

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TRABAJO DE GRADO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“SISTEMA DE MEZCLA DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y ÁCIDO
PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO BASADO EN LA TÉCNICA DE
PELÍCULA DE NUTRIENTES (NFT).”

TITTLE:

“MIXING SYSTEM OF NUTRIENT SOLUTIONS AND ACID FOR A
HYDROPONIC CROP BASED ON THE NUTRIENT FILM
TECHNIQUE (NFT)”

AUTOR:

JHORDAN VINICIO VALLES FELIX

DIRECTOR:

DIEGO FRANCISCO TERÁN PINEDA

Ibarra, octubre de 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 DEL AUTOR | | | |
|------------------------------------|--|------------------------|------------|
| CEDULA DE IDENTIDAD: | 1004268510 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | JHORDAN VINICIO VALLES FELIX | | |
| DIRECCIÓN: | Julio María Matovelle- Urcuqui | | |
| EMAIL: | jvvallesf@utn.edu.ec – jhordanv396@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | 062939184 | TELÉFONO MÓVIL: | 0981810016 |
| DATOS DE LA OBRA | | | |
| TÍTULO: | “SISTEMA DE MEZCLA DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y ÁCIDO PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO BASADO EN LA TÉCNICA DE PELÍCULA DE NUTRIENTES (NFT).” | | |
| AUTOR: | JHORDAN VINICIO VALLES FELIX | | |
| FECHA (AAAA-MM-DD): | 2020-10-15 | | |
| SÓLO PARA TRABAJOS DE GRADO | | | |
| PROGRAMA: | PREGRADO | | |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERO EN MECATRÓNICA | | |
| ASESOR/DIRECTOR: | DIEGO FRANCISCO TERÁN PINEDA | | |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de 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 15 días del mes de octubre de 2020



Jhordan Vinicio Valles Felix
C.I: 100426851-0



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “Sistema de mezcla de soluciones nutritivas y ácido para un cultivo hidropónico basado en la técnica de película de nutrientes (NFT)”, presentado por el egresado JHORDAN VINICIO VALLES FELIX, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, a los 30 días del mes de septiembre de 2020

Ing. Diego Terán PhD(c)

Director

Agradecimiento

Agradezco a mis padres Rodrigo Valles y Esther Felix por todo el apoyo y el esfuerzo brindado a lo largo de mi carrera universitaria.

A mis hermanos Patricio, Álvaro y María que en el transcurso de mis estudios me brindaron su apoyo y su consejo cuando más lo necesitaba.

A mi compañera de vida Mayer, gracias por estar en los momentos más difíciles por apoyarme aconsejarme y no dejarme caer.

A mis docentes un agradecimiento especial por haberme brindado sus conocimientos y experiencia a lo largo de mi vida estudiantil.

Muchas Gracias a todos.

Jhordan Valles

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón mi trabajo de grado a mis padres por haberme forjado a lo largo de estos años como la persona que soy, mis logros se los dedico a ustedes por creer en mi cada día con mis sueños y anhelos de superación.

Su bendición a lo largo de mi vida me motiva para seguir adelante en mis metas y sueños futuros es por ello que es un honor dedicarles este trabajo como una ofrenda a su paciencia y amor.

Queridos mamá y papá los amo infinitamente esto es para ustedes gracias por confiar en mí.

Jhordan Valles

Resumen

El proyecto muestra el desarrollo de un sistema de dosificación de soluciones nutritivas y ácido cítrico aplicado a un cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

De la revisión bibliográfica de investigaciones, equipos y métodos de dosificación de nutrientes en cultivos hidropónicos NFT, se definió los parámetros de diseño para la dosificación de los diferentes nutrientes que se debe agregar en un cultivo hidropónico y el control del potencial hidrógeno (pH) en base a la dosificación del ácido cítrico.

Se considera como caso de estudio el desarrollo de plantas tipo lechuga cressa (*Lactuca sativa*), en base a los criterios de diseño establecidos.

Para la selección de los elementos del hardware, se utilizó la matriz de criterios ponderados, que permitió elegir las bombas dosificadoras, la bomba de recirculación de nutrientes, los elementos de control, sensores y el dispositivo de visualización.

Como elemento principal para el control del dosificador se utilizó una tarjeta Arduino mega con un microcontrolador ATmega2560, esta adquiere las señales de los componentes del hardware y luego se acondiciona mediante programación, sus resultados se presentan en una interfaz hombre máquina (HMI), para la interacción con el usuario.

El sistema se implementó en un cultivo hidropónico y se experimentó con 18 lechugas cressas (*Lactuca sativa*). En base al control de la dosificación de los nutrientes y la adición de ácido cítrico para el pH, se obtuvo en seis semanas un cultivo con: hojas grandes de color verde intenso, sin manchas y listas para el consumo.

Abstract

The project shows the development of a dosing system for nutrient solutions and citric acid applied to a hydroponic NFT (Nutrient Film Technique) crop.

From the bibliographic review of researches, equipment and methods of nutrients dosage in NFT hydroponic crops, it was defined the design parameters for the dosage of the different nutrients that should be added in a hydroponic crop and the control of the hydrogen potential (pH) based on the citric acid dosage.

It is considered as a case study the development of plants type cressa lettuce (*Lactuca sativa*), based on the established design criteria.

For the selection of the hardware elements, the matrix of weighted criteria was used, which allowed choosing the dosing pumps, the nutrient recirculation pump, the control elements, sensors and the display device.

As the main element for the control of the dispenser, an Arduino mega card with an ATmega2560 microcontroller was used. This card acquires the signals from the hardware components and then it is conditioned through programming, its results are presented in a human machine interface (HMI), for the interaction with the user.

The system was implemented in a hydroponic cultivation and was experimented with 18 curly lettuce (*Lactuca sativa*). Based on the control of the nutrients dosage and the addition of citric acid for the pH, it was obtained in six weeks a crop with: big leaves of intense green color, without spots and ready for consumption.

Índice general

| | |
|---|-----|
| Índice general | IX |
| Índice de figuras | XII |
| Índice de tablas | XIV |
| Introducción..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 2 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 2 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Justificación | 2 |
| 1.4 Antecedentes | 3 |
| 1.5 Alcance | 4 |
| Revisión Literaria | 5 |
| 2.1 Hidroponía | 5 |
| 2.2 Tipos de cultivos hidropónicos..... | 5 |
| 2.3 Hidroponía en ecuador..... | 8 |
| 2.4 Estado del arte..... | 9 |
| 2.4.1 Desarrollo de una fórmula apropiada para la solución nutritiva..... | 9 |
| 2.4.2 Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables | |
| [15]. | 10 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4.3 | Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico. | |
| [16] | | 11 |
| 2.5 | Comparación entre las investigaciones realizadas en el estado del arte contra el sistema de dosificación a implementarse en esté proyecto..... | 13 |
| 2.6 | Parámetros de diseño para el control de cultivos hidropónicos..... | 13 |
| 2.6.1 | Solución nutritiva..... | 13 |
| 2.6.2 | pH..... | 15 |
| 2.6.3 | Conductividad eléctrica (CE)..... | 16 |
| | Metodología..... | 17 |
| 2.7 | Requerimientos del sistema. | 17 |
| 2.7.1 | Capacidad de los depósitos de solución nutritiva, ácido y tanque colector. | |
| | | 17 |
| 2.7.2 | Selección de la tarjeta de desarrollo y control a través de criterios ponderados..... | 18 |
| 2.7.3 | Selección del sensor de nivel a través de criterios ponderados. | 22 |
| 2.7.4 | Selección de las bombas para la dosificación de nutrientes y ácido cítrico a través de criterios ponderados..... | 25 |
| 2.7.5 | Selección de relés para la activación de las bombas de diafragma y bomba de recirculación..... | 29 |
| 2.7.6 | Componentes para el control del sistema de riego. | 31 |

