energizar al microcontrolador Arduino y sus dispositivos acoplados como sensores, relés, LCD, entre otros. El voltaje con el que trabaja Arduino y los elementos que se utilizan para esta aplicación es 5 VDC, por lo tanto, la fuente de alimentación debe tener esta unidad de voltaje.

Para el cálculo de la fuente de alimentación se tomará en cuenta el consumo de corriente de todos los elementos a los cuales la fuente alimentará. Estos datos son tomados de los datasheet de cada elemento.

TABLA 2.12

CÁLCULO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Elemento	Consumo de corriente (aproximado)
Arduino Mega + Shield Sim900	2000mA
LCD + I2C	250mA
Módulos Relé	80mA
Módulo AMT2301	8mA
RTC RS2307	0,3mA
Sensor de pH	10mA
Sensor de Nivel	30mA
TOTAL	2378,3mA

Fuente: (El Autor, 2020)

Con el análisis realizado se puede determinar que la corriente que requiere el sistema con los elementos mencionados es de 2378,3 mA a 5VDC.

Utilizando esta fuente de alimentación de 5VDC a 3 A se puede cubrir el consumo total de corriente de todos los componentes y se deja disponibilidad para poder acoplar más elementos de ser necesario.

2.1.1.12. Interruptor termomagnético

Para proteger a los circuitos de control y fuerza de esta aplicación es necesario utilizar interruptores termomagnéticos los cuales deben ser correctamente dimensionados para que su funcionamiento en caso de fallas sea el adecuado.

Para la parte de control previamente se realizó un análisis para determinar la corriente que el sistema requiere para su funcionamiento y se obtuvo un valor de 2378 mA por lo que se dimensionó una fuente de 5VDC a 3 A. Por lo tanto, esta sería la corriente que circularía por el circuito de control.

Para la parte de fuerza se cuenta únicamente con una bomba periférica monofásica de 120VAC y una corriente nominal de 2,5 A.

Para determinar la corriente de arranque de la bomba utilizamos la siguiente ecuación.

$$IA = \frac{P}{V}$$

$$IA = \frac{376 \text{ W}}{120 \text{ V}}$$

$$IA = 3,133 \text{ A}$$

Donde:

IA= Corriente de Arranque

P=Potencia activa de la bomba periférica

V=Voltaje

El interruptor termomagnético a utilizar debe ser superior a 3,133 A, por lo tanto, un valor comercial superior es de 4 A.

2.1.2. Diagrama de flujo del microcontrolador Arduino

Con la finalidad de comprender el funcionamiento del sistema desde el punto de vista de software se realiza el siguiente diagrama de flujo que muestra cada paso de procesamiento del sistema para llevar a cabo las funciones necesarias en esta aplicación.

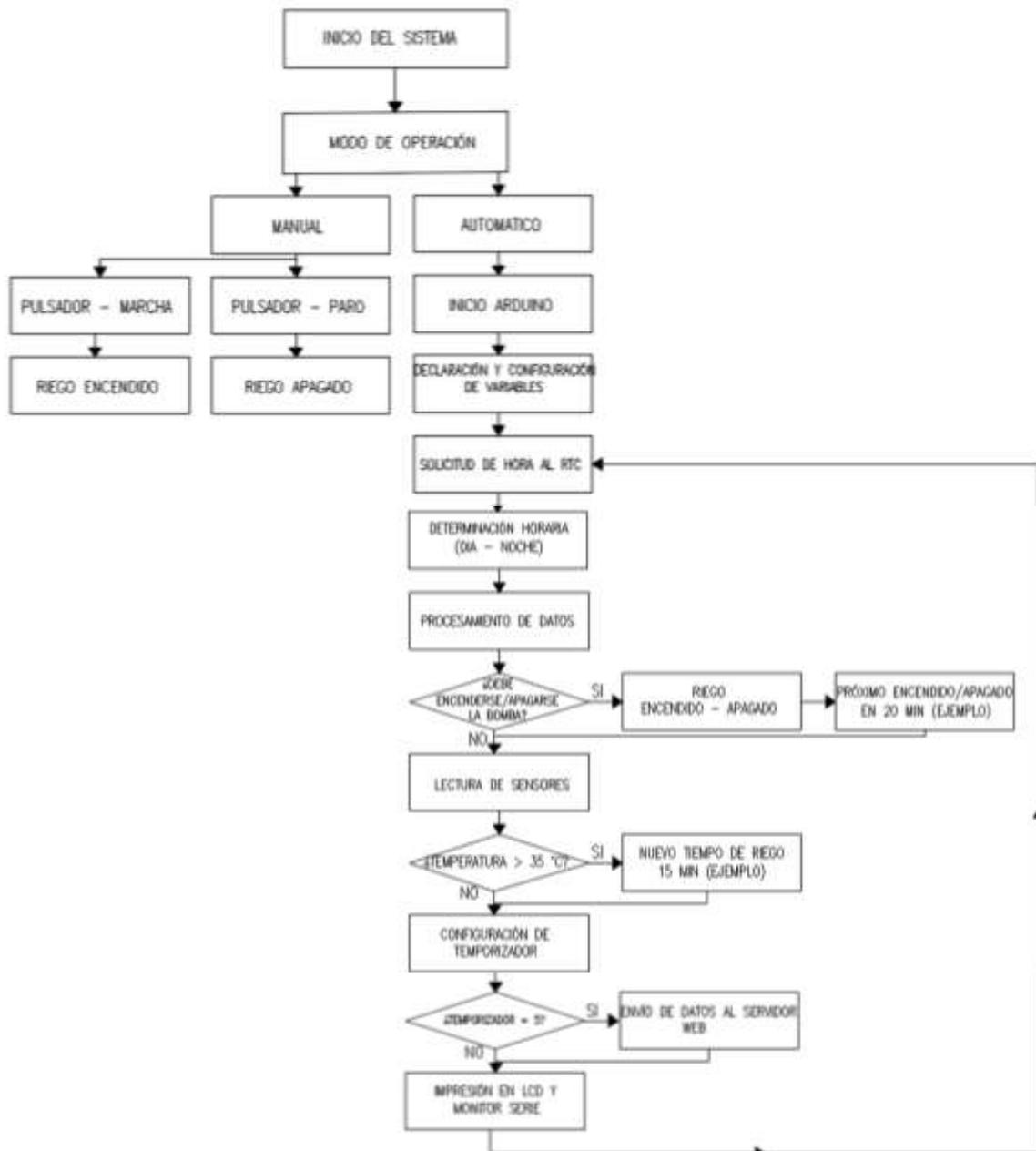


Fig. 2.8 Diagrama de flujo del sistema automatizado

Fuente: (El Autor, 2020)

Al iniciar el programa se empieza ejecutando la declaración de variables y librerías. Estos elementos son necesarios para que los dispositivos externos acoplados en el microcontrolador puedan ejecutar sus funciones de forma correcta. Además, las variables son necesarias para realizar almacenamiento de información, determinar constantes, definir pines a utilizar, entre otras funciones.

Los datos entran en un bucle de configuración donde se determina velocidad de transmisión de datos, inicialización dispositivos, modo de operación de las variables asociadas a los sensores y en este caso almacenamiento de datos iniciales para una posterior utilización. Esta configuración solo se ejecuta una vez al iniciar el programa.

Posteriormente el bucle de proceso inicia solicitando el valor de hora actual (horas, minutos, segundos) y se determina si se encuentra en el ciclo de riego "DIA" o "NOCHE" ya que los tiempos de riego son distintos. Luego, se realiza el procesamiento de información y si se indica que se debe encender/apagar la bomba periférica, se efectúa inmediatamente la acción y luego se reprograma un nuevo tiempo de encendido/apagado para el siguiente ciclo.

Luego inicia la solicitud de datos desde Arduino hacia los sensores de pH, nivel de agua y temperatura y humedad. Un control que se realiza con respecto a la temperatura es modificar el tiempo de riego hasta un valor menor cuando este parámetro es superior a los 35 grados.

Seguidamente se obtiene un valor de Temporizador y este ayuda a la ejecución de acciones cuando llega a un tiempo programado con la finalidad de realizar el envío de datos al servidor Web y otras funciones adicionales. Este proceso ayuda a prevenir el cruce de procesos que puede ocasionar fallas.

Luego de haber realizado todos los procesos en el sistema se procede a la impresión de datos en la pantalla LCD y en el monitor serie cuando el sistema esté conectado a un computador. Cuando finaliza de ejecutarse el programa se reinicia e inicia un nuevo ciclo similar.

2.1.3. Diseño de diagramas eléctricos de potencia

En esta sección, se detallan los diagramas eléctricos de potencia para el funcionamiento de elementos de corriente alterna.

2.1.3.1. Diagramas de control y fuerza

Ya que desde Arduino no se pueden controlar elementos de potencias altas, es necesario realizar sistemas de control y fuerza para el arranque y apagado de la bomba periférica.

Para el encendido de la bomba se establece dos modos de funcionamiento, un modo manual y un automático, de modo que, si se debe realizar cualquier tipo de mantenimiento o si existe alguna avería en el sistema automático, se pueda utilizar el modo manual con la finalidad de no interrumpir el riego al cultivo.

Inicialmente se implementa un selector de 3 posiciones, para el modo Automático, modo manual y posición neutral en donde no irá ninguna conexión eléctrica para asegurar una desconexión total.

El modo Automático, como se muestra en la Figura 2.9, consiste en accionar el circuito de control con la ayuda del microcontrolador Arduino y relés de 5 VDC – 125 VAC. Arduino envía una señal digital para que se active el relé (uC) y el circuito realice un enclavamiento. Para detener el funcionamiento del circuito de control, Arduino enviará otra señal para la activación de otro relé (uC2) y se detendrá el proceso dependiendo del tiempo programado.

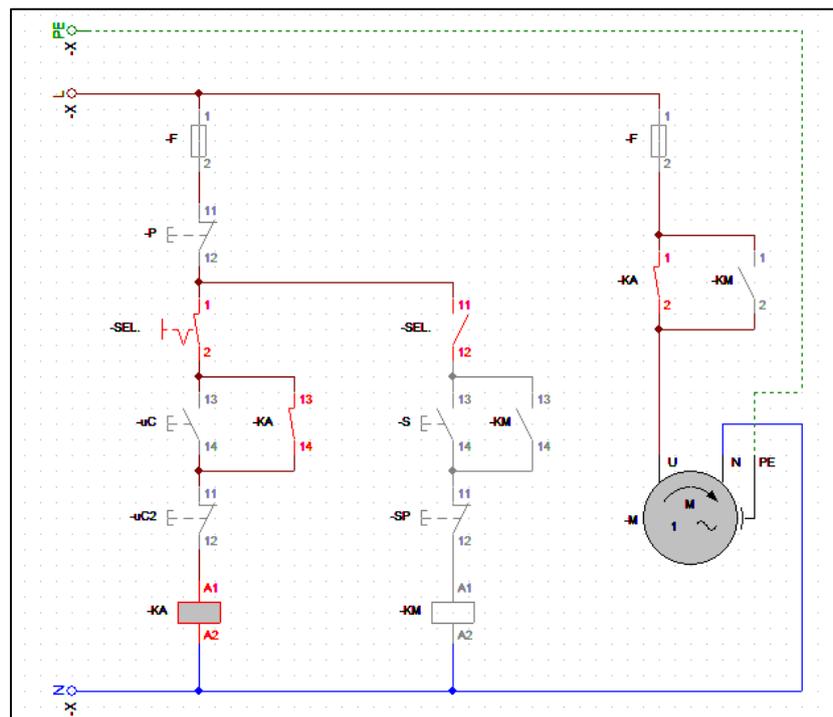


Fig. 2.9 Circuito de control y fuerza para el encendido automático de la Bomba Periférica.

Fuente: (El Autor, 2020)

Para el modo Manual de la Figura 2.10, se añadió un sistema de paro y marcha con enclavamiento por posibles eventualidades que se presentan en el sistema antes mencionados.