| | | |
|------------------------------------|--|----|
| 2.7.7 | Interfaz hombre máquina (HMI)..... | 37 |
| 2.7.8 | Diseño del algoritmo a implementarse en el microcontrolador. | 38 |
| 2.1 | Descripción general del sistema. | 40 |
| Implementación y pruebas..... | | 42 |
| 3.1 | Hardware..... | 42 |
| 3.1.1 | Implementación del sistema de dosificación de sustancias nutritivas y ácido. 43 | |
| 3.2 | Software..... | 44 |
| 3.3 | Pruebas de funcionamiento del sistema de dosificación..... | 46 |
| 3.3.1 | Prueba del sensor ultrasónico para el control de nivel de agua. | 46 |
| 3.3.2 | Pruebas de dosificación de las bombas A, B y ácido..... | 49 |
| 3.4 | Análisis de resultados del cultivo hidropónico implementado. | 53 |
| 3.5 | Análisis de costos..... | 58 |
| Conclusiones y trabajo futuro..... | | 62 |
| 4.1 | Conclusiones..... | 62 |
| 4.2 | Trabajo futuro | 63 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 64 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en niveles de pH. [19] | 15 |
| Figura 2. Arduino mega Atmega2560 [21]. | 19 |
| Figura 3. Raspberry Pi [22]. | 20 |
| Figura 4. Sensor ultrasónico Hy-srf05..... | 23 |
| Figura 5. Sensor de Distancia Sharp GP2Y0A21YK0F..... | 24 |
| Figura 6. Bomba peristáltica de 12V [25]. | 27 |
| Figura 7. Bomba de diafragma de 12V DC [27]. | 27 |
| Figura 8. Módulo relé de estado sólido de 4 canales [30]. | 29 |
| Figura 9. Módulo relé electromecánico de 4 canales [30]..... | 30 |
| Figura 10. Modulo RTC DS1302. | 31 |
| Figura 11. Modulo RTC DS1302. | 32 |
| Figura 12. Bomba de agua 12V [35] | 33 |
| Figura 13. Bomba de agua Decdeal 12VDC [36]..... | 34 |
| Figura 14. Diseño de la placa de circuitos para arduino mega. | 37 |
| Figura 15. Diagrama de flujo básico del sistema de dosificación. | 39 |
| Figura 16. Diagrama de bloques del sistema..... | 41 |
| Figura 17. Módulo de cultivo hidropónico NFT. | 43 |
| Figura 18. Sistema de dosificación de nutrientes y ácido. | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 19. Caja de control del sistema de riego y dosificación. | 44 |
| Figura 20. Sistema HMI de dosificación de sustancias nutritivas y ácido. | 46 |
| Figura 21. Calibración y pruebas del sensor ultrasónico 10cm. | 47 |
| Figura 22. Distancia entre la tapa del tanque colector hasta su base. | 47 |
| Figura 23. Pruebas de funcionamiento del sensor ultrasónico con 10 litros de agua. | 48 |
| Figura 24. Siembra de las plántulas de lechuga crespa. | 53 |
| Figura 25. Cultivo primer día (a) a semana 1(b). | 55 |
| Figura 26. Cultivo semana 2 (a), semana 3 (b). | 56 |
| Figura 27. Cultivo semana 4 (a), semana 5 (b). | 57 |
| Figura 28. Producción de lechuga crespa en 6 semanas de cultivo aplicando del sistema de dosificación de nutrientes y ácido. | 58 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Definición, ventajas y desventajas tipos de sistemas hidropónicos. [9]..... | 6 |
| Tabla 2. Componentes principales de la solución nutritiva..... | 14 |
| Tabla 3. Cálculo de la capacidad del tanque colector según la especie cultivada [17]. .. | 18 |
| Tabla 4. Resultados de selección de placa de desarrollo..... | 22 |
| Tabla 5. Resultados de selección de sensor de nivel..... | 25 |
| Tabla 6. Resultados de selección de bomba de dosificación..... | 28 |
| Tabla 7. Resultados de selección de bomba de recirculación..... | 35 |
| Tabla 8. Mediciones del nivel de agua con el sensor ultrasónico..... | 49 |
| Tabla 9. Caudal dosificado en 1 s de las bombas A y B. | 50 |
| Tabla 10. Pruebas de dosificación de ácido en 700ms..... | 51 |
| Tabla 11. Valores de dosificación con un caudal de la bomba A de 32.8ml/s..... | 52 |
| Tabla 12. Valores de dosificación con un caudal de la bomba B de 31.4ml/s..... | 52 |
| Tabla 13. Dosificación de sustancias nutritivas en 15lt de agua..... | 54 |
| Tabla 14. Mediciones semanales de pH y CE en el sistema hidropónico NFT..... | 55 |
| Tabla 15. Dosificación de ácido en la tercera y cuarta semana de cultivo..... | 57 |
| Tabla 16. Recursos utilizados para el cultivo de lechuga crespa..... | 58 |
| Tabla 17. descripción de precios para la fabricación del sistema de dosificación y modulo hidropónico..... | 59 |

Capítulo 1

Introducción

Este trabajo de grado ha sido realizado con el Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes de la Universidad Técnica del Norte (GISI-UTN).

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la dosificación de las sustancias nutritivas en cultivos hidropónicos en el Ecuador lo realizan de manera manual, lo cual provoca una deficiencia de nutrientes y un mal desarrollo de los cultivos [1].

De igual manera la corrección de pH se la realiza de forma manual agregando ácido hasta lograr los niveles adecuados [2], a su vez la manipulación del ácido puede afectar la salud de los agricultores ya que es un elemento tóxico al ser ingerido o inhalado [3].

[4] es una industria española que fabrica maquinaria hidropónica, un sistema completo con dosificación, control de pH y conductividad eléctrica (CE), tiene un valor aproximado de \$2037 dólares americanos, siendo un sistema costoso de adquirir.

Por lo tanto, es necesaria la aplicación de un sistema de dosificación menos costoso que permita un control óptimo de dosificación de nutrientes y ácido para el desarrollo de los cultivos hidropónicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Construir un sistema de dosificación de soluciones nutritivas y ácido para cultivos hidropónicos NFT mediante datos de conductividad eléctrica y pH.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los parámetros del sistema de dosificación de nutrientes para lograr una mezcla adecuada y mejorar la producción de cultivos hidropónicos NFT.
- Diseñar el hardware del proceso de dosificación de sustancias nutritivas y el ácido.
- Diseñar el sistema de control del dosificador, considerando los parámetros esenciales para el proceso.
- Validar el funcionamiento del sistema dosificador.

1.3 Justificación

El presente proyecto pretende controlar la dosificación de las sustancias nutritivas y los niveles altos y bajos de pH, mejorando los sistemas tradicionales de hidropónia NFT.

La falta de un sistema de dosificación de sustancias nutritivas de bajo costo ocasiona que a los agricultores se les dificulte su adquisición.

El manejo de la sustancia acida para regular niveles altos de pH puede provocar intoxicación al agricultor, es por ello la necesidad de un dosificador automático.

Los sistemas hidropónicos tienen como objetivo el ahorro de agua para la producción de plantas, debido a que en los cultivos tradicionales de tierra un 80% del riego se infiltra a las capas inferiores del terreno y el otro porcentaje se evapora [5].

Los motivos que justifican el cambio tecnológico al cultivo sin suelo en el Ecuador se deben a la necesidad de contrarrestar las demandas de alimentos libres de contaminantes y un manejo óptimo de agua.

El diseño e implementación del dosificador ayudará a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) a realizar investigaciones en sistemas de cultivos hidropónicos.

1.4 Antecedentes

Dentro de la búsqueda que se ha realizado en los documentos citados en la bibliografía existen varios proyectos planteados los cuales son:

En [6] se presenta un diseño de un sistema de automatización que controla la temperatura y humedad en cultivos hidropónicos el cual regula la activación y desactivación de las bombas para un control de riego utilizando un microcontrolador AVR ATmega 8535; sin embargo, el sistema no fue diseñado para agregar nutrientes de forma automática.

En [1] se realizó la automatización de un cultivo hidropónico NFT en el cual utiliza lógica fuzzy para la mezcla de la sustancia nutritiva, el sistema de dosificador funciona con electroválvulas en función de tiempo de llenado y utiliza un sensor ultrasónico para medir el nivel de agua en el tanque de mezcla.

En [7] Dania Eridani diseñó un sistema de dosificación de sustancias nutritivas en base a datos de CE que se adquieren de un sensor que se encuentra sumergido en el tanque de mezcla, utiliza servomotores para abrir el paso de agua hasta lograr los niveles de CE adecuados y un sensor de proximidad para medir el nivel de agua en el tanque de mezcla.

1.5 Alcance

El presente proyecto constará de tres recipientes y un tanque de mezcla, se depositarán manualmente la sustancia nutritiva A, B, y el ácido, respectivamente en cada recipiente.

El sistema de automatización general consistirá en dosificar la sustancia nutritiva A, B y ácido en el tanque de mezcla a partir de mediciones con sensores de conductividad eléctrica (CE) y pH los cuales serán colocados en el tanque de mezcla cuando se desee realizar la medición.

El sistema general de dosificación contará con un HMI diseñado en una plataforma preseleccionada en la cual el usuario colocará la cantidad de sustancia nutritiva que desea añadir al tanque colector y de igual forma controlar los niveles altos y bajos de pH.

El algoritmo de control para la dosificación y la automatización general se realizará en un sistema electrónico previamente seleccionado.

Se realizarán pruebas de dosificación y verificación de los resultados de funcionamiento juntamente con el especialista en hidroponía.

Capítulo 2

Revisión Literaria

Para la realización del sistema de dosificación de sustancias nutritivas y ácido se tiene como puntos referenciales la investigación del proceso de cultivos hidropónicos en Ecuador en base a la técnica NFT, así también un estudio del arte de los procesos de automatización, los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y el control de pH.



2.1 Hidroponía



La hidroponía se deriva del griego hydro (agua) y ponos (trabajo), es decir trabajo en agua. Es entonces que la hidroponía es una técnica de cultivo en donde las raíces no tienen contacto con la tierra, sin embargo, absorben nutrientes que son disueltos en agua los cuales permiten el óptimo crecimiento de las plantas en comparación a técnicas agrícolas convencionales. [8]

2.2 Tipos de cultivos hidropónicos.

Existen varios tipos de sistemas hidropónicos, su elección depende de los recursos disponibles para su aplicación y así también del tipo de plantas a cultivar, los sistemas más comunes se encuentran detallados en la **Tabla 1. Definición, ventajas y desventajas tipos de sistemas hidropónicos.** Tabla 1.

Tabla 1. Definición, ventajas y desventajas tipos de sistemas hidropónicos. [9]

| Sistema hidropónico | Definición | Ventajas | Desventajas | Ilustración |
|---------------------|---|--|--|---|
| Mecha o pabilo | Esta técnica permite que las plantas reciban la solución nutritiva mediante mechas o pabilos los cuales absorben y mantienen húmedas las raíces, el sistema puede usar distintos tipos de sustratos. | Poca inversión, no requiere bombas para transportar la solución nutritiva, es un sistema óptimo para plantas que necesitan poca agua, requiere de sustratos. | Sistema adecuado para ciertas variedades de plantas, se necesita oxigenar la solución nutritiva. |  <p>SUSTRATO MECHA SOLUCIÓN NUTRITIVA MECHA</p> |
| NFT | Esta técnica recircula la solución de nutrientes de forma continua por canales de plástico con una pendiente adecuada la cual permite mantener una delgada lámina de solución nutritiva que favorece a las raíces en la absorción de nutrientes y oxígeno [10]. | No requiere de sustratos, permite oxigenar la solución nutritiva de manera natural, las raíces permanecen sumergidas en una pequeña lamina de solución nutritiva, permite cultivar diferentes variedades de plantas, sistema óptimo para ser automatizado. | Inversión alta al iniciar su construcción, fallos en los sistemas de bombeo o energía eléctrica. |  <p>SOLUCIÓN NUTRITIVA BOMBA NFT</p> |

| | | | | |
|----------------------|---|---|--|---|
| <p>Aeroponia</p> | <p>Es una técnica en la que las raíces se encuentran suspendidas en el aire, dentro de un medio oscuro, y se nebulizan con solución nutritiva cada cierto tiempo.</p> | <p>Raíz libre de sustratos, método muy eficiente de cultivo.</p> | <p>Las raíces pueden secarse rápidamente si los sistemas de bombeo fallan.</p> |  |
| <p>Raíz flotante</p> | <p>En este método, las plantas se encuentran en una lámina que flota sobre la solución nutritiva, de modo que sus raíces están sumergidas dentro de la solución.</p> | <p>Sistema simple de aplicar y óptimo para fines didácticos y producción a gran escala.</p> | <p>Se necesita de una bomba de aire para oxigenar la solución nutritiva, pocas plantas se desarrollan adecuadamente en este sistema.</p> |  |

2.3 Hidroponía en Ecuador

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca incentiva la producción de cultivos hidropónicos como estrategia de agricultura familiar, capacitando y brindando la información necesaria para su producción [11], diario el Telégrafo y diario la Hora dan a conocer los cultivos hidropónicos desarrollados en varias ciudades del Ecuador los cuales son implementados como emprendimientos para satisfacer las necesidades de hortalizas frescas y sin contaminantes. [12] [13].

Los sistemas implementados cuentan con los componentes básicos para cultivos hidropónicos basados en la técnica NFT, como son tubos PVC, bomba sumergible para recircular los nutrientes, un timer para programar el riego y un tanque colector donde almacenar el agua con nutrientes. Los pequeños emprendimientos no cuentan con equipos automáticos de mezcla de nutrientes, control de pH y CE es por ello que su control se lo realiza de manera manual.

En los métodos tradicionales de cultivos hidropónicos NFT, se realizan las mediciones diarias de pH y CE mediante equipos portátiles, de igual manera la activación de la bomba para recircular la solución nutritiva se lo realiza manualmente o semiautomática usando temporizadores con horarios preprogramados. La corrección de pH y CE se la realiza de forma manual agregando sustancias de maneras desproporcionadas.

2.4 Estado del arte.

2.4.1 Desarrollo de una fórmula apropiada para la solución nutritiva.

La evolución de las plantas ha llegado a permitirles tolerar algunos desequilibrios de nutrientes, pero a su vez esto conlleva a un acumulamiento de sales o minerales en la zona radicular.

Es por ello importante entender los principios para la elaboración de la solución nutritiva, especialmente cuando se recicla o recircula constantemente durante el ciclo de vida del cultivo.

Para la realización de la solución nutritiva se debe considerar algunos factores como son:

La composición de la solución la cual se debe calcular los nutrientes necesarios para cada planta y la concentración de la solución nutritiva la cual dependerá del crecimiento es decir entre más grandes sean las plantas más nutrientes serán consumidos.

De igual manera si la CE de la solución nutritiva aumenta es necesario hacerla más diluida, pero sin alterar las proporciones de mezcla entre la solución A y B.

Del mismo modo si los niveles de CE no varían rápidamente es necesario vigilarla algunos días a la semana. [14]

2.4.2 Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables [15].

En la universidad nacional abierta y a distancia UNAD de Colombia se realizó un proyecto de investigación sobre la automatización de un cultivo hidropónico utilizando energía eléctrica alternativa y limpia con el medio ambiente.

Su objetivo principal fue medir y controlar las variables físicas y químicas para la dosificación de nutrientes en un invernadero experimental de control de germinación y crecimiento de especies vegetales.

Para la realización de la investigación implementaron microchips, sensores análogos para la medición de la temperatura humedad relativa del ambiente, pH, luminosidad, actuadores como motores a pasos para la dosificación de nutrientes y agitadores.

Para la realización de la dosificación se agregaron sustancias nutritivas estandarizadas permitiéndoles manipular de manera eficiente la adición de nutrientes al tanque contenedor.

El sistema de dosificación contenía tres contenedores de nutrientes que permiten un control de flujo de 3 ml a 150 ml por minuto logrando adecuar el sistema para la especie de planta a cultivar.

2.4.3 Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico.

[16]

En el siguiente artículo científico desarrollado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia se detalla la automatización de cultivos hidropónicos para uso doméstico apoyando a un emprendimiento colombiano el cual ofrece sistemas hidropónicos sin automatizar a la comunidad.

Es por ello por lo que se realiza un prototipo en el cual se controlan las variables críticas como son pH, CE y dosificación automática de nutrientes.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de sensores y microcontroladores más precisos logrando la reducción de costos. De igual forma existen en el mercado dispositivos para la adición automática de nutrientes y el control de pH y CE los cuales se vuelven atractivos para los agricultores ya que ahorran tiempo y dinero.

La metodología usada se basa en etapas:

Etapa 1

Estado del arte y requerimientos del sistema.

En esta etapa desarrollan una mesa de trabajo con los beneficiarios del proyecto en la cual obtienen las necesidades principales del prototipo.

Etapa 2

Elección de sensores y tarjeta de desarrollo.

En esta etapa se seleccionaron los componentes óptimos para el desarrollo del proyecto teniendo en consideración los parámetros de la etapa 1.

Tarjeta de desarrollo, se optó por usar un arduino uno tomando en consideración los pines de entrada y salida y los módulos de comunicación que se necesitaban.

Bombas de dosificación. - debido a que su prototipo contaba con pocas plantas y el sistema debía entregar volúmenes muy pequeños de nutrientes, se optó por usar 4 bombas peristálticas, las cuales dosificaron en forma de gotas de 20 a 60 ml por minuto.

Bomba para recirculación. - se optó por una bomba de acuario misma que era usada anteriormente por los emprendedores colombianos.

Etapa 3

Diseño del controlador, programación e implementación sobre la tarjeta de desarrollo.

Pruebas de funcionamiento y ajustes.

En esta etapa se diseñó el sistema de control y se realizó la programación sobre la tarjeta de desarrollo.

Etapa 4

Análisis de resultados.

Esta etapa consistió en el análisis de resultados en la cual se puede concluir que el sistema tuvo el comportamiento esperado, corrigiendo los valores de conductividad eléctrica en aproximadamente 8 horas. De igual manera la corrección de pH duró un día completo, logrando de esta manera estabilizar el sistema en el cuarto día, posterior a ello se encontró problemas por la absorción rápida de agua por las plantas con lo cual debía haber intervención humana para la adición manual de agua al sistema.

2.5 Comparación entre las investigaciones realizadas en el estado del arte contra el sistema de dosificación a implementarse en este proyecto.

El presente proyecto se realizó con un fin investigativo en el área de hidroponía NFT, automatizando los procesos que normalmente se realizan a mano y poniendo a prueba los equipos en un entorno real.

Las investigaciones citadas realizan sistemas similares a este proyecto utilizan equipos de dosificación y sensores para la medición de pH y CE.

La diferencia de esos equipos con este proyecto es la velocidad de dosificación de los nutrientes, el rápido control de pH mediante un sistema HMI y la aplicación del equipo a un cultivo con 18 plantas en condiciones climáticas reales.