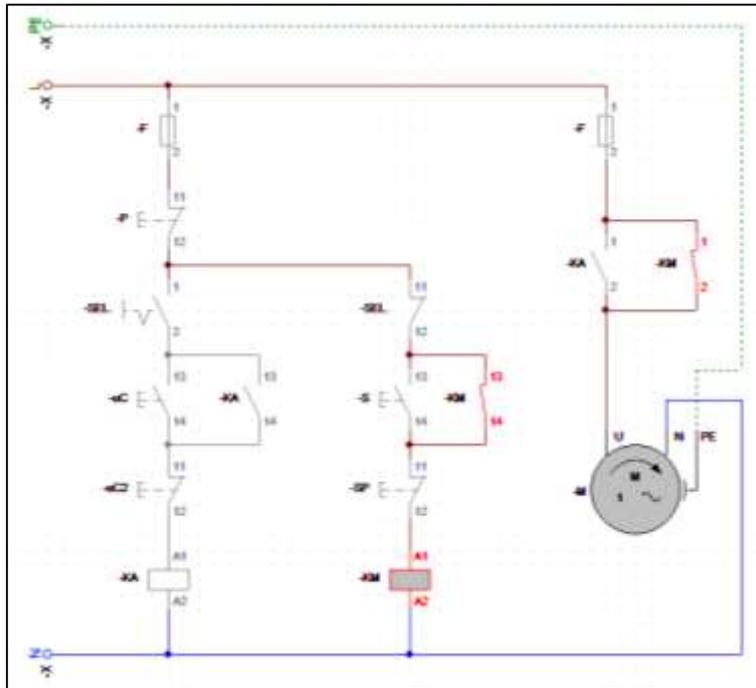


Fig. 2.10 Circuito de control y fuerza para el encendido manual de la Bomba Periférica.

Fuente: (El Autor, 2020)

Con estos dos sistemas se garantiza un mejor desempeño del sistema para el cultivo aeropónico.

Adicionalmente se añade un paro general y disyuntores termomagnéticos para la protección del sistema ante posibles fallos.

2.1.3.2. Distribución del tablero de control

El tablero de control será el centro de todas las funciones que se van a realizar en el cultivo. La parte externa cuenta con componentes de identificación, monitoreo y accionamiento. Mientras que en la parte interna se cuenta con elementos de control, protección, actuadores, conexiones, entre otros.

A continuación, se representa de forma gráfica la distribución de los componentes tanto de forma externa como interna y el detalle de sus componentes.

a. Distribución externa



Fig. 2.11 Diagrama de distribución externa del tablero de control.

Fuente: (El Autor, 2020)

TABLA 2.13

MATERIALES EXTERNOS DEL TABLERO DE CONTROL

MATERIALES EXTERNOS DEL TABLERO DE CONTROL	
Cantidad	Especificación
1	Paro de emergencia con base metálica desenclavamiento por giro
1	Selector 22mm metálico 3 posiciones
2	Pulsador 22mm <= 250 v (1 verde - 1 rojo)
2	Luces piloto 22 mm <=250 v
1	Pantalla LCD 2x16
1	Potenciómetro

Fuente: (El Autor, 2020)

b. Distribución interna

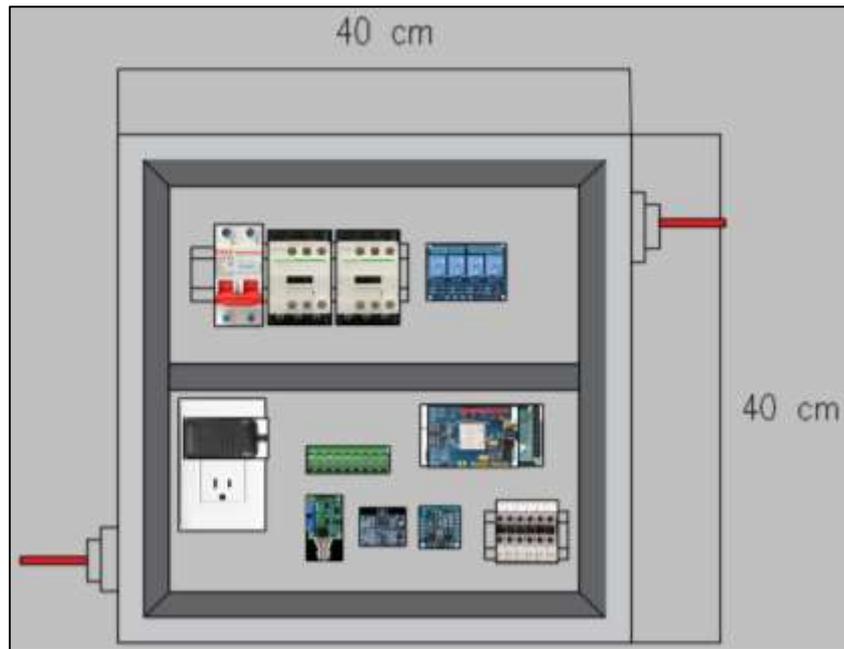


Fig. 2.12 Diagrama de distribución interna del tablero de control.

Fuente: (El Autor, 2019)

TABLA 2.14

MATERIALES INTERNOS DEL TABLERO DE CONTROL

MATERIALES INTERNOS DEL TABLERO DE CONTROL	
Cantidad	Especificación
1	Interruptor termomagnético doble de 4 A
1	Tomacorriente doble 120V
1	Arduino Mega 2560
1	Shield GSM GPRS Sim900
1	Módulo relé de 4 canales 5 VCD - 125 VCA
1	Fuente de alimentación 5 VDC
1	Reloj en tiempo real RTC
2	Contactores
4	Borneras 120VAC
3	Borneras triples 5VDC
1	Canaleta
1	Conductor eléctrico
1	Riel DIN
1	Amarras

Fuente: (El Autor, 2020)

2.2. Simulación de componentes del sistema automatizado en Proteus 8.

Con la ayuda de la versión de prueba del software Proteus 8 y Arduino IDE se desarrolla la simulación con algunos de los componentes que intervienen en el sistema automatizado.

En la simulación se incluye el sensor de temperatura y humedad DHT22, una pantalla LCD 2x16, un reloj en tiempo real RTC, dos relés y un sensor de nivel ultrasónico SR-04.

El sensor ultrasónico de nivel es similar al seleccionado para el sistema y de igual forma, el sensor de temperatura y humedad DHT22 con el módulo AMT2301.

Los componentes como el shield GSM GRPS SIM900 y el sensor de pH no se lo incluyeron en la simulación ya que no se cuenta con las librerías de estos elementos en Proteus 8.

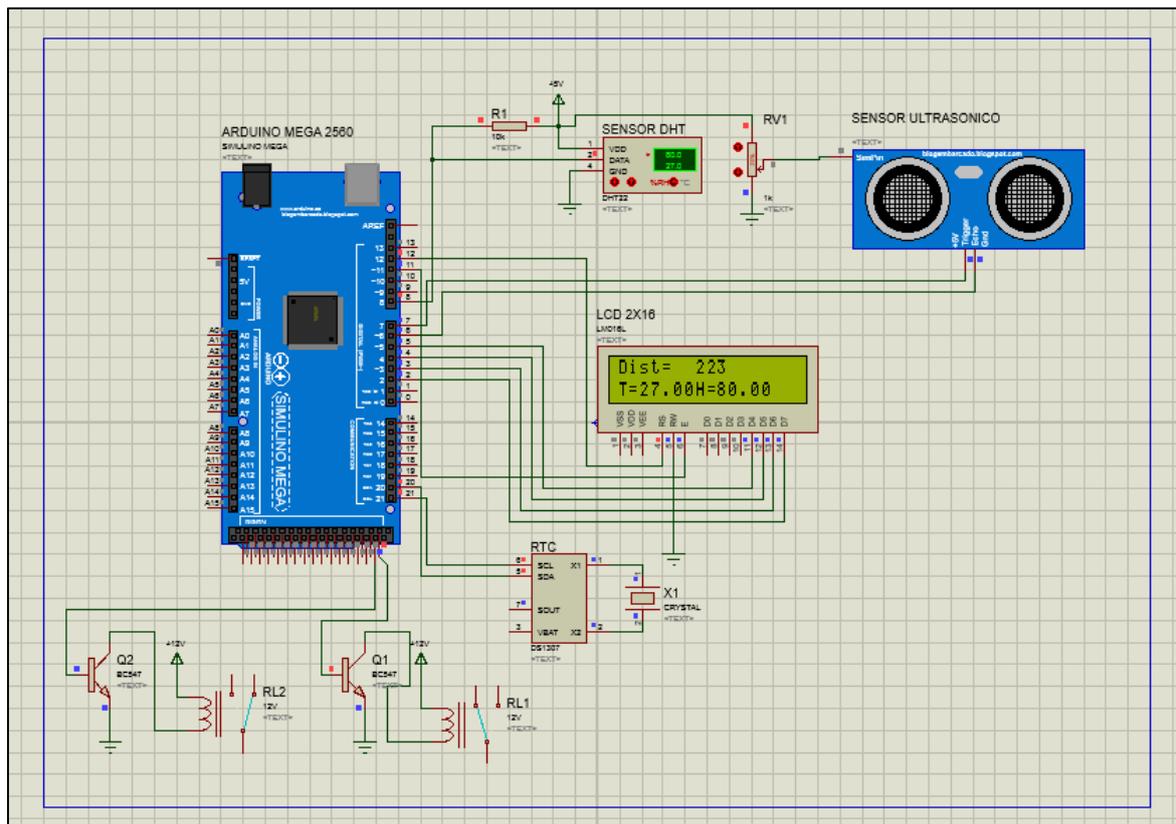


Fig. 2.13 Simulación de componentes del sistema automatizado en Proteus 8.

Fuente: (El Autor, 2019)

Con la simulación realizada se pudo determinar que el sistema funciona correctamente con los componentes añadidos al Arduino Mega 2560.

2.3. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se las realiza fuera de la planta para constatar el correcto desenvolvimiento de los elementos previo a ser instalados. Por lo tanto, se realizan todas las conexiones y configuraciones conforme a la selección de elementos y diseño del sistema desarrollado anteriormente.

En la siguiente figura se muestra las conexiones y los elementos utilizados para realizar la prueba.

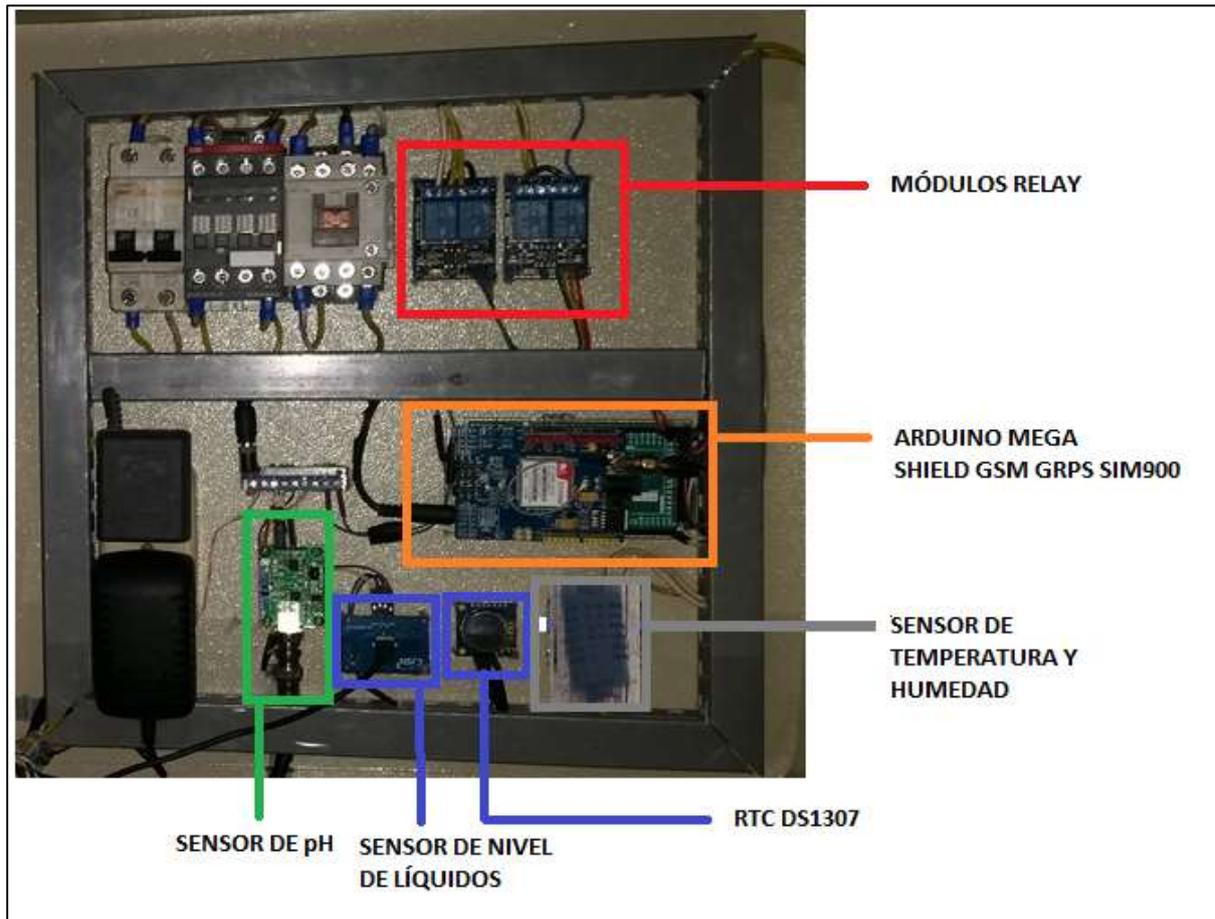


Fig. 2.14 Conexión para pruebas de funcionamiento

Fuente: (El Autor, 2020)

Los resultados obtenidos se mostrarán tanto en la pantalla LCD como en el monitor serie de Arduino IDE para la verificación de resultados. Para la programación del microcontrolador Arduino se utilizó el diagrama de flujo como guía de desarrollo para la realización del código.