2.6 Parámetros de diseño para el control de cultivos hidropónicos.

2.6.1 Solución nutritiva.

La solución nutritiva para cultivos hidropónicos está formada por agua y sales disueltas en una proporción adecuada, mismos que son esenciales para el crecimiento de las plantas.

Generalmente la solución nutritiva contendrá macronutrientes y micronutrientes esenciales para los cultivos los cuales se detallan en la Tabla 2 [17, p. 31].

Tabla 2. Componentes principales de la solución nutritiva.

| Macronutrientes | Micronutrientes |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Nitrógeno• Fosforo• Potasio• Calcio• Magnesio• Azufre | <ul style="list-style-type: none">• Hierro• Cinc• Manganeso• Cobre• Boro• Molibdeno |

La técnica de cultivo hidropónico NFT mantiene una recirculación constante de la solución nutritiva en la cual los nutrientes son absorbidos por las plantas.

Las soluciones nutritivas concentradas se separan en dos soluciones, denominadas solución nutritiva A que contiene los macronutrientes y solución nutritiva B que contiene los micronutrientes. El propósito para separar los minerales en dos grupos es evitar precipitaciones entre los compuestos. Por ejemplo, si se mezclan en una solución concentrada nitrato de calcio y sulfato de magnesio, se obtendrá un precipitado de sulfato de calcio [17].

De acuerdo con la capacidad del tanque colector se aplica 5 ml por cada litro de agua de sustancia A y 3 ml por cada litro de agua de sustancia B. [18]

Además de la aplicación de la solución nutritiva es necesario el control de los niveles de pH y CE del agua con nutrientes que se usaran en el cultivo.

2.6.2 pH.

El pH, permite verificar los elementos nutritivos dentro del sistema de cultivo es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución.

El rango de pH en el cual los nutrientes están disponibles ocurre entre 5,5 y 7 [17] como se muestra en la Figura 1.

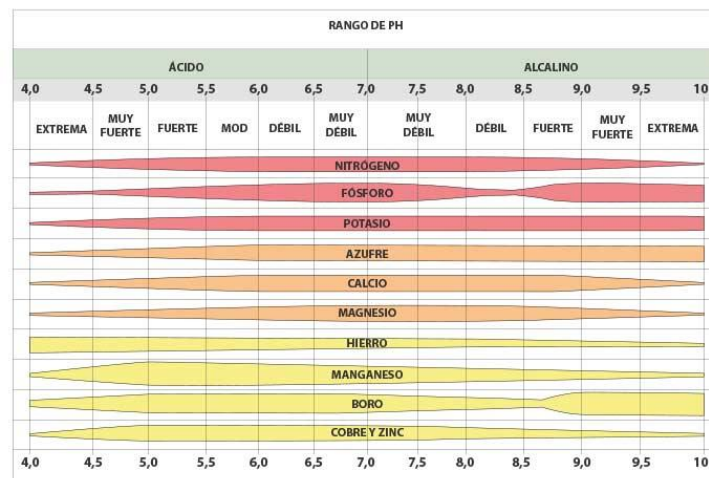


Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en niveles de pH. [19]

Para disminuir el nivel de pH a un rango óptimo se agrega una solución ácida, en la realización de este trabajo se utilizó ácido cítrico por su contenido orgánico, baja peligrosidad al manipularlo y no contiene nutrientes. [20]

Para aumentar el nivel de pH a un rango óptimo se requiere dosificar la sustancia nutritiva A y B en proporciones 2:1 hasta obtener el valor deseado [17].

2.6.3 Conductividad eléctrica (CE).

La CE mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm.

El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre un 1.5 a 3.0 mS/cm. Valores recomendados según [17].

La CE nos brinda un indicio de que el agua a utilizar es adecuada y de la vida útil de la solución nutritiva en el sistema [18].

Al iniciar la preparación de la mezcla de sustancias nutritivas A y B primero se debe controlar los niveles de CE en el agua la cual debe contar con el nivel más bajo posible, rangos entre 0.7 - 1.2 mS/cm.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se realiza la selección de los componentes que se utilizarán para la construcción y control del sistema de dosificación de nutrientes y ácido.

2.7 Requerimientos del sistema.

Los requerimientos de diseño del sistema de dosificación se obtienen considerando parámetros del manejo de cultivos hidropónicos NFT según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con el objetivo de lograr un óptimo funcionamiento del equipo, la información presentada es verificada por un especialista en hidroponía de la Universidad Técnica del Norte.

2.7.1 Capacidad de los depósitos de solución nutritiva, ácido y tanque colector.

La capacidad de los recipientes para la sustancia A, B y ácido deben contener por lo menos 2 litros de capacidad permitiendo sobrellevar un periodo de cultivo, evitando que el agricultor agregue las sustancias a los contenedores de manera constante.

El tanque colector debe tener una capacidad aproximada de 15 litros, tomando en consideración la absorción diaria de la planta en estado de cosecha y la cantidad de litros

de solución que permanecen permanentes en cada tubería y un factor de seguridad (fs) 1,8 litros, valores referenciales en la Tabla 3.

Absorción diaria por planta = 0,3 L

Cantidad de lechugas a cultivar = 18

Absorción diaria por las 18 lechugas (Ad) = 5,4 L

Cantidad de solución nutritiva permanente en cada tubo = 1,3L

Numero de tubos = 6

Cantidad total de solución nutritiva permanente en los 6 tubos (Ct)= 7,8 L

Capacidad del tanque colector = Ad+ Ct+ fs = 15 Litros

Tabla 3. Cálculo de la capacidad del tanque colector según la especie cultivada [17].

| Espece | Volumen aproximado de solución consumida (litros planta/día) |
|---------|--|
| Lechuga | 0,3 |
| Tomate | 2,5 |
| pepino | 3,0 |

2.7.2 Selección de la tarjeta de desarrollo y control a través de criterios ponderados.

Para la selección de la tarjeta de desarrollo se tomó en consideración los siguientes requisitos:

- Debe contener pines de comunicación i2c para recibir las mediciones de pH y CE de un equipo externo.

- Pines de salida para activar o desactivar las bombas de dosificación, la bomba de recirculación, elementos de visualización y pines de entrada para la comunicación de sensores e interruptores.
- Pines PWM para controlar la velocidad de dosificación del ácido.
- De igual manera se consideró si el dispositivo es compatible y sí permite realizar una comunicación con la plataforma LabVIEW.
- Fácil instalación y programación.

2.7.2.1 Arduino Mega

Es una tarjeta de desarrollo de hardware libre que facilita la programación de microcontroladores.



Figura 2. Arduino mega Atmega2560 [21].

Características:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5 V
- Voltaje de Entrada: 7 - 12 V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB

- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz
- Comunicación i2C

El microcontrolador viene preprogramado con un cargador de arranque (bootloader) que le permite cargar nuevo código en ella sin el uso de un programador de hardware externo.

La placa Mega 2560 tiene una serie de facilidades para la comunicación con un ordenador, otra placa, u otros microcontroladores. Ofrece cuatro UART hardware para TTL (5 V) para la comunicación serie. [21]

2.7.2.2 Raspberry Pi.

Es una computadora con un tamaño compacto y de bajo costo con un sistema operativo Linux que tiene la habilidad de interactuar con el mundo exterior, se conecta a un monitor y se usa con un mouse y teclado, el lenguaje de programación usado para esta tarjeta es Python. [22]

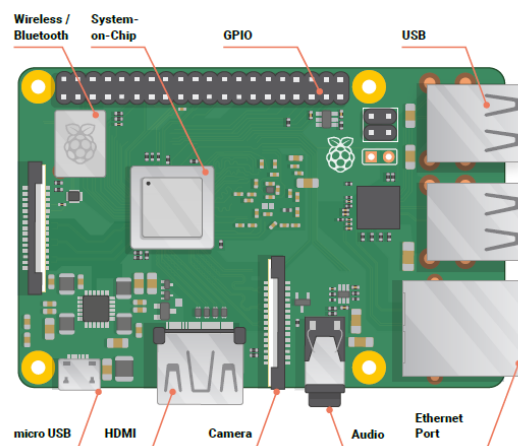


Figura 3. Raspberry Pi [22].

La Raspberry Pi 3 B+ cuenta con un GPIO de 40 pines, el cual permite el contacto con el mundo exterior, tanto por sensores como con actuadores, además cuenta con puertos de comunicación I2C, SPI y UART compatible con labview.

Los pines GPIO se pueden configurar para su funcionamiento en PWM.

Comunicación

Características:

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
- GPIO de 40 pines
- HDMI
- 4 puertos USB 2.0
- Puerto CSI para conectar una cámara.
- Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
- Salida de audio estéreo y vídeo compuesto
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE)

2.7.2.3 Matriz de selección de la tarjeta de desarrollo por criterios ponderados.

Los niveles de importancia se colocan dependiendo del grado de necesidad, 10 cumple, 5 cumple regularmente y 0 no cumple.

Tabla 4. Resultados de selección de placa de desarrollo.

| Requerimientos | Arduino Mega | Raspberry Pi |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Comunicación i2C | 10 | 10 |
| Puertos de entrada y salida | 10 | 10 |
| Pines PWM | 10 | 10 |
| Comunicación con LabVIEW | 10 | 5 |
| Instalación y programación | 10 | 5 |
| Total | 50 | 40 |

Como se observa en la Tabla 4 al obtener un mayor valor de ponderación la tarjeta Arduino mega es la seleccionada para ser utilizada en el control del sistema de dosificación de nutrientes y ácido cítrico.

2.7.3 Selección del sensor de nivel a través de criterios ponderados.

Debido a que se requería conocer la cantidad de agua que se encuentra disponible en el tanque colector, fue necesaria la elección de un sensor de nivel, el cual permita obtener

mediciones en tiempo real, que sea económico, fácil de encontrar en el mercado nacional y que tenga compatibilidad con la tarjeta Arduino mega.

2.7.3.1 Sensor ultrasónico

Son dispositivos que permiten la detección sin contacto de objetos sólidos y líquidos mediante el uso de ondas ultrasónicas, utilizados para el monitoreo de niveles de agua dentro de tanques [23].



Figura 4. Sensor ultrasónico Hy-srf05.

Características:

- Tensión de alimentación: 5 VDC
- Consumo de corriente: 15 mA
- Frecuencia de trabajo: 40Hz
- Alcance máximo: 4m
- Rango mínimo: 0,02 m (2 cm)
- Angulo de medición: 15 grados
- Entrada activadora de señal: pulso TTL 10uS
- Precio referencial: \$3,50 disponible en el mercado nacional.
- Compatible con Arduino.

2.7.3.2 Sensor de Distancia Sharp GP2Y0A21YK0F

Dispositivo que emite un haz de luz constante que al topar con un obstáculo detecta cuál es la distancia entre ese objeto y el sensor, además es más preciso ya que cuenta con una salida de datos analógica. [24]



Figura 5. Sensor de Distancia Sharp GP2Y0A21YK0F

Características:

- Voltaje de operación: 4.5 V a 5.5.
- Corriente de consumo: 30 mA.
- Rango de distancia: 10 cm a 80 cm.
- Tipo de salida: voltaje analógico.
- Tiempo de respuesta: 38 ± 10 ms.
- Dimensiones: 44.5 mm x 18.9 mm x 13.5 mm.
- Precio referencial: \$15,00 disponible en el mercado nacional.
- Compatible con Arduino

2.7.3.3 Matriz de selección del sensor de nivel por criterios ponderados.

Tabla 5. Resultados de selección de sensor de nivel.

| Requerimientos | Sensor ultrasónico | Sensor de distancia sharp |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Mediciones en tiempo real | 10 | 10 |
| Costo | 10 | 5 |
| Disponibilidad en el mercado | 10 | 10 |
| Compatibilidad con Arduino mega | 10 | 10 |
| Total | 40 | 35 |

El sensor ultrasónico al tener un valor mayor de ponderación en la Tabla 5 es el dispositivo seleccionado para obtener las mediciones del nivel de agua en el tanque colector.

2.7.4 Selección de las bombas para la dosificación de nutrientes y ácido cítrico a través de criterios ponderados.

Para la selección de las bombas de dosificación de los nutrientes y ácido cítrico se realizó una matriz de criterios ponderados que se muestra en la Tabla 6, la cual permitió seleccionar la mejor alternativa, tomando en consideración los siguientes parámetros de diseño:

- Caudal de dosificación.

El caudal a utilizar dependerá del número de plantas a cultivar, en el presente proyecto se usarán 18 plantas para lo cual se necesitan 15 Litros de agua para mantener el cultivo, como se explicó en el literal 2.7.1.

Para obtener el caudal que se requiere para la selección de las bombas de dosificación se considera la cantidad de nutrientes y el nivel de agua en el tanque colector.

Según [18] se requiere 5ml de nutriente A y 3ml de nutriente B por cada litro de agua en el tanque colector.

Cantidad de nutriente A en 15L = 75ml

Cantidad de nutriente B en 15L = 45ml

Las bombas de dosificación deben tener la capacidad de dosificar 75ml de nutriente A y 45ml de nutriente B.

- Altura

La altura de bombeo se considera midiendo la distancia entre el tanque colector y el lugar donde se instalan las bombas obteniendo una distancia de 1 metro.

- Disponibilidad en el mercado nacional
- Costo

Entre las alternativas se tiene:

2.7.4.1 Bombas peristálticas.



Figura 6. Bomba peristáltica de 12V [25].

Permiten bombear una variedad de fluidos mediante un tubo flexible que es aplastado continuamente por tres rodillos. Entre un paso y el otro del rodillo impulsor, el tubo recupera su diámetro original generando un vacío para transportar el producto a bombear. [26]

Parámetros:

Precio referencial: \$30 a \$40.

Disponibilidad en el mercado ecuatoriano: Si.

Caudal de dosificación: 100 ml/min.

Altura máxima de bombeo: 5m

2.7.4.2 Bomba de diafragma



Figura 7. Bomba de diafragma de 12V DC [27].

Permiten dosificar líquidos de un lugar a otro mediante una bomba de diafragma de desplazamiento positivo, que consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen dentro de la cámara de la bomba. [27]

Parámetros:

Precio referencial: \$7 a \$8.

Disponibilidad en el mercado ecuatoriano: Si

Caudal de dosificación: 1500ml/min.

Altura máxima de bombeo: 2m

Precisión: Alta.

2.7.4.3 Matriz de selección de bombas de dosificación por criterios ponderados.

Tabla 6. Resultados de selección de bomba de dosificación.

| Requerimientos | Bomba peristáltica | Bomba de diafragma |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Costo | 5 | 10 |
| Disponibilidad en el país | 10 | 10 |
| Velocidad de dosificación | 10 | 10 |
| Altura de bombeo | 10 | 10 |
| Total | 35 | 40 |

En base a la ponderación de los dos dispositivos de la Tabla 6 se obtuvo que la bomba de diafragma es la opción con mayor puntuación.

2.7.5 Selección de relés para la activación de las bombas de diafragma y bomba de recirculación.

Los relés permiten controlar el paso de energía sin tener que abrir o cerrar un interruptor de forma manual. Los relés requieren de una señal eléctrica para ser activados y permitir el paso de una señal eléctrica más grande [28].

Para la selección del relé de activación de las bombas, se consideró dos tipos, el relé electromecánico y el relé de estado sólido.

El relé de estado sólido permite conmutar cargas entre 120V y 240V 2A de corriente alterna (AC), el inconveniente con el dispositivo es que no permite la conmutación de cargas de corriente directa (DC) [29].

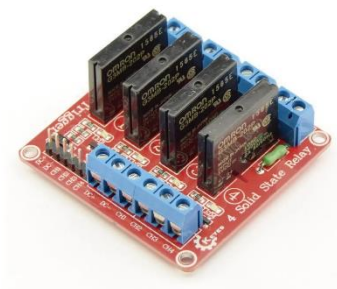


Figura 8. Módulo relé de estado sólido de 4 canales [30].

El relé electromecánico permite conmutar cargas entre 240VAC y 30VDC con una corriente de operación de 10A, las bombas peristálticas y la bomba de recirculación funcionan a 12VDC y 1A, es por ello que se optó por la utilización de un relé electromecánico.

2.7.5.1 Relé electromecánico de 4 canales.



Figura 9. Módulo relé electromecánico de 4 canales [31].

La aplicación del relé electromecánico permitirá activar o desactivar las tres bombas de dosificación y la bomba para el sistema de riego del literal **2.7.6.2**

Características

- Voltaje de operación 240VAC/30VDC
- Voltaje de la bobina (relé) 5V
- Corriente de operación 10 A
- Corriente de activación por relé 15 mA ~ 20 mA
- Canales 4 (independientes protegidos con optoacopladores)
- LED indicador para cada canal (cuando bobina está activa)
- Tamaño 6,8 cm x 4,9 cm x 1,6 cm

2.7.6 Componentes para el control del sistema de riego.

Para el control de riego del sistema hidropónico se utilizaron los siguientes componentes:

2.7.6.1 Modulo real time clock (RTC)

Un módulo RTC (Real Time Clock) o "Reloj de tiempo real" consiste en un circuito integrado alimentado por una batería el cual, en todo momento, registra la fecha, día de la semana y hora al igual que un reloj digital convencional [32].

El módulo RTC servirá para programar las horas y tiempo de riego para el cultivo hidropónico.

Para la selección del módulo RTC se tomó en consideración dos diferentes dispositivos: el módulo RTC (DS1302) y RTC (DS1307).

El módulo RTC (DS1307) utiliza una comunicación I2C que requiere de tres cables para su conexión SDA: datos, SCL: reloj y GND: tierra, cuenta con un socket para insertar una batería de 3V para mantener el funcionamiento de la hora y fecha en el caso de desconectarse de una fuente principal [33].