Los resultados en el monitor serial se muestran en la Figura 2.15.

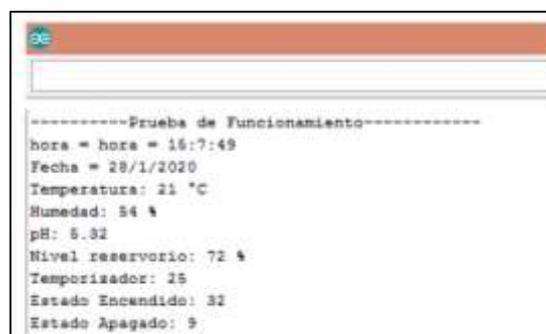


Fig. 2.15 Datos del Monitor Serie en pruebas de funcionamiento

Fuente: (El Autor, 2020)

Ya que la LCD únicamente nos puede mostrar 32 caracteres en su pantalla, no se puede dar mayor detalle para su interpretación. Por lo tanto, la Figura 2.16 muestra la distribución y detalle según los valores mostrados.



Fig. 2.16 Datos de la pantalla LCD en pruebas de funcionamiento

Fuente: (El Autor, 2020)

El valor de temporizador es importante dentro de la LCD ya que muestra el tiempo restante para realizar el próximo riego al cultivo. Cuando su valor llegue a ser cero, activará el sistema de encendido de la bomba.

Los valores de la prueba de funcionamiento son tomados cuando la bomba periférica fue encendida recientemente, por tal motivo, en la parte derecha de la pantalla LCD se muestran las letras “D” y “E” que significan que el periodo de riego está en el Día y que el riego está Encendido.

Además, en el monitor serie se muestran los valores de estado de encendido y apagado de la bomba. Para comprender cuando debería apagarse (ya que se encuentra encendida) nos centramos en el valor del minutero y “Estado Apagado”. Actualmente, el valor de minuto es igual a 7 y el Estado Apagado = 9, conforme pasa el tiempo, minuto subirá su valor y cuando llegue a 9 ambos serán iguales y la bomba se detendrá. Posteriormente el valor de “Estado Apagado” será 9 + 25 (ya que este último valor es el tiempo actual de riego en el día) y su nuevo valor será 34. Entonces cuando minuto sea igual a 32 la bomba se volverá a encender (Estado encendido = 32 en el monitor serie) y se apagará cuando minuto sea 34.

2.4. Diagrama de distribución general del sistema

En la distribución general del sistema que se representa en la Figura 2.17, se observa el cultivo aeropónico, el tablero de control, los sensores, los elementos de canalización y bombeo del riego, entre otros elementos.

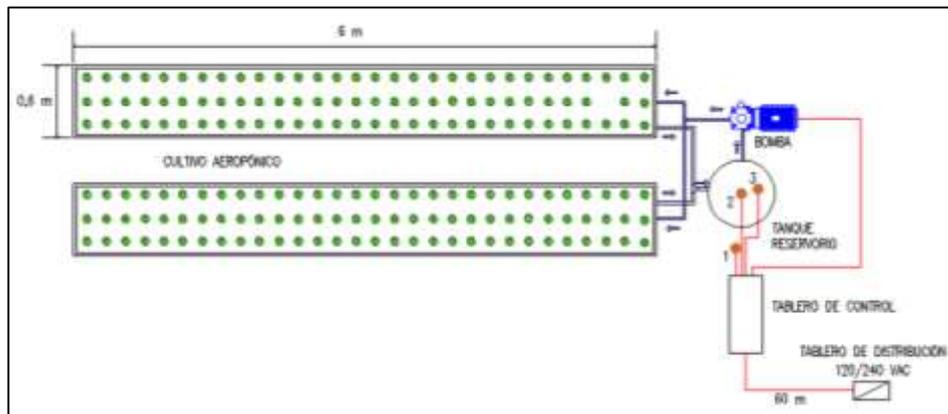


Fig. 2.17 Diagrama de distribución general del sistema automatizado.

Fuente: (El Autor, 2020)

Los elementos numerados representan lo siguiente:

- 1) Sensor de temperatura y humedad
- 2) Sensor de nivel de agua
- 3) Sensor de pH

El sensor de temperatura y humedad se lo debe colocar lo más cerca y centrado posible del cultivo para que sus datos sean más exactos.

TABLA 2.15

MATERIALES DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

MATERIALES DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	
Cantidad	Especificación
1	Bomba periférica de 0,5 HP
1	Tablero de control eléctrico
1	Tablero principal de distribución
1	Conductor eléctrico
1	Sensor de temperatura y humedad (1)
1	Sensor de nivel de agua (2)
1	Sensor de pH (3)

Fuente: (El Autor, 2020)

CAPÍTULO 3

Resultados

En la siguiente sección se detalla el proceso de implementación, los resultados y la validación, así como también, la comparación entre un cultivo tradicional y un cultivo aeropónico automatizado.

3.1. Construcción del sistema eléctrico

El sistema eléctrico de acuerdo a su diseño mostrado en el anterior capítulo se encuentra dentro de un tablero de control de doble fondo donde van incluidos todos los elementos tanto internos como externos para ser el centro de todas las funciones del sistema.

En la Figura 3.1, se muestra el tablero utilizado para esta aplicación, el cual, cuenta con dimensiones de 40x40 cm y una profundidad de 20 cm.



Fig. 3.1 Tablero de control seleccionado

Fuente: (El Autor, 2020)

Para la implementación de los componentes internos se distribuyó la canalización sobre el doble fondo del tablero como se muestra en la Figura 3.2. Se la realizó en esta modalidad para evitar que los múltiples cables conductores queden visibles en la instalación. Además, se colocó los elementos a modo de prueba para verificar su correcto acoplamiento conforme al diseño realizado. Los elementos de fuerza fueron colocados en la parte superior, mientras que los elementos de control en la parte inferior.



Fig. 3.2 Distribución de prueba de elementos del sistema y canalización

Fuente: (El Autor, 2020)

Posteriormente se realizó las conexiones internas y externas de modo que el sistema interactúe entre los elementos seleccionados y el microcontrolador.



Fig. 3.3 Conexiones internas y externas del tablero de control

Fuente: (El Autor, 2020)

Al finalizar, el tablero de control de control queda constituido conforme a la Figura 3.4.



Fig. 3.4 Tablero de control finalizado

Fuente: (El Autor, 2020)

Adicionalmente se añadió un potenciómetro para el control manual de luminosidad de la pantalla LCD.

3.2. Implementación del sistema automatizado en el invernadero

La implementación del sistema se realizó en un área del invernadero de 800 m² localizado en el barrio 19 de enero, específicamente con latitud 0.296589 y longitud -78.146127.

En la Figura 3.5, se muestra el área destinada para el cultivo aeropónico.



Fig. 3.5 Área destinada para la implementación del cultivo aeropónico

Fuente: (El Autor, 2020)

Inicialmente se instalaron los 2 módulos de producción los cuales cuentan con una dimensión de 0,6 x 6 metros, logrando un área de producción total de 7,2 m². Su estructura es metálica y están recubiertos con plástico negro en su totalidad para evitar pérdidas de agua. Incluyen la canalización con manguera de 16 mm para el sistema de riego por nebulización y un soporte de alambre en la parte superior para la colocación de las planchas de ternopor.



Fig. 3.6 Módulos productivos para aeroponía

Fuente: (El Autor, 2020)

Posteriormente se realizó la instalación del sistema de riego desde la bomba hasta la canalización de 16 mm y también desde la parte inferior de los módulos de producción hasta el tanque reservorio para realizar la recirculación del agua. En este proceso interviene manguera de $\frac{3}{4}$ de pulgada, codos, tees, filtro, uniones, válvula check y reductores de $\frac{3}{4}$ de pulgada a 16 mm.



Fig. 3.7 Canalizaciones del sistema de riego

Fuente: (El Autor, 2020)

El tanque reservorio debe ser enterrado bajo superficie para lograr la circulación del agua únicamente por gravedad, caso contrario se necesitaría un mecanismo adicional de bombeo para cumplir con esta función.

El filtro de agua se lo coloca entre la salida del tanque reservorio y la entrada de la bomba periférica para evitar el paso de suciedad que produciría el taponamiento de nebulizadores.

Adicionalmente, se instaló un manómetro de presión para poder verificar si la instalación cumple con el valor mínimo de este parámetro y pueda producir una aspersión nebulizada.

Para la instalación del sistema eléctrico se colocó el tablero de control cerca de la bomba periférica y el tanque reservorio ya que todos los procesos de control y monitoreo se los debe realizar en dicho lugar. El sensor de temperatura y humedad, se colocó en la parte exterior del invernadero para que recopile los datos de estas variables provenientes del ambiente.

El sensor de nivel de agua es colocado en la tapa del tanque reservorio para medir el porcentaje de llenado.

El sensor de pH es colocado en un recipiente donde se encuentra una muestra de agua proveniente del tanque reservorio la cual es absorbida por medio de una mini bomba.

En la Figura 3.8, se muestra la distribución de los mencionados elementos y algunos otros.



Fig. 3.8 Elementos de control instalados en el invernadero

Fuente: (El Autor, 2020)

Ya con los sistemas tanto de cultivo como eléctrico instalados, se realizó pruebas de funcionamiento del sistema de riego para constatar su funcionamiento. En la Figura 3.9, se muestra el sistema de riego por nebulización operando en modo de prueba y la medición de presión que produce el sistema.



Fig. 3.9 Pruebas del sistema de riego

Fuente: (El Autor, 2020)

Para sostener la planta es necesario colocar planchas de ternopor con agujeros de un diámetro aproximado de 6 centímetros. La colocación de este material debe ser en su totalidad para que la raíz de la planta quede aislada dentro de los módulos y también no haya pérdidas de agua. En la Figura 3.10, se muestra el proceso de colocación de las planchas de ternopor.



Fig. 3.10 Colocación de planchas de ternopor
Fuente: (El Autor, 2020)

El en proceso de siembra es necesario algodón o esponja para ajustar la planta en los huecos realizados a las planchas de ternopor. La planta debe ser desinfectada y quitada toda la tierra para su siembra en el sistema aeropónico. Posteriormente solo se coloca la esponja en el contorno de la planta para que su raíz quede flotando dentro del módulo de producción.



Fig. 3.11 Proceso de siembra en aeroponía
Fuente: (El Autor, 2020)

La solución nutritiva es suministrada desde el proceso de siembra hasta el final del cultivo, por lo que es indispensable su preparación previa a la siembra. Finalmente, luego de los procesos de siembra y solución nutritiva se debe configurar tiempos de riego (proceso que se describirá más adelante), adquisición de datos, monitoreo y todos los relacionados con la automatización. Al final el sistema aeropónico automatizado queda de la siguiente manera.



Fig. 3.12 Sistema aeropónico completamente instalado

3.3. Configuración del riego

El riego es una parte fundamental ya que constituye el modo de vida de las plantas en un sistema aeropónico. Entonces, para determinar los tiempos más adecuados de suministro se utilizó el método de observación, que consistió en visualizar el tiempo aproximado en el cual la raíz de la planta podía retener el agua con solución nutritiva sin quedarse seca por completo. Los tiempos de riego dependen del tamaño de la raíz, ya que, a mayor cantidad, el agua podrá permanecer mayor tiempo retenida por permanecer distribuida en un mayor espacio.

Por lo tanto, los tiempos de riego que se manejaron se muestran en la Tabla 3.1. Como ejemplo para la interpretación de los datos, el tiempo de riego (1min/15min) representa 1 minuto de riego cada 15 minutos.