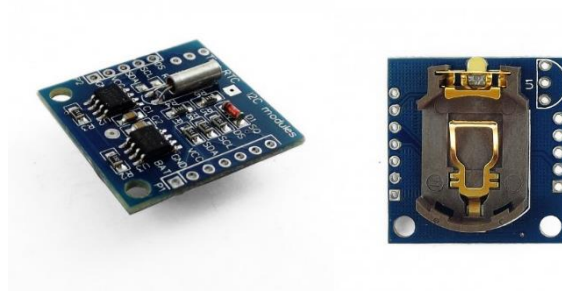


Figura 10. Modulo RTC DS1302.

El módulo RTC (DS1302) utiliza una comunicación en serie síncrona y requiere de tres cables para comunicarse con el reloj CLK, I/O, RST [31]. opera con un voltaje que va

desde 2.0V a 5.5V de igual forma cuenta con un socket para insertar una batería de 3V.

[32]



Figura 11. Modulo RTC DS1302.

Para la selección del dispositivo RTC se tomó en consideración la comunicación en la transmisión de datos, el presente proyecto utiliza una comunicación I2C donde el esclavo es el dispositivo que se encarga de las mediciones de pH y CE el cual envía datos al maestro en este caso la tarjeta Arduino mega.

Por lo tanto, al usar un maestro y varios esclavos puede generar una latencia en el envío y recepción de datos de cada uno de los esclavos, es por ello que solo podemos usar la comunicación I2C para comunicar un esclavo a la vez [34].

Al usar constantemente como esclavo al sistema de medición de pH y CE no es posible utilizar otro dispositivo I2C, es por ello que se optó por la utilización del módulo RTC 1302 que utiliza un protocolo de comunicación en serie síncrona.

2.7.6.2 Selección de la bomba de recirculación de agua a través de criterios ponderados.

La selección de la bomba de recirculación es uno de los componentes claves del sistema, su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el tanque colector hasta la parte alta de los tubos de cultivo.

Los requerimientos que deben considerarse para la selección de la bomba para cultivos NFT según la (FAO) [17, p. 22] son los siguientes:

- Debe resistir una gran cantidad de horas de funcionamiento.
- Debe ser resistente a la corrosión.
- La bomba debe ser capaz de impulsar un caudal de 2 a 3 litros por minuto.

Adicionalmente a dichos criterios se debe considerar la altura máxima de bombeo, que para nuestro caso es de 2 metros, así como también se considerará el voltaje de operación 12 VDC y el costo.

Entre las opciones que se encuentran son:

Bomba de agua sumergible 12VDC, Figura 12. Bomba de agua 12V Figura 12



Figura 12. Bomba de agua 12V [35]

Características:

- Caudal: 4 L/min
- Diámetro de entrada y salida: 5 mm.
- Dimensiones máximas: 40 x 35x 28 mm (LxWxH).
- Voltaje: 12 VCD.
- Corriente: < 100 mA.
- Potencia: 4.2W
- Altura máxima: 3m

- Vida útil: 10000 Horas.
- Precio: \$18 incluye fuente de 12VDC 1A
- Apta para agua dulce o salada.

Bomba sumergible Decdeal 5VDC, Figura 13.



Figura 13. Bomba de agua Decdeal 12VDC [36].

Características:

- Caudal: 4 L/m
- Altura Max: 2 m
- Potencia: 2.4W
- Voltaje: 5VDC
- Corriente: < 100 mA.
- Dimensiones: 59,5 x 49 x 42 mm
- Precio: \$18 incluye fuente de 5VDC 1A
- Apta para agua dulce o salada.
- Vida útil: 20000 Horas.

En la Tabla 7 se indica la matriz de ponderación para la selección de la bomba de recirculación de la sustancia nutritiva, en la cual obtiene un mayor valor de ponderación la bomba sumergible de 12VDC.

Tabla 7. Resultados de selección de bomba de recirculación.

| Requerimientos | Bomba sumergible 5VDC | Bomba sumergible 12VDC |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Costo | 10 | 10 |
| Resistencia a la corrosión | 10 | 10 |
| Caudal | 10 | 10 |
| Altura de impulso | 5 | 10 |
| Voltaje de operación | 5 | 10 |
| Vida útil | 10 | 5 |
| Total | 50 | 55 |

2.7.6.3 Elección de la pantalla para visualización de datos.

El uso del dispositivo permitirá al usuario visualizar los parámetros de pH, CE, nivel de tanque y hora actual sin necesidad de conectar un computador.

El dispositivo de visualización se seleccionó tomando en consideración lo tratado en el literal 2.7.6.1 por lo tanto, se eligió una pantalla con comunicación paralela de 7bits la cual se detalla a continuación.

Pantalla lcd 16x2 con comunicación paralela de 7 bits

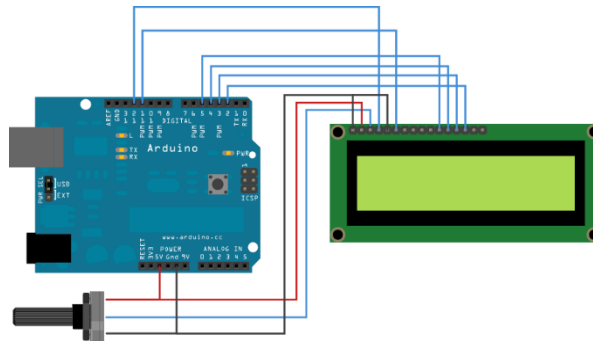


Figura 12. Pantalla de cristal líquido 7bits [37] .

Características:

- 16 caracteres x 2 líneas
- Caracteres de 5x8 puntos
- Tamaño de carácter: 5,23 x 3 mm
- Puede mostrar letras, números, caracteres especiales, y hasta 8 caracteres creados por el usuario
- Backlight de LED color azul
- Caracteres color blanco
- Voltaje de alimentación: 5 V

La pantalla lcd de comunicación paralela permitió visualizar los parámetros establecidos sin complicaciones ya que utiliza una comunicación distinta a I2C y no existe interferencias con el equipo de medición.

2.7.6.4 Diseño y fabricación de un shield para Arduino mega.

Para realizar las conexiones entre el sistema de dosificación y la caja de control se vio necesario el diseño y fabricación de un shield o placa de circuitos que se coloca en la parte superior del Arduino mega como se muestra en el anexo 1.

El diseño del shield de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, permitió utilizar de una manera óptima y estética el espacio dentro de la caja de control debido a que existe una cantidad considerable de cables.

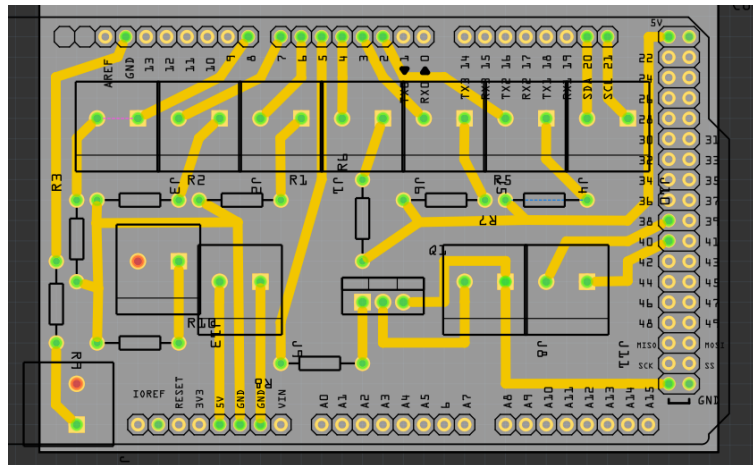


Figura 14. Diseño de la placa de circuitos para arduino mega.

2.7.7 Interfaz hombre máquina (HMI).

Para la realización del HMI se utilizó el software LabVIEW el cual es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW

emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques [38].

2.7.8 Diseño del algoritmo a implementarse en el microcontrolador.

El algoritmo implementado se basa en protocolo de comunicación serial entre el microcontrolador Arduino y la plataforma LabVIEW.

El diagrama de flujo de la Figura 15, muestra los pasos que realiza el microcontrolador para realizar la dosificación de las sustancias nutritivas y el ácido cítrico, tomando en consideración los valores y acciones ingresadas por el usuario en el sistema HMI.

Para la dosificación de los nutrientes A y B se utilizó un caudal de 30ml/s, valor establecido por el fabricante de las bombas de diafragma de la Figura 7, este valor permitirá realizar la programación y las pruebas de dosificación.