TABLA 3.1
CONFIGURACIÓN DE TIEMPOS DE RIEGO

		Tiempos de Riego		
Fecha	Etapa	Día	Noche	Temperatura > 35 °C
18/12/2019	Siembra	1 min/ 15 min	1 min/ 15 min	
21/12/2019	Brotos	2 min/15 min	2 min/ 20 min	
26/12/2019	Desarrollo	2 min/20 min	2 min/ 30 min	2 min/15 min
09/01/2019	Desarrollo	2 min/25 min	2 min/ 40 min	2 min/20 min

Fuente: (El Autor, 2020)

En la etapa de siembra la raíz cuenta con una dimensión de entre 4 a 5 cm, como se muestra en la Figura 3.13, por lo que se necesita riego constante por su poca retención de solución nutritiva.



Fig. 3.13 Dimensión radicular en etapa de siembra

Fuente: (El Autor, 2019)

Conforme trascurren las etapas del desarrollo del cultivo se modificó los tiempos de riego debido al mayor dimensionamiento y grosor de las platas. En la Figura 3.14, se evidencia el crecimiento y mejor retención de agua por parte de la raíz, que conlleva a que permanezca más tiempo húmeda y poder prolongar el tiempo de la distribución de la solución nutritiva.



Fig. 3.14 Dimensión radicular en etapa de desarrollo

Fuente: (El Autor, 2019)

Otro factor importante que influye en la determinación de los tiempos de riego es la temperatura. El efecto que causa la alta temperatura es la evaporación del agua, producto de esto, la planta tendrá menor tiempo de humedad y podría tener consecuencias de retraso en el crecimiento. Para corregir este problema, se realizó una realimentación en el sistema con la temperatura obtenida por el módulo AMT2302 para cambiar el tiempo de riego a un valor menor.

Con este control, se mejora el rendimiento y eficiencia del cultivo al proporcionar a la raíz un correcto riego que favorece al crecimiento acelerado tanto de las raíces como de sus hojas.

3.4. Características de la solución nutritiva

La solución nutritiva proporciona los elementos necesarios para que la planta compense los nutrientes provenientes del suelo y los obtenga únicamente del agua. Para este trabajo de investigación, se utilizó un nutriente de tipo bioestimulante orgánico natural que ayudan a una mayor producción y mejor calidad de cosecha. Este nutriente está destinado principalmente para hortalizas, cereales y ornamentales. Entre sus ingredientes se encuentran el Nitrógeno, Fosfato, Potasio, Vitaminas E, C, B Complex, ácidos orgánicos, azúcar natural, aminoácidos, carbohidratos y otros ingredientes. Este nutriente es empleado para cultivos en suelo e hidropónicos, por lo tanto, también puede ser utilizado en aeroponía.

El pH de este nutriente es de tipo ácido, ya que se obtiene un valor de medición de 3.3 como se puede apreciar en la Figura 3.15.



Fig. 3.15 pH de la solución nutritiva

Fuente: (El Autor, 2019)

Por el contrario, el pH del agua de riego utilizada bordea el 7.1 aproximadamente, combinados los dos elementos con las proporciones indicadas en la etiqueta del nutriente se obtiene los siguientes resultados.

Dosis nutriente = 120ml en 400l/agua

Entonces, para este caso, el tanque reservorio tiene una capacidad de 50 litros de agua. La dosis sería la siguiente:

$$\text{Dosis 50 litros} = \frac{120 \text{ ml} \times 50 \text{ l/agua}}{400 \text{ l/agua}} = 15 \text{ ml}$$

En la Tabla 3.2, se muestra las dosis de solución nutritiva empleadas según la etapa de crecimiento. Se recomendó un aumento de la dosis ya que la planta a mayor crecimiento requiere mayor cantidad de nutriente.

TABLA 3.2

PH INICIAL ANTE DOSIS DE NUTRIENTE

Fecha	Etapa	Solución Nutritiva	pH
		ml/50 litro	
18/12/2019	Siembra	15	6,9
21/12/2019	Brotos	15	
26/12/2019	Desarrollo	20	6,4
09/01/2019	Desarrollo	20	

Fuente: (El Autor, 2019)

Inicialmente, conforme la dosis es suministrada al agua de riego, el pH resultante es distinto. Por lo tanto, el valor de pH depende de la dosis suministrada y del tiempo transcurrido ya que la recirculación del agua provoca cambios en este parámetro.

En la Figura 3.16, se muestra la variación de pH desde el periodo inicial de llegada hasta el necesario reabastecimiento total de la solución nutritiva.

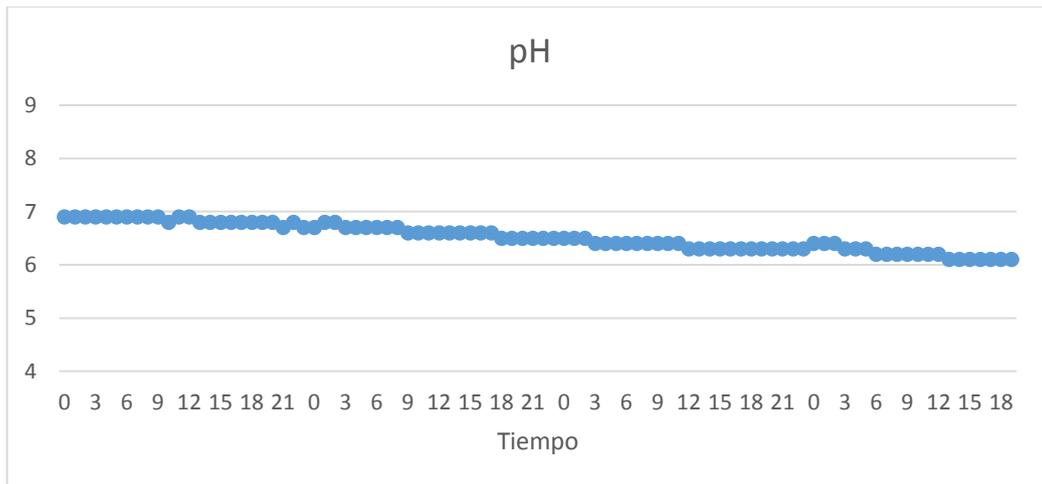


Fig. 3.16 Tendencia de pH en función del tiempo

Fuente: (El Autor, 2020)

3.5. Comparación productiva entre un cultivo tradicional y aeropónico

Para este trabajo de investigación se comparó entre dos métodos de cultivo, aeropónico y tradicional. Para ello, el objeto de comparación son plantas de lechuga las cuales tienen el mismo tiempo de producción.

En la Tabla 3.3, se muestra el proceso de desarrollo tanto en un cultivo aeropónico como en un cultivo tradicional respecto a sus hojas.

TABLA 3.3

COMPARACIÓN DEL DESARROLLO DE LAS HOJAS ENTRE UN CULTIVO AEROPÓNICO Y TRADICIONAL

Cultivo	AEROPONÍA	TRADICIONAL
Siembra		
8 días		



Fuente: (El Autor, 2020)

Como se muestra en las figuras comparativas, el desarrollo de las hojas ha sido más acelerado en un cultivo aeropónico.

En la Tabla 3.4, se muestra el número de hojas promedio y el diámetro por etapas que se obtuvo en cada cultivo.

TABLA 3.4
COMPARACIÓN EN NÚMERO DE HOJAS Y DIÁMETRO DE LAS PLANTAS

Comparación en número de hojas y diámetro de la planta						
Tiempo	8 días		15 días		30 días	
Cultivo	Diámetro	# hojas	Diámetro	# hojas	Diámetro	# hojas
Aeroponía	9 cm	4	13 cm	8	17 cm	11
Tradicional	5 cm	3	8 cm	5	12 cm	7

Fuente: (El Autor, 2020)

Para poder observar la comparación entre uno y otro, la siguiente figura de columnas nos muestra claramente el cultivo con mejor desarrollo.

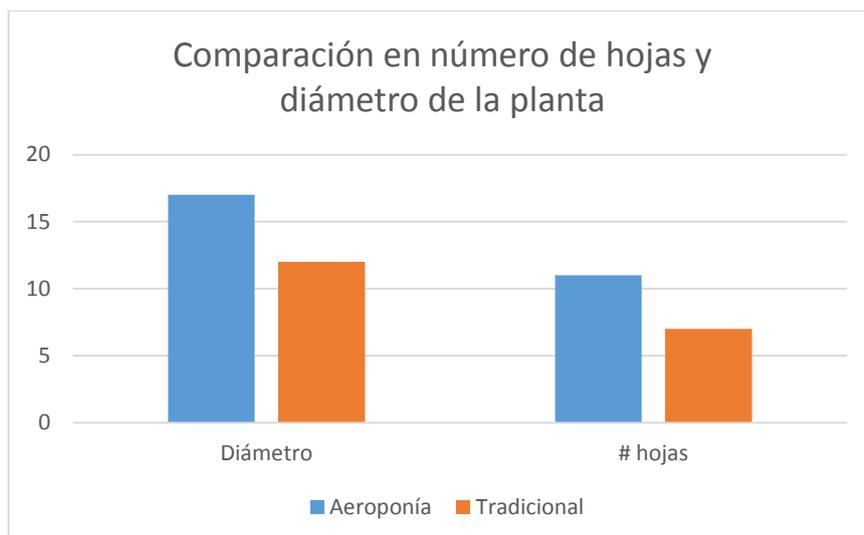


Fig. 3.17 Comparación en número de hojas y diámetro de las plantas
Fuente: (El Autor, 2020)

De forma gráfica en la Tabla 3.5, se puede evidenciar las dimensiones entre uno y otro cultivo y se muestra que en aeroponía se obtiene un mejor rendimiento tanto en brotes de hojas como en tamaño.

TABLA 3.5
COMPARACIÓN EN DIAMETRO DE LA PLANTA

Cultivo	Dimensiones
Aeroponía	
Tradicional	

Fuente: (El Autor, 2020)

Con respecto a su desarrollo radicular en la Tabla 3.6, se observa la gran diferencia existente entre ambos cultivos. Estando las dos plantas con el mismo tiempo de producción

en Aeroponía se tiene una dimensión aproximada de 400 % mayor que en un cultivo tradicional.

TABLA 3.6
COMPARACIÓN RADICULAR

Cultivo	Aeroponía	Tradicional
Desarrollo radicular		

Fuente: (El Autor, 2020)

Otro aspecto relevante entre ambos cultivos es el aprovechamiento de espacio físico ya que de eso depende la producción.

En esta investigación se realizó un cultivo aeropónico en dos módulos productivos de 3,6 m² cada uno y para el cultivo tradicional se ocupó 4,5 m² en suelo donde se cultivan 180 y 25 plantas respectivamente.

Para realizar la comparación se debe igualar el área utilizada en ambos casos para poder determinar su diferencia. Por lo tanto, en aeroponía cuando el área es 4,5 m² el número de platas es de 108.

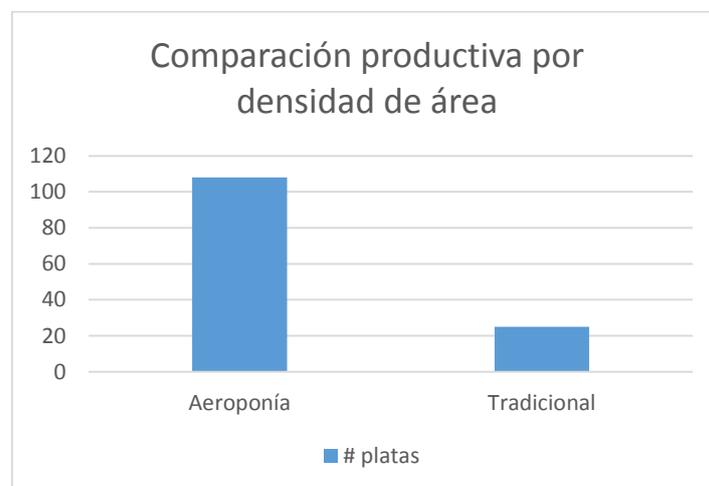


Fig. 3.18 Comparación productiva por densidad de área

Fuente: (El Autor, 2020)

En la Figura 3.18, se muestra la amplia densidad de plantas que el cultivo aeropónico lleva ventaja con respecto al tradicional. Estadísticamente la diferencia corresponde al 432%.

3.6. Monitoreo de datos

En la actualidad, la intervención de internet de las cosas en procesos industriales es cada vez mayor por las múltiples ventajas que este ofrece, uno de los principales objetivos es el monitoreo remoto de datos.

En este trabajo de investigación se incluye esta tecnología con la finalidad de añadir una herramienta remota para que el usuario pueda verificar desde cualquier lugar el estado de las variables del sistema y pueda prever ciertos comportamientos de acuerdo a la tendencia.