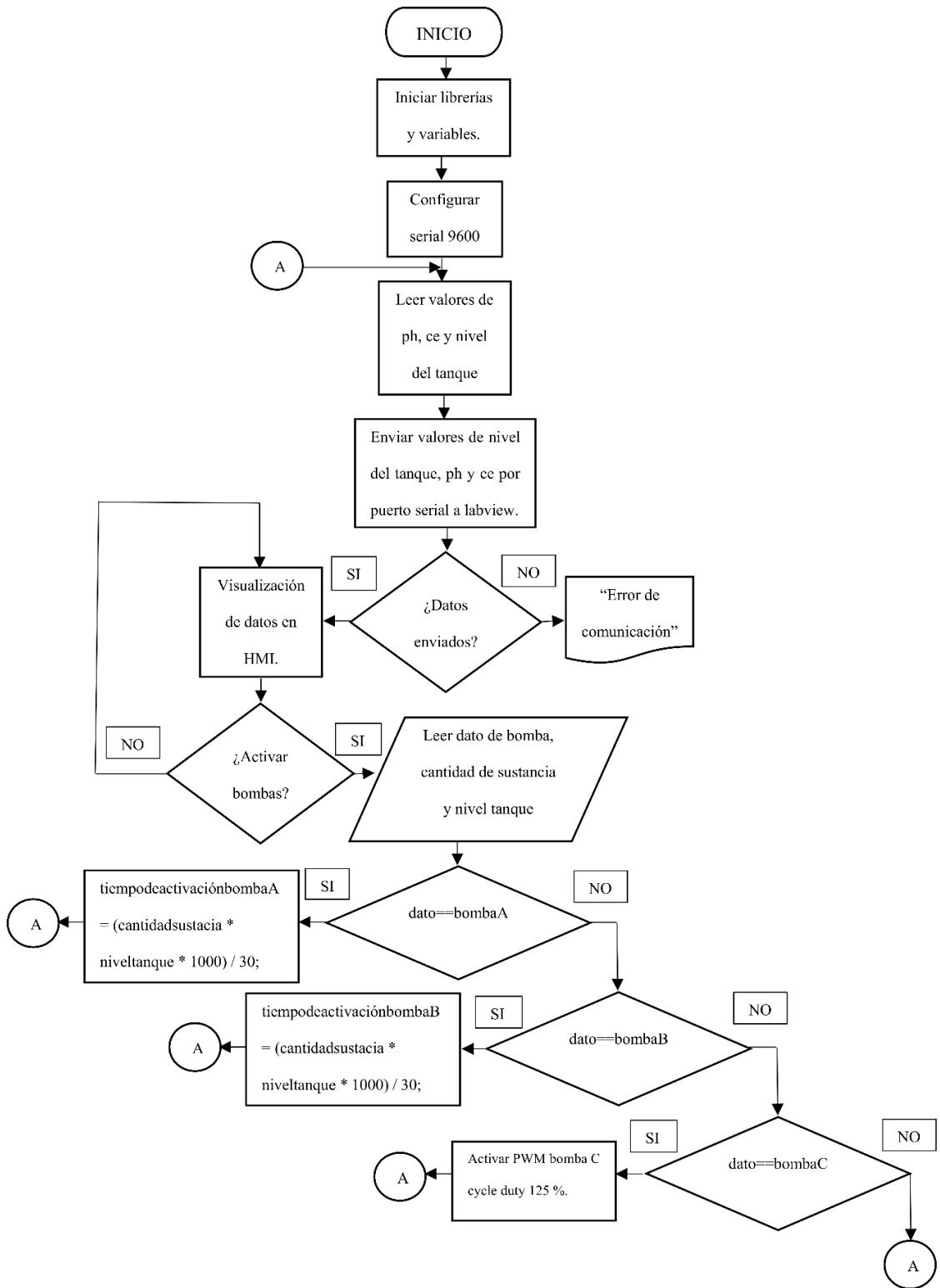


Figura 15. Diagrama de flujo básico del sistema de dosificación.

2.1 Descripción general del sistema.

En base a investigaciones de la sección 2.5 se tomó en consideración varios parámetros para el diseño del sistema de dosificación y del manejo óptimo de la solución nutritiva.

El sistema de dosificación y el sistema de riego se representa mediante un diagrama de bloques de la Figura 16, el cual se describe a continuación:

- Adquisición de la información.

Permite obtener datos ingresados por el usuario por medio del sistema HMI. Además, se obtienen datos de hora y fecha del módulo reloj (rct), que permite realizar el riego automático. De igual manera se reciben datos del nivel de agua del tanque colector, dato importante para realizar la dosificación de nutrientes.

- Acondicionamiento de la información

La información ingresada por el usuario es analizada por el microcontrolador el cual permite enviar señales digitales de encendido o apagado a los actuadores.

- Presentación la información

Finalmente se presenta la información adquirida por los sensores mediante de un HMI y una pantalla LCD.

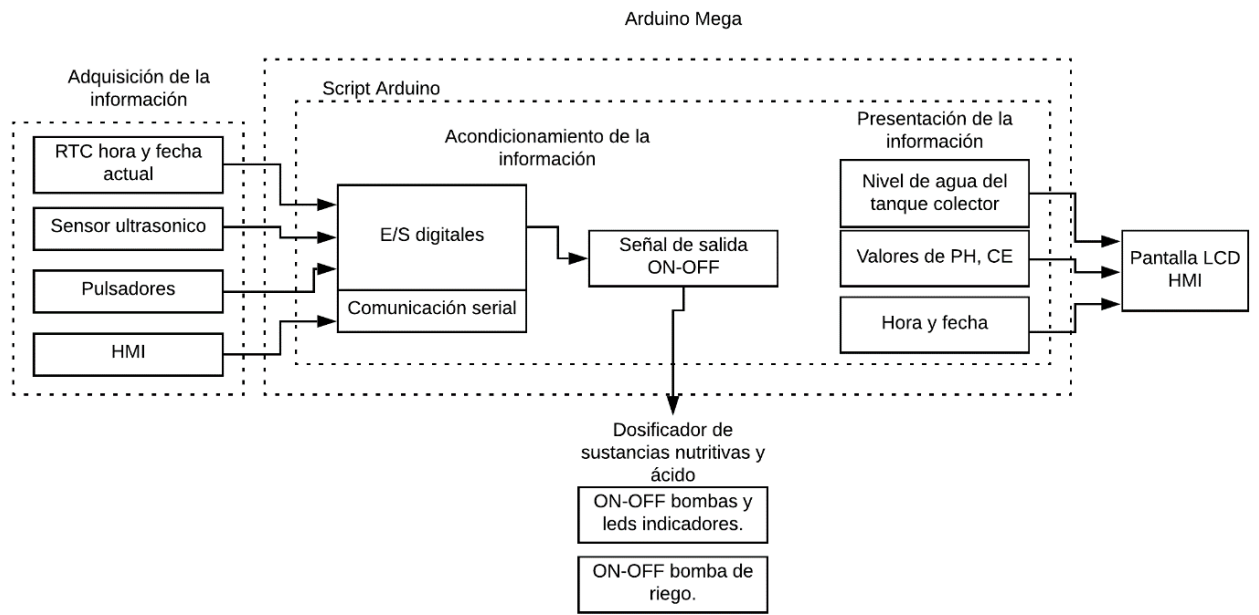


Figura 16. Diagrama de bloques del sistema.

Capítulo 4

Implementación y pruebas

En el presente capítulo, se demuestra el funcionamiento del dosificador de sustancias nutritivas y ácido mediante la implementación de un módulo de cultivo hidropónico el cual permitió realizar la adición de nutrientes y verificar el crecimiento de las plantas.

3.1 Hardware

Una vez definidos los componentes para el sistema de riego y sistema de dosificación, se procedió a su implementación en un módulo de cultivo hidropónico NFT, el cual permitió realizar pruebas de funcionamiento.

El módulo de cultivo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** constó de seis tubos PVC de 72 cm. Cada tubo mantenía una pendiente del 2% que le permitía recircular y mantener una pequeña lámina de agua con nutrientes, además cada tubería contiene tres agujeros de 53,9 mm de diámetro con separaciones de 18 cm en los cuales se colocan las plantas. Para almacenar el tanque colector y los tres recipientes el módulo dispone de un gabinete, el cual brinda un recubrimiento contra el sol y evita el crecimiento de algas que podrían contaminar la solución nutritiva