Para realizar el monitoreo se utilizó “ThingSpeak”, un servidor web gratuito diseñado para proyectos de IoT en función de la recopilación de datos, análisis y visualización de resultados.

Por otra parte, el dispositivo encargado de realizar el envío de datos hacia el servidor web “ThingSpeak” es el Shield GSM GRPS SIM900. Este Shield se conecta a Arduino (como se muestra en el capítulo anterior) y mediante comandos AT establece conexión GPRS para el envío de datos. En este caso, se envían valores de temperatura, humedad relativa, pH y nivel de agua y su visualización se muestra en la Figura 3.19.



Fig. 3.19 Datos del servidor Web ThingSpeak

Fuente: (El Autor, 2020)

Además, ThingSpeak añade otras herramientas de visualización como son Widgets y localización que el usuario puede añadirlas según la aplicación que requiera. En la Figura 3.20, se muestra el nivel de agua y la localización del proyecto.

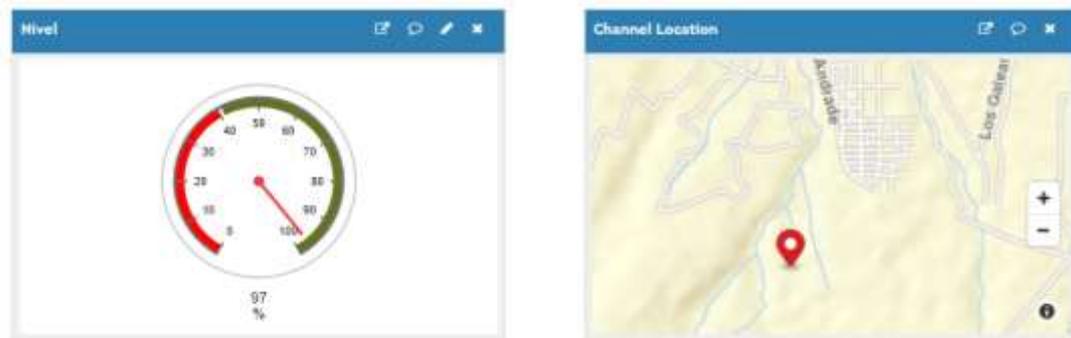


Fig. 3.20 Widget y localización de ThingSpeak

Fuente: (El Autor, 2020)

Para tener un monitoreo constante, rápido y fácil, ThingSpeak cuenta con la aplicación ThingViewFree como versión gratuita para dispositivos móviles. Con esta aplicación se puede observar los valores de las variables de igual forma que desde la página web como se constata en la Figura 3.21.



Fig. 3.21 Monitoreo de datos en ThingViewFree desde un smartphone

Fuente: (El Autor, 2020)

3.7. Interpretación de datos de ThingSpeak

a. Temperatura y Humedad

La temperatura y humedad relativa son parámetros que, dentro de invernaderos convencionales, en nuestro medio, son difíciles de controlar de forma automática debido a la inversión e infraestructura que interviene en este proceso.

Estos datos obtenidos nos ayudan a monitorear la tendencia y a programar los tiempos de riego respecto a la temperatura, de tal manera que, la humedad en la raíz sea lo más alta posible cuando la temperatura ambiente esté demasiado alta.

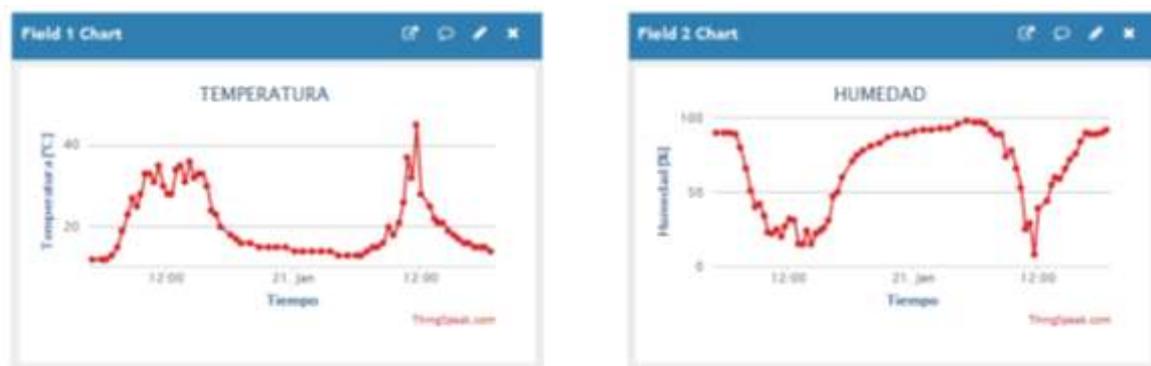


Fig. 3.22 Interpretación de datos de temperatura y humedad

Fuente: (El Autor, 2020)

Dentro de este trabajo de investigación se obtuvo temperaturas altas máximas de hasta 50 °C y mínimas de hasta 8 °C. Teóricamente el cultivo de lechuga tiende a soportar de mejor manera las temperaturas bajas, por lo cual, el control únicamente está centrado al exceso de temperatura. Con el control realizado al riego, se atenúa el efecto produciendo que las plantas se desarrollen en un ambiente más adecuado.

b. Nivel de agua del tanque reservorio

Los datos de nivel provienen del tanque reservorio donde se encuentra el compuesto de agua de riego y solución nutritiva. Según los datos analizados, el nivel de agua de riego depende de la temperatura ambiente, ya que a mayor temperatura el agua se evapora en mayor cantidad y el nivel tiende a bajar con mayor rapidez. Además, la tendencia descendente del nivel de agua determinó que, los 50 litros de agua totales que contiene el tanque suministran riego entre 4 y 5 días aproximadamente, posterior a este tiempo es necesario adicionar el compuesto para prevenir que la bomba trabaje en vacío.

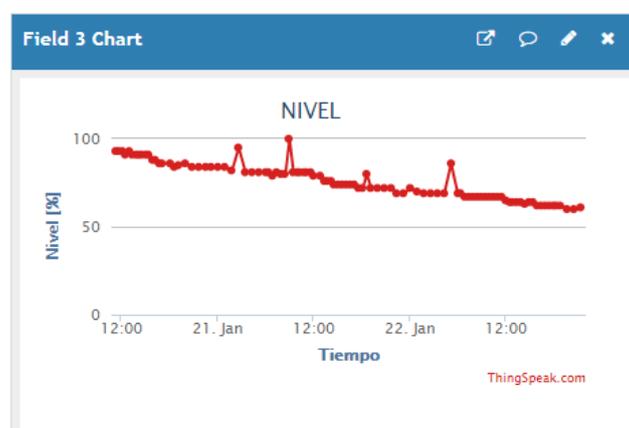


Fig. 3.23 Interpretación de datos de nivel

Fuente: (El Autor, 2019)

c. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro esencial para determinar el estado de la solución nutritiva. Puesto que la única manera de nutrir a la planta es mediante este medio este parámetro debe estar en los valores más óptimos para el cultivo de lechuga. Según la información bibliográfica recopilada los valores de pH para este cultivo deben estar entre 5,8 y 7,2 para mejorar un mejor rendimiento en el cultivo.

El análisis realizado con los datos obtenidos por el sensor muestra que inicialmente el pH es de 6,9 aproximadamente (depende de la dosis de solución nutritiva) y el valor más bajo tomado previo al cambio de agua y nutriente es de 5,9. Por lo cual, se determina que siempre se encuentra dentro de los parámetros permitidos y no es necesario realizar otro tipo de control en la solución.

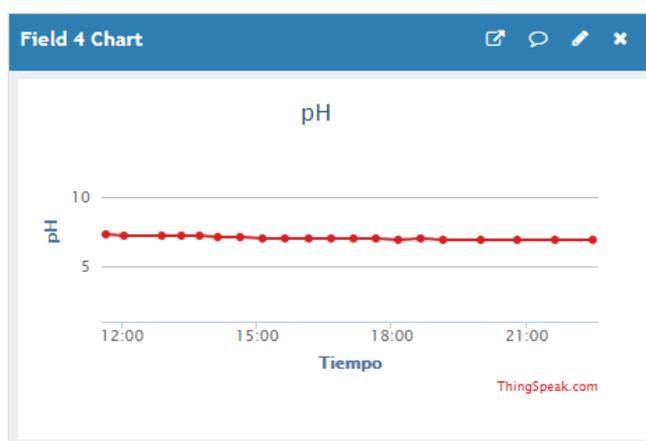


Fig. 3. 24 Interpretación de datos de pH

Fuente: (El Autor, 2019)

3.8. Costos de energía eléctrica

Los costos por energía eléctrica se dividen en costos por consumo de la bomba periférica y del tablero de control.

Previamente se había mencionado los tiempos de riego según la etapa de crecimiento de la planta, estos datos definen cuantas veces y por cuánto tiempo se realiza el encendido de la bomba periférica. Entonces, se calculó el total de minutos tanto en el día como en la noche, y se obtuvo un valor total.

TABLA 3.7

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA BOMBA PERIFÉRICA

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA BOMBA PERIFÉRICA								
		Minutos de consumo			Energía consumida			
Fecha	Etapas	Día	Noche	Total	h/día	KW/h/día	Días	kW/h/mes
18/12/2019	Siembra	52	44	96	1,36	0,503	3	1,510
21/12/2019	Brotos	104	66	170	2,5	0,925	5	4,625
26/12/2019	Desarrollo	78	44	122	2,02	0,747	14	10,464
09/01/2019	Desarrollo	65	33	98	1,38	0,511	9	4,595
							Total	21,194
							Costo \$ (kW)	0,0933
							Costo Total \$	1,977

Fuente: (El Autor, 2020)

Posteriormente se determina cuantas horas al día se utilizó y tomando en cuenta que la potencia de la bomba es de 0,37 kW se multiplican ambos valores para obtener los kW/h/día.

Debido a las diferentes etapas de crecimiento se evalúan los resultados dependiendo de los días que fue aplicado cada tiempo de riego, por lo tanto, se multiplican los kW/h/día por los días de aplicación, que sumados todos son 30 días.

Para finalizar, se suman todos los valores obtenidos y el resultado corresponde a la energía total consumida al mes expresada en “kW/h/mes”. El costo del kW/h normal, actualmente se encuentra en \$ 0,0933 USD. El producto de estos dos últimos valores corresponderá al costo total de la energía en un mes.

Para determinar el costo mensual por el consumo del tablero de control se debe seguir un proceso similar al anterior, pero inicialmente se requiere obtener la potencia total del sistema y para este caso, se acude al análisis realizado en el capítulo II donde se determinó que la corriente total del tablero de control fue un aproximado de 3 amperios y multiplicado por el voltaje utilizado que es de 5 voltios, obtenemos la potencia total.

Cabe mencionar que el tablero de control permanece constantemente encendido las 24 horas del día ininterrumpidamente, por lo que el consumo es continuo desde el inicio hasta el final del cultivo.

TABLA 3.8

CONSUMO ENERGÉTICO DEL TABLERO DE CONTROL

Consumo energético del tablero de control						
Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Horas	kW/h/día	kW/h/mes	Costo \$/mes
3	5	15	24	0,36	11,16	1,041

Fuente: (El Autor, 2020)

Ya obtenido el costo del consumo energético tanto de la bomba periférica como del tablero de control, se pueden sumar los dos resultados para obtener el valor total del sistema automatizado, el cual se muestra en la Tabla 3.9.

TABLA 3.9
COSTO TOTAL DE ENERGÍA ELECTRICA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Costo total \$/mes	3,019
--------------------	-------

Fuente: (El Autor, 2020)

3.9. Presupuesto del sistema automatizado

En el presupuesto se incluyen los costos de todos los materiales que se utilizaron para realizar el sistema automatizado.

TABLA 3.10
PRESUPUESTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Presupuesto del sistema automatizado para cultivo aeropónico				
Cantidad	Unidad	Especificación	Costo unitario	Costo total
1	u	Arduino Mega 2560 Original	60	60
1	u	Shield GSM GRPS SIM900	38	38
1	u	Pantalla LCD 2x16	7	7
1	u	Sensor de temperatura y humedad AMT2301	8,5	8,5
1	u	Sensor de ultrasónico de nivel	21	21
1	u	Sensor de pH	46	46
1	u	Módulo RTC DS1307	2,8	2,8
2	u	Relé doble 5 VDC - 125 AC	4	8
1	u	Disyuntor doble 10A	14	14
2	u	Contactores monofásicos de 9A	20	40
1	u	Gabinete 40x40x20	40	40
1	m	Riel din	3	3
1	u	Bomba centrífuga de 0.5HP	50	50
1	u	Pulsador hongo retenido	4,24	4,24
1	u	Selector de 3 posiciones	3	3
2	u	Pulsador de 22 mm	2,5	5
2	u	Luces piloto 22mm	2	4
1	u	Tomacorriente doble	2	2
1	u	Fuente de alimentación externa de 5VDC	8	8
1	m	Canaleta	5,6	5,6
1	u	Amarras	1	1
4	u	Borneras	0,87	3,48
8	m	Conductor eléctrico	0,32	2,56
TOTAL				377,18

Fuente: (El Autor, 2020)

3.10. Costos de producción

Los costos de producción de los cultivos dependen de las necesidades que se requieran según su forma de cultivar. Por este motivo se detallan los costos individuales para producir en aeroponía y en un cultivo tradicional para una producción de 6000 plantas, ya que esta es la capacidad de producción actual de hortalizas en un área de 1600 m².

Para el cultivo aeropónico se realizará un cálculo aproximado para obtener los costos de producción aproximados tomando en cuenta también, que en aeroponía el tiempo es de desarrollo de la planta es de 2 meses y en un cultivo tradicional 3 meses.

Cultivo Tradicional

Para realizar este análisis se utilizó los datos históricos de producción del cultivo, los cuales se muestran en la Tabla 3.11.

TABLA 3.11
COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVO TRADICIONAL CON SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVO TRADICIONAL CON SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	
Actividad	Costo (\$)
Preparación del terreno	40
Desinfección del terreno	20
Levantar camas	30
Desinfección y siembra de plantas	45
Fumigación	30
Riego	40
Fumigación y Fertirrigación	70
Fertilizante	800
Desyerbar	30
Costo total	1105

Fuente: (El Autor, 2020)

Además, el costo total del sistema de riego por goteo para esta magnitud de cultivo es de 2000 dólares y cuenta con accionamiento de bomba y apertura y cierre de válvulas únicamente de forma manual.

Cultivo Aeropónico

Para realizar este análisis se toma en cuenta que la dimensión de módulos productivos y de la bomba de agua deben aumentar para poder alcanzar la dimensión requerida de producción.

Por lo tanto, cada módulo debe tener 10 m² de área para poder cultivar 150 plantas en cada uno y el número total de módulos debería ser de 42 para alcanzar el total de producción actual.

El área únicamente utilizada por los módulos productivos es de 420 m², pero con el espacio necesario para la movilidad el área total en este cultivo es de 660 m².

La bomba de agua de 0,5 HP aproximadamente abastece entre 6 a 8 módulos ya que los nebulizadores necesitan al menos 2 bares de presión por lo que es necesario aumentar su dimensión al menos a 2 HP y realizar el riego en dos etapas.

Con los cambios mencionados el costo aproximado de producción en aeroponía se muestra en la Tabla 3.12.

TABLA 3.12
COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVO AEROPÓNICO CON SISTEMA DE AUTOMATIZADO

COSTOS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVO AEROPÓNICO CON SISTEMA DE RIEGO POR NEBULIZACIÓN	
Actividad	Costo (\$)
Desinfectar la planta	15
Algodón de sujeción	20
Siembra	45
Riego y sistema automatizado	50
Nutriente	600
Costo total	730

Fuente: (El Autor, 2020)

Adicionalmente el costo total del sistema automatizado es de 400 dólares aproximadamente y el costo total de los módulos es de 2100 dólares con un costo unitario de 40 dólares más el costo por canalizaciones.

En la Figura 3.25, se muestra la comparación en costos de producción entre ambos cultivos donde se puede verificar un mayor costo en un cultivo tradicional.

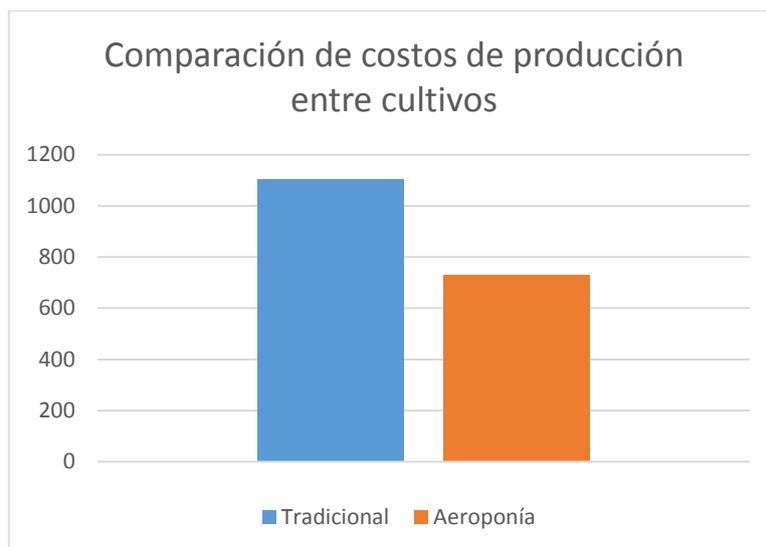


Fig. 3.25 Comparación de costos de producción entre cultivos

Fuente: (El Autor, 2020)

Por otro lado, en la Figura 3.26, se muestra una comparación entre los sistemas utilizados en cada cultivo donde se evidencia una diferencia entre ambos, siendo el cultivo aeropónico con su sistema automatizado el de mayor costo (\$ 2500 dólares, aproximadamente) respecto al tradicional con sistema de riego por goteo (\$ 2000 dólares). La diferencia en costos radica en que el sistema de riego por goteo tiene un funcionamiento únicamente manual lo cual representa una desventaja muy amplia y provoca otros costos por mano de obra.

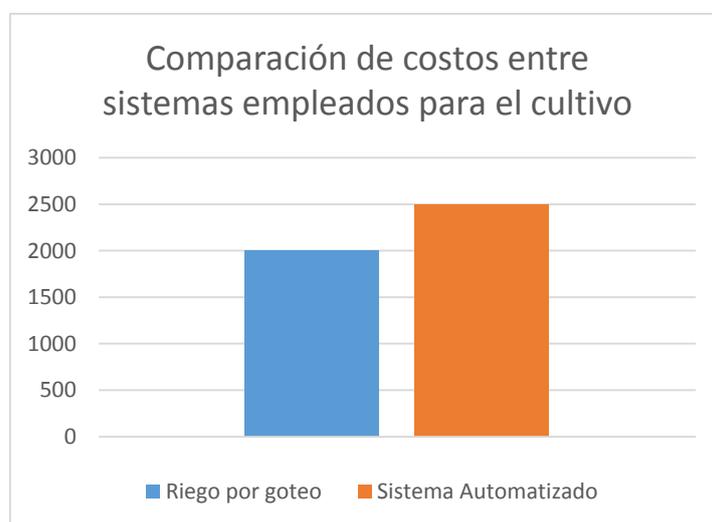


Fig. 3.26 Comparación de costos entre sistemas empleados para el cultivo

Fuente: (El Autor, 2020)

CONCLUSIONES

- Con el análisis bibliográfico realizado se logró conocer el funcionamiento y el correcto manejo de un cultivo aeropónico, así como también, los parámetros óptimos de producción para el cultivo de lechuga. Estos datos recopilados son destinados para definir qué elementos se necesitan incluir en el sistema automatizado y como deben operar para un correcto funcionamiento.
- El modo manual de operación del sistema es de gran importancia ante pruebas de funcionamiento o mantenimiento del modo automático. El tiempo empleado en este proceso generalmente es prolongado y se previene detener el riego al momento de realizarlo de forma manual.
- El monitoreo remoto desde un teléfono móvil ayuda a la interpretación del usuario para saber cómo se encuentra el proceso sin estar en el cultivo. Los datos de nivel de agua prevén al usuario cuando podría ser necesario un nuevo llenado del tanque, los datos de pH indican si la solución nutritiva está en parámetros correctos para que la planta tenga una alimentación más eficiente y los datos de temperatura y humedad indican como se encuentra el estado climático.
- Para la detección de posibles fallas en el sistema se pueden interpretar los datos de monitoreo ya que, ante cualquier tendencia de datos inusual especialmente en los valores de nivel de agua, se puede interpretar como falla en el sistema y se puede corregir a tiempo gracias al monitoreo. De igual manera, si el sistema no realiza el envío de datos al servidor Web es señal de falla. En el proceso, el manómetro de presión también tiene una tendencia típica por lo que, de existir una variación, es significado de taponamiento de uno o más nebulizadores.
- El costo de energía eléctrica generado por el sistema automatizado es muy bajo a pesar de permanecer en funcionamiento ininterrumpidamente, esto se debe a la utilización de elementos de bajo consumo y alta eficiencia.
- Los resultados obtenidos en el cultivo aeropónico respecto a la producción de lechuga, a lo largo de la recopilación de datos, fueron superiores en todo momento a los datos obtenidos en un cultivo tradicional. La densidad por área de cultivo y el desarrollo radicular fue 400% superior, mientras que en producción y diámetro de hojas se obtuvo aproximadamente 1/3 más de rendimiento.
- Los costos de producción en aeroponía resultan más económicos que en un cultivo tradicional ya que al no utilizar el suelo se evita muchos procesos que se deben realizar a lo largo del cultivo para precautelar que la planta no contraiga enfermedades producidas por patógenos del suelo.

- Se concluyó que el correcto control de este método de cultivo produce un mejor rendimiento en el desarrollo de la planta, puesto que, sus condiciones se encuentran en parámetros óptimos para la producción.
- Los resultados comparativos de costos para la implementación de un sistema de riego por goteo y un sistema aeropónico automatizado es de un 25%, pero en el aspecto funcional, el sistema por goteo es únicamente manual y se requiere de un operador para que ejecute el riego, lo cual, representa costos adicionales, mientras que el sistema aeropónico de ejecuta de manera autónoma.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ante futuras investigaciones integrar al sistema automatizado un ingreso de datos de riego manual para evitar el reinicio del sistema cuando estos parámetros se deban modificar.
- Para el mejoramiento del monitoreo de datos se recomienda el diseño de un servidor web propio, ya que en este estudio se utilizó a “ThingSpeak” y no se puede tener un apoderamiento total del sistema.
- Un sistema aeropónico completo requiere un mejor manejo de temperatura y humedad relativa por lo que se podría diseñar un sistema que mejore las condiciones de estos parámetros de forma automática en los invernaderos que se disponen en nuestro medio.
- Para proporcionar una autonomía más completa al sistema se recomienda realizar un sistema de llenado y adición de solución nutritiva cuando el tanque reservorio se encuentre en un nivel bajo y así evitar este proceso que actualmente es manual.

Referencias

- AOSONG. (2010). Temperature and Humidity Module. AM2301. *Datasheet*, 2010(November), 1–6. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195179477.003.0005>
- Arduino. (2019). Arduino - Home. Retrieved from www.arduino.cc
- Ariel, J., Corral, R., Medina García, G., Julieta, I., Acuña, G., Ernesto, H., ... Parra, M. (2013). *REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS DE CULTIVOS 2da Edición*. Jalisco.
- Baixauli, C., & Aguilar, J. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias. In *Valencia (España), Generalitat Valenciana*. Valencia.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. *Cultivo En Hidroponía*, 1(978-950-34-1258-9), 181. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Carretero, F. (2016). *Programación y control del riego y la fertilización de los cultivos*. Andalucía.
- Chávez, L., García, V., & Ortiz, V. (2011). *Automatización en el sistema de riego de un invernadero de jitomate ubicado en san francisco lachigolo, Oaxaca*. Oaxaca.
- Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4569609>
- DFRobot. (2017). *Weather - proof Ultrasonic Sensor with Separate Probe SKU : SEN0208*. 1–4. Retrieved from https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Weather_-_proof_Ultrasonic_Sensor_with_Separate_Probe_SKU:_SEN0208
- Durán, J., Martínez, E., & Navas, L. (2000). Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía (I). *Vida Rural*, 40–43.
- Gómez, M. (2001). *Control climático mediante nebulización*. 28–34.
- Gómez, V. (2012). *Acciones Básicas de Control*.
- Hydroenv. (2016). *Torre colgante para cultivo aeropónico*. 1. Retrieved from https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=product_info&cPath=284&products_id=1278
- Indras-planet. (2019). *Aero Grow Dansk*. Retrieved from http://www.indras-planet.at/webshop/index.php?main_page=product_info&products_id=614
- InfoAgro. (2016). *Sistemas de cultivo sin suelo*. 1. Retrieved from

- <http://mexico.infoagro.com/sistemas-de-cultivo-sin-suelo/>
- Jarabo, F., & García, Á. (2018). *Método de los factores ponderados*. 1. Retrieved from https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/5075/mod_resource/content/1/Problemas/Met-Local-Ponderado-ejemplo.pdf
- López, E. (2016). *Arduino-Guía práctica de fundamentos simulación* (1st ed.). Retrieved from <http://www.ebooks7-24.com/?il=7960>
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Maxim Integrated. (2015). *Ds3231*. 20. Retrieved from <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- Moreno, A., & Córcoles, S. (2018). *Arduino: curso práctico*. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5758905>
- Ñeco, R. P., Reinoso, O., & García, N. (2013). *Apuntes de sistemas de control*. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3213648>
- Novagric. (2016). *Materiales de riego*. 1. Retrieved from <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego>
- Novillo, J., Hernández, D., Mazón, B., Molina, J., & Cárdenas, O. (2018). *Arduino y el internet de las cosas*. Alicante, SPAIN.
- Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*.
- Palomino, K. (2009). *Riego por goteo*. Lima.
- Parkehidropónico. (2015). *Aeroponía*. Retrieved from <https://parkehidroponico.wordpress.com/metodos-hidroponicos/aeroponia/>
- Promesa. (2018). *Bombas y Plomería*.
- Rambal. (2015). *Módulo relé de 2 canales*.
- Roa, A. (2012). *Agricultura limpia*. Bogotá.
- Sádaba, S., Del Castillo, J., Astiz, M., Sanz de Galdeano, J., Uribarri, A., & Aguado, G. (2008). Cultivo hidropónico de lechuga. *Navarra Agraria*, 6.
- Schneider, E. (2019). *Unidades de comando y señalización*. Retrieved from <https://www.se.com/cl/es/product-range/635-harmony-xb7/>
- Software, E. M. (2007). *SIM900 Quad-Band GPRS shield with Micro SD card slot Intro*. 1–2.

- ThingSpeak. (2019). *¿Qué es IoT?* Retrieved from https://thingspeak.com/pages/learn_more
- TodoElectrodo. (2013). TodoElectrodo: Lcd 16x2. Retrieved June 12, 2019, from <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. (Mundiprens). Madrid.
- Vásquez, J. (2016). *Automatización electroneumática* (1st ed.). Retrieved from <http://www.ebooks7-24.com/?il=5752>
- Wiki, F. R., Size, E., Characteristics, E., Diagram, C., Code, S., Indicator, P., ... Temperature, P. H. M. (2014). *PH meter (SKU: SEN0161)*. 1–6.
- AeroFarms. (2018). *Our Technology: AeroFarms*. Obtenido de AeroFarms: <https://aerofarms.com/technology/>
- Córdova, S. (2016). Aeroponía: innovación verde. *Business Mail*, 28.
- CropLife. (2017). *Oportunidades en la Alianza del Pacífico para la Agricultura en América Latina: CropLife Latin América*. Obtenido de CropLife Latin América: <https://www.croplifela.org/es/actualidad/noticias/oportunidades-en-la-alianza-del-pacifico-para-la-agricultura-en-america-latina>
- NASA. (2006). Progressive Plant Growing is a Blooming Business. En NASA, *Spinoff* (pág. 145). Publications and Graphics Department.
- Otazú, V., Barker, I., Mateus, J., & Chuquilanqui, C. (2010). *Métodos de producción de semilla prebásica de papa*.
- Ruiz, A., & Molina, J. (2007). *Fundamentos de los sistemas de control del riego y la fertilización*. Alicante.
- Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. Quito.
- Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., & Ross, H. (2007). *Potato Biology and Biotechnology*. Wageningen.

Anexos

Anexo A: Construcción de los módulos productivos para aeroponía



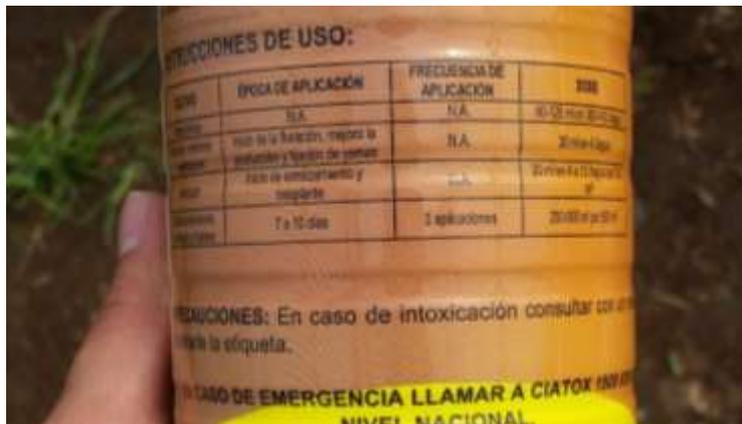
Anexo B: Implementos para el sistema de riego



Anexo C: Exteriores del invernadero y reservorio de agua para el riego por goteo



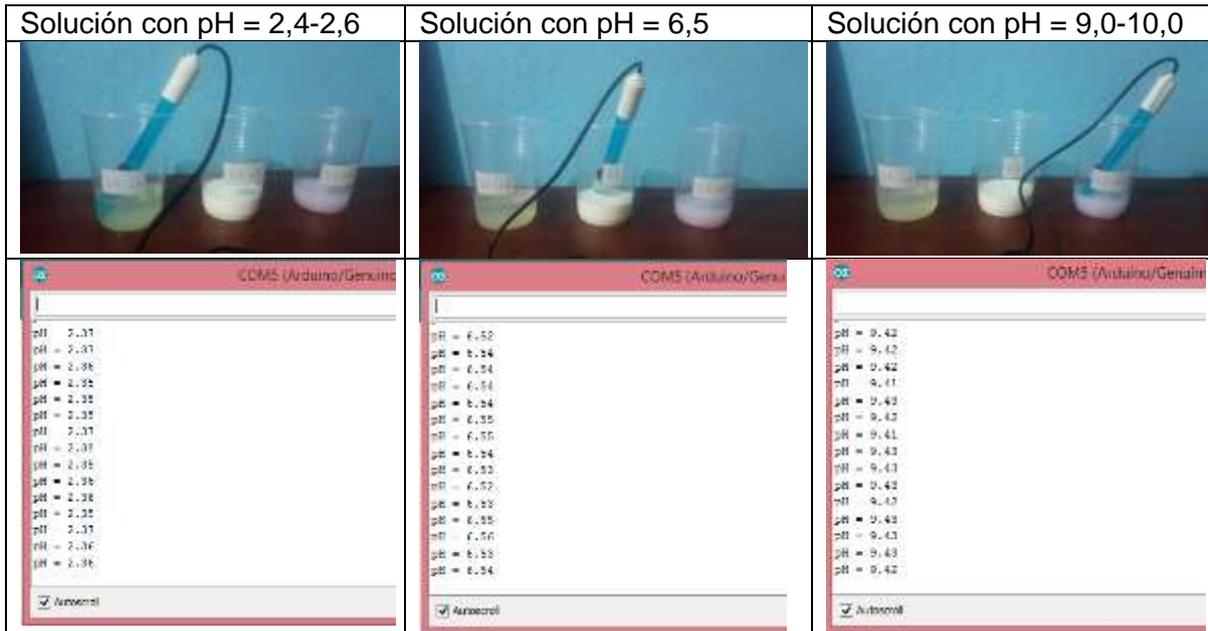
Anexo D: Tabla de dosis del nutriente



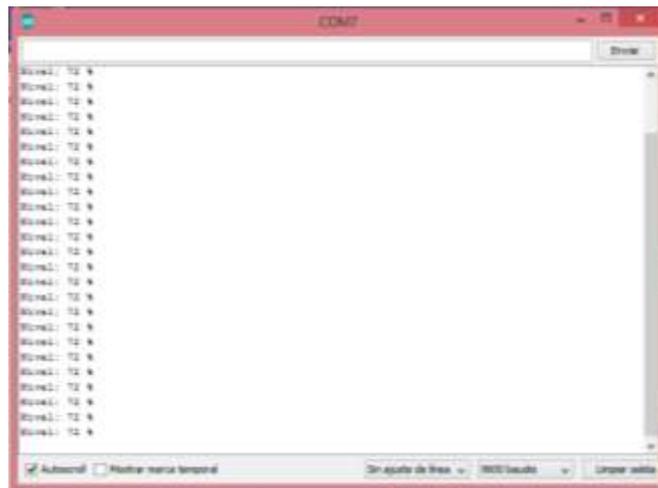
Anexo E: Configuración del tablero de control



Anexo F: Pruebas de funcionamiento del sensor de pH



Anexo G: Pruebas de funcionamiento del sensor de nivel



Anexo H: Pruebas de funcionamiento del sensor de Temperatura y Humedad



Anexo I: Código de programación del sistema automatizado

```
1 /* UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
2  * FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
3  * INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO ELECTRICO
4  * AUTOR: LENYN LUCERO
5  */
6 //Pantalla LCD////////
7 #include <Wire.h>
8 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
9 LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 16, 2);
10 //Temperatura y humedad////////
11 #include "DHT.h"
12 #define DHTPIN 42 // Pin donde está conectado el sensor
13 #define DHTTYPE DHT21 // Sensor DHT21
14 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
15 float temp=0.00; //Variables del sensor de Temperatura y Humedad
16 float hum=0.00;
17 float humedad = 0.00;
18 float temperatura = 0.00;
19 int t, h;
20 //RTC////////
21 #include <RTClib.h>
22 RTC_DS1307 rtc;
23 int segundo,minuto,hora,dia,mes;
24 long anio;
25 DateTime HoraFecha;
26 //SIM900////////
27 #include <SoftwareSerial.h>
28 #include <String.h>
29 SoftwareSerial Sim900Serial(10, 11); //Configuración de los pines serial por software
30 int conteo = 0; //variables para el envío de datos
31 int dato = 0;
32 int contador=0;
33 //NIVEL////////
34 long tiempo; //almacena el tiempo recorrido por el sensor
35 int disparador = 28; //trigger
36 int eco = 29; //eco
37 float distancia = 0; //variable que almacena la distancia
38 float velocidadSonido = 0.0343; //almacena la velocidad del sonido
39 int dist[20],temporalNiv;
40 int valorNivel =0;
41 float nivel=0.00;
42 float DatoNivel = 0.00;
43 //RELES////////
44 int bombaOn = 23;
45 int bombaOff = 22;
46 int estadoON,estadoOFF,Temporizador;
47 int LuzNivel = 32;
48 int LuzpH = 33;
49 int TiempoRiegoDia = 25; //Tiempo de riego en el día
50 int TiempoRiegoNoche = 30; //Tiempo de riego en la noche
51 //pH////////
52 const int pinPo = A15;
53 unsigned long int avgValor;
54 int voltajes[10],temporal;
55 float phValor=0.00;
56 float DatopH=0.00;
57
58 void setup() {
59 //SIM900////////
60 Sim900Serial.begin(19200); //Arduino se comunica con el SIM900 a una velocidad de 19200bps
61 Serial.begin(19200); //Velocidad del puerto serial de arduino
62 digitalWrite(9, HIGH); //Encendido del módulo por software
63 delay(1000);
64 digitalWrite(9, LOW);
65 //LCD////////
66 Wire.begin();
```

```

67  lcd.begin(16, 2);
68  lcd.backlight();
69  lcd.setCursor(3,0);    //Ponemos el cursor en la primera fila a la izquierda
70  lcd.print("Bienvenido"); //Imprimimos un mensaje inicial
71  delay(10000);         //Esperamos 10 segundos
72  lcd.clear();          //Borramos lo que pone a la pantalla
73  ////////////////DHT////////////////
74  dht.begin();
75  ////////////////Nivel////////////////
76  pinMode(disparador, OUTPUT);
77  pinMode(eco, INPUT);
78  ////////////////RTC////////////////
79  rtc.begin(); //Inicializamos el RTC
80  HoraFecha = rtc.now(); //obtenemos la hora y fecha actual
81  minuto=HoraFecha.minute();
82  estadoON=minuto;     //Se activa la bomba
83  estadoOFF=minuto+2; //Tiempo de riego 2 minuto
84  ////////////////Relés////////////////
85  digitalWrite(bombaOn, HIGH);
86  digitalWrite(bombaOff, HIGH);
87  pinMode(bombaOn, OUTPUT);
88  pinMode(bombaOff, OUTPUT);
89  digitalWrite(LuzNivel, HIGH);
90  digitalWrite(LuzpH, HIGH);
91  pinMode(LuzNivel, OUTPUT);
92  pinMode(LuzpH, OUTPUT);
93  }
94
95  void loop() {
96  ////////////////RTC////////////////
97      HoraFecha = rtc.now(); //obtenemos la hora y fecha actual
98      segundo=HoraFecha.second();
99      minuto=HoraFecha.minute();
100
101      hora=HoraFecha.hour();
102      dia=HoraFecha.day();
103      mes=HoraFecha.month();
104      anio=HoraFecha.year();
105  ////////////////Encendido - Noche////////////////
106  if (hora > 18 && hora <= 23 && estadoON == minuto){ //18:00 - 23:59
107      digitalWrite(bombaOn, LOW);
108      delay(500);
109      digitalWrite(bombaOn, HIGH);
110      estadoON=estadoON+TiempoRiegoNoche;
111      lcd.setCursor(15,0);
112      lcd.print("N");
113      lcd.setCursor(15,1);
114      lcd.print("E");
115  }
116  ////////////////Apagado - Noche////////////////
117  if (hora > 18 && hora <= 23 && estadoOFF == minuto){
118      digitalWrite(bombaOff, LOW);
119      delay(1000);
120      digitalWrite(bombaOff, HIGH);
121      estadoOFF=estadoOFF+TiempoRiegoNoche;
122      lcd.setCursor(15,0);
123      lcd.print("N");
124      lcd.setCursor(15,1);
125      lcd.print("A");
126      if (estadoOFF-estadoON >2){
127          estadoOFF = estadoON + 2;
128      }
129  }
130  ////////////////Encendido - Noche////////////////
131  if (hora >= 0 && hora <= 5 && estadoON == minuto){ // 00:00 - 07:00
132      digitalWrite(bombaOn, LOW);

```

```

-----
133 delay(500);
134 digitalWrite(bombaOn, HIGH);
135 estadoON=estadoON+TiempoRiegoNoche;
136 lcd.setCursor(15,0);
137 lcd.print("N");
138 lcd.setCursor(15,1);
139 lcd.print("E");
140 }
141 ///////////////Apagado - Noche////////////////////
142 if (hora >= 0 && hora <= 5 && estadoOFF == minuto){
143 digitalWrite(bombaOff, LOW);
144 delay(1000);
145 digitalWrite(bombaOff, HIGH);
146 estadoOFF=estadoOFF+TiempoRiegoNoche;
147 lcd.setCursor(15,0);
148 lcd.print("N");
149 lcd.setCursor(15,1);
150 lcd.print("A");
151 if (estadoOFF-estadoON >2){
152 estadoOFF = estadoON + 2;
153 }
154 }
155 ///////////////Encendido - Día////////////////////
156 if (hora > 5 && hora <=18 && estadoON == minuto){ //07:00 - 17:59
157 digitalWrite(bombaOn, LOW);
158 delay(500);
159 digitalWrite(bombaOn, HIGH);
160 estadoON=estadoON+TiempoRiegoDia;
161 lcd.setCursor(15,0);
162 lcd.print("D");
163 lcd.setCursor(15,1);
164 lcd.print("E");
165 }
166 ///////////////Apagado - Día////////////////////
167 if (hora > 5 && hora <= 18 && estadoOFF == minuto){
168 digitalWrite(bombaOff, LOW);
169 delay(500);
170 digitalWrite(bombaOff, HIGH);
171 estadoOFF=estadoOFF+TiempoRiegoDia;
172 lcd.setCursor(15,0);
173 lcd.print("D");
174 lcd.setCursor(15,1);
175 lcd.print("A");
176 if (estadoOFF-estadoON >2){
177 estadoOFF = estadoON + 2;
178 }
179 }
180 if (estadoOFF > 58){
181 estadoOFF = estadoOFF - 60;
182 }
183 if (estadoON > 58){
184 estadoON = estadoON - 60;
185 }
186 if (estadoON < 0){
187 estadoON = 0;
188 }
189 if (estadoOFF < 0){
190 estadoOFF = 0;
191 }
192 if (estadoON == estadoOFF){
193 estadoOFF = estadoON + 2;
194 }
195 ///////////////NIVEL////////////////////
196 nivelAgua();
197 ///////////////pH////////////////////
198 pHSensor();

```

```

199 //////////////////////////////////////////////////DHT////////////////////////////////////
200 temperatura = dht.readTemperature(); // temperatura
201 humedad = dht.readHumidity(); // Humedad
202 t = temperatura;
203 h = humedad;
204 //////////////////////////////////////////////////Riego segun la temperatura////////////////////////////////////
205 if (t >= 25 && t<35){
206     TiempoRiegoDia = 20;
207 }
208 else{
209     TiempoRiegoDia = 25;
210 }
211 if (t >= 35){
212     TiempoRiegoDia = 15;
213 }
214 //////////////////////////////////////////////////TEMPORIZADOR////////////////////////////////////
215 Temporizador = estadoON-minuto;
216 if (minuto>estadoON){
217     Temporizador=Temporizador+60;
218 }
219 if (Temporizador==6){
220     dato=1;
221 }
222 if (Temporizador<=5 && dato==1){
223     conteo= 1;
224     dato=0;
225 }
226 //////////////////////////////////////////////////ENVIO DE DATOS A THINGSPEAK////////////////////////////////////
227 if (conteo == 1){
228     comandosAT();//Llama a la función comandosAT
229     if(Sim900Serial.available())//Verificamos si hay datos disponibles desde el SIM900
230     Serial.write(Sim900Serial.read());//Escribir datos
231     contador=contador+1;
232     conteo = 0;
233 }
234 //////////////////////////////////////////////////LCD////////////////////////////////////
235 //lcd.clear(); //Borramos lo que pone a la pantalla
236 lcd.setCursor(0,0);
237 lcd.print("T:");
238 lcd.setCursor(2,0);
239 lcd.print(t);
240 lcd.setCursor(4,0);
241 lcd.print("C");
242 lcd.setCursor(5,0);
243 lcd.print("-");
244 lcd.setCursor(6,0);
245 lcd.print("H:");
246 lcd.setCursor(8,0);
247 lcd.print(h);
248 lcd.setCursor(10,0);
249 lcd.print("%");
250 lcd.setCursor(0,1);
251 lcd.print("N:");
252 lcd.setCursor(2,1);
253 lcd.print(valorNivel);
254 lcd.setCursor(4,1);
255 lcd.print("%");
256 lcd.setCursor(5,1);
257 lcd.print("-");
258 lcd.setCursor(6,1);
259 lcd.print("pH:");
260 lcd.setCursor(9,1);
261 lcd.print(phValor,1);
262 lcd.setCursor(12,0);
263 lcd.print(Temporizador);
264 //////////////////////////////////////////////////Monitor Serie////////////////////////////////////

```

```

265 Serial.print("hora = ");
266 Serial.print("hora = ");
267 Serial.print(hora);
268 Serial.print(":");
269 Serial.print(minuto);
270 Serial.print(":");
271 Serial.println(segundo);
272 Serial.print("Fecha = ");
273 Serial.print(dia);
274 Serial.print("/");
275 Serial.print(mes);
276 Serial.print("/");
277 Serial.println(anio);
278 Serial.print("Temperatura: ");
279 Serial.print(t);
280 Serial.println(" °C");
281 Serial.print("Humedad: ");
282 Serial.print(h);
283 Serial.println(" %");
284 Serial.print("pH: ");
285 Serial.println(pHValor);
286 Serial.print("Nivel reservorio: ");
287 Serial.print(valorNivel);
288 Serial.println(" %");
289 Serial.print("Temporizador: ");
290 Serial.println(Temporizador);
291 Serial.print("Estado Encendido: ");
292 Serial.println(estadosON);
293 Serial.print("Estado Apagado: ");
294 Serial.println(estadosOFF);
295
296 delay(4400);
297 }
298
299 void nivelAgua(){
300 for(int i=0;i<20;i++) { //Se toman 20 muestras de distancia
301 digitalWrite(disparador, HIGH); //Activamos y lanzamos un pulso para activar el
302 delayMicroseconds(10); //retardo de 10 micro segundos
303 digitalWrite(disparador, LOW);
304 tiempo = (pulseIn(eco, HIGH)/2); //Medimos el tiempo de respuesta
305 distancia = float(tiempo * velocidadSonido);
306 dist[i]=distancia; //Almacenamos los valores de distancia en una m
307 delay(10);
308 }
309 for(int i=0;i<19;i++) //Se ordenan de menor a mayor los valores
310 {
311 for(int j=i+1;j<20;j++)
312 {
313 if(dist[i]>dist[j])
314 {
315 temporal=dist[i];
316 dist[i]=dist[j];
317 dist[j]=temporal;
318 }
319 }
320 }
321 nivel=0;
322 for(int i=5;i<14;i++) //Se eliminan los valores menores y mayores
323 nivel+=dist[i]; //Y se saca el promedio de los 10 valores restantes
324 valorNivel = (-2.66*(nivel/10)+144);
325
326 if (valorNivel> 100){
327 valorNivel=100;
328 }
329 if (valorNivel< 0){
330 valorNivel=0;

```

```

331 }
332 if (valorNivel< 30){
333     digitalWrite(LuzNivel, LOW);
334 }
335 else{
336     digitalWrite(LuzNivel,HIGH);
337 }
338 }
339 void pHSensor(){
340     //////////pH//////////
341     for(int i=0;i<10;i++){ //Se toman 10 muestras de voltaje
342         voltajes[i]=analogRead(pinPo);
343         delay(200);
344     }
345     for(int i=0;i<9;i++){ //Se ordenan de menor a mayor los valores
346         for(int j=i+1;j<10;j++)
347         {
348             if(voltajes[i]>voltajes[j])
349             {
350                 temporal=voltajes[i];
351                 voltajes[i]=voltajes[j];
352                 voltajes[j]=temporal;
353             }
354         }
355     }
356     avgValor=0;
357     for(int i=2;i<8;i++) //Se elimina el valor mayor y menor
358     avgValor+=voltajes[i]; //Y se saca el promedio de los 8 valores restantes
359     float pHVoltaje=(float)avgValor*5.0/1024/6;
360     phValor = (-5.70 * pHVoltaje + 21.34);
361     if (phValor < 5.8){
362         digitalWrite(LuzpH, LOW);
363     }
364     digitalWrite(LuzpH, LOW);
365 }
366 else{
367     digitalWrite(LuzpH, HIGH);
368 }
369 }
370 void comandosAT(){ ////////////Comandos AT para el envío de datos a través de ThingSpeak//
371 Sim900Serial.println("AT+CIPSTATUS");//Consultar el estado actual de la conexión
372 delay(2000);
373 Sim900Serial.println("AT+CIPMUX=0");//comando configura el dispositivo para una conexión IP
374 delay(3000);
375 mostrarDatosSeriales();
376 Sim900Serial.println("AT+CSIT=\"gprs.cnt.net.ec\",\"wap\",\"wap\"");//comando configura el
377 delay(1000);
378 mostrarDatosSeriales();
379 Sim900Serial.println("AT+CIICR");//REALIZAR UNA CONEXIÓN INALÁMBRICA CON GPRS O CSD
380 delay(3000);
381 mostrarDatosSeriales();
382 Sim900Serial.println("AT+CIFSR");// Obtenemos nuestra IP local
383 delay(2000);
384 mostrarDatosSeriales();
385 Sim900Serial.println("AT+CIPSPRT=0");//Establece un indicador '>' al enviar datos
386 delay(3000);
387 mostrarDatosSeriales();
388 Sim900Serial.println("AT+CIPSTART=\"TCP\",\"api.thingspeak.com\",\"80\"");//Indicamos el ti
389 delay(6000);
390 mostrarDatosSeriales();
391 Sim900Serial.println("AT+CIPSEND");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O UDP
392 delay(4000);
393 String temp = String(t); // temperatura
394 String hum = String(h); // humedad
395 String DatoNivel = String(valorNivel);//Nivel
396 String DatopH = String(phValor,1); //pH

```

```
395 mostrarDatosSeriales(); //Sustituir valor de KEY por el proporciona
396 String datos="GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=*****%field1=" + temp + "%field2="+hum
397 Sim900Serial.println(datos);//Envía datos al servidor remoto
398 delay(4000);
399 mostrarDatosSeriales();
400 Sim900Serial.println((char)26);
401 delay(5000);//Ahora esperaremos una respuesta pero esto va a depender de las condiones de la red y este
402 Sim900Serial.println();
403 mostrarDatosSeriales();
404 Sim900Serial.println("AT+CIPSHUT");//Cierra la conexión(Desactiva el contexto GPRS PDP)
405 delay(5000);
406 mostrarDatosSeriales();
407 }
408 void mostrarDatosSeriales();//Muestra los datos que va entregando el sim900
409 {
410 while(Sim900Serial.available() !=0)
411 Serial.write(Sim900Serial.read());
412 }
```