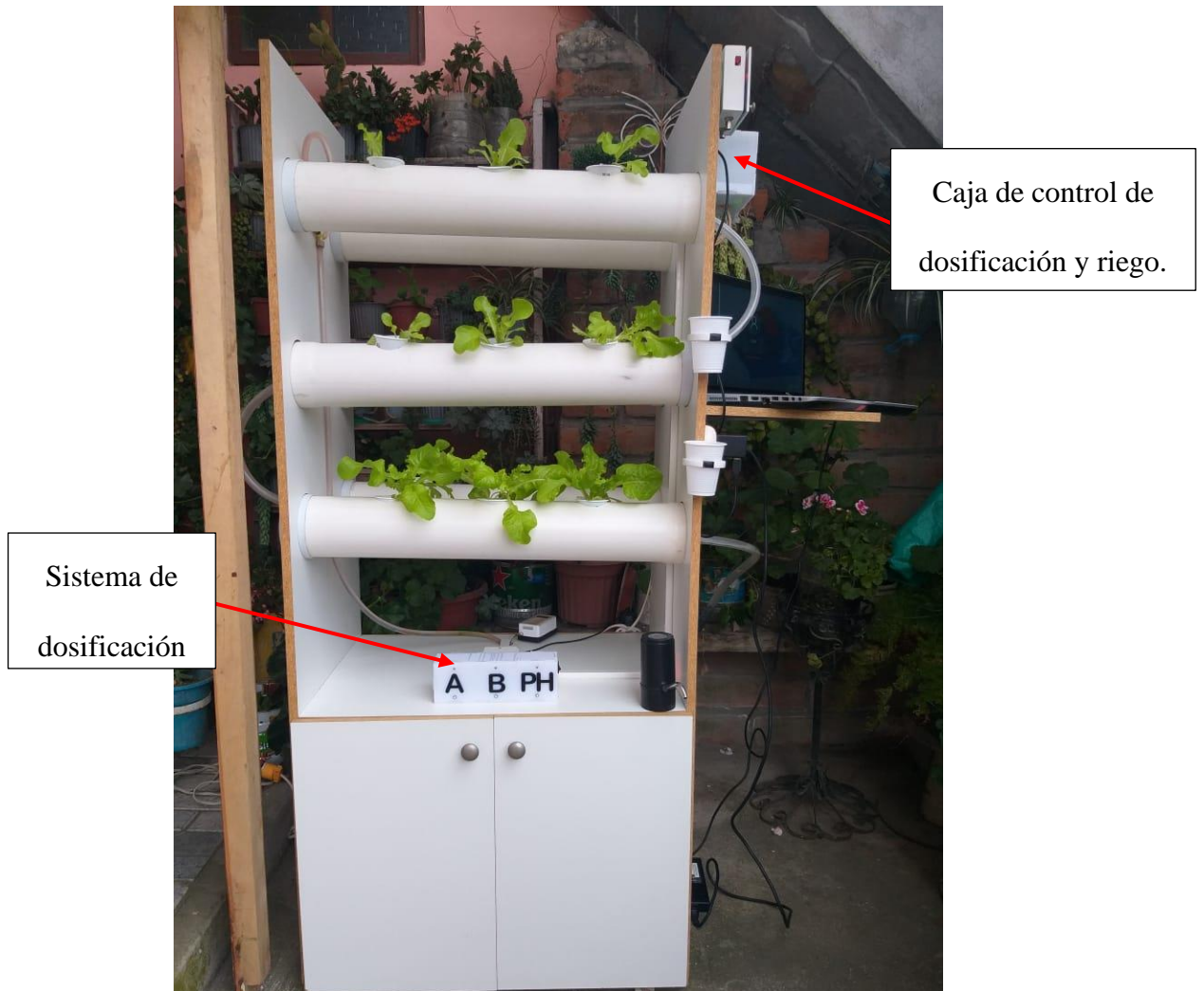


Figura 17. Módulo de cultivo hidropónico NFT.

3.1.1 Implementación del sistema de dosificación de sustancias nutritivas y ácido.

Inicialmente se procede a instalar el sistema de dosificación que se indica en la Figura 18, el dispositivo cuenta con tres bombas las cuales tienen dos conectores, el primero conectado mediante mangueras a los recipientes de sustancia A, B, ácido y el segundo conectado al tanque colector.

El sistema de dosificación cuenta con conectores hembra que le permite enlazarse fácilmente a la caja de control que se muestra en la Figura 19. Caja de control del sistema

de riego y dosificación., en la cual se encuentra el microcontrolador arduino, el sistema de riego, los relés de activación de las bombas de dosificación y recirculación de nutrientes. Además, permite visualizar la cantidad de agua del tanque colector y los datos de pH y CE.

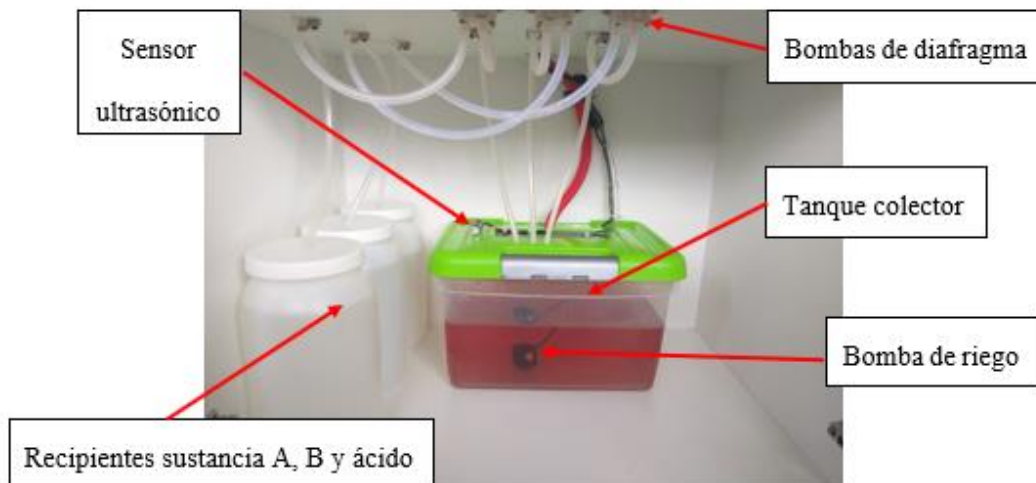


Figura 18. Sistema de dosificación de nutrientes y ácido.



Figura 19. Caja de control del sistema de riego y dosificación.

3.2 Software

El algoritmo de programación de la *Figura 15* implementado en el microcontrolador arduino y el sistema HMI de la

Figura 20 permite:

1. Controlar el sistema de dosificación mediante un HMI, donde el usuario coloca la cantidad de sustancia nutritiva A o B que desea añadir al tanque colector y al presionar el botón dosificar el algoritmo implementado en la tarjeta arduino medirá el nivel del tanque colector para calcular la cantidad de nutriente A o B que se va a dosificar.

El sistema HMI se basa en el envío y recepción de datos por medio de comunicación serial entre el computador y el microprocesador arduino donde el usuario del dosificador puede visualizar el comportamiento de los parámetros siguientes:

2. Nivel del tanque colector
3. Nivel de pH y CE.

De igual forma el usuario coloca los sensores de pH o CE en los recipientes de medición permitiéndole observar el comportamiento químico del agua. Si se observa que el nivel de pH es ácido o alcalino podrá ejecutar una acción de control para disminuir o aumentar el nivel de pH.

El sistema HMI cuenta con protecciones que bloquean la dosificación de sustancia A y B si ya fueron dosificadas en el tanque, evitando así la dosificación excesiva de nutrientes.

Para activar nuevamente la dosificación el programa opción **4.** solicitará una contraseña.

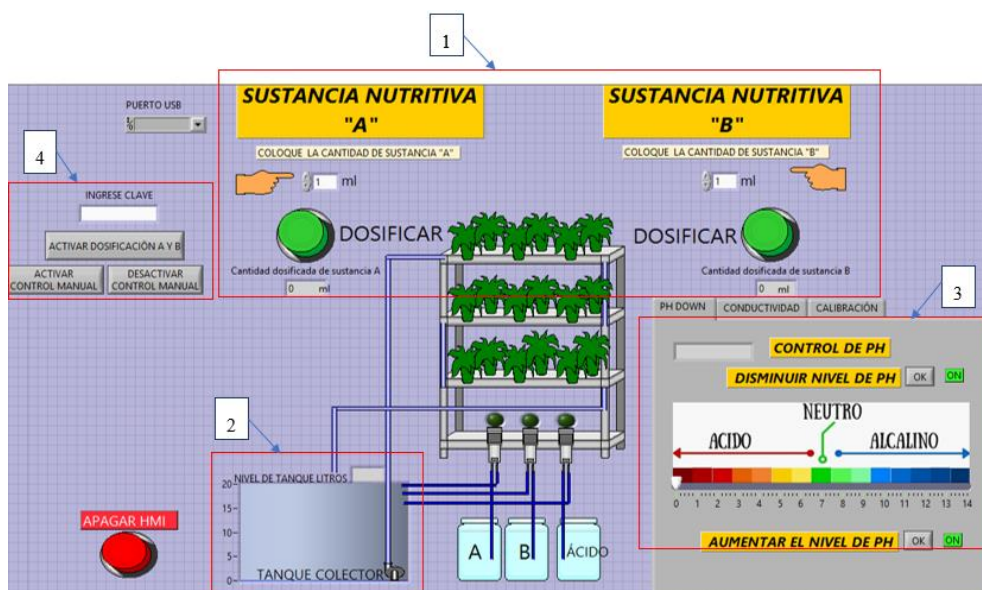


Figura 20. Sistema HMI de dosificación de sustancias nutritivas y ácido.

3.3 Pruebas de funcionamiento del sistema de dosificación.

Con el sistema de dosificación implementado (hardware y software) se procedió a realizar las pruebas de campo para calibrar y validar su funcionamiento.

3.3.1 Prueba del sensor ultrasónico para el control de nivel de agua.

En esta sección se demuestra el funcionamiento y la calibración del sensor ultrasónico, componente esencial para realizar los cálculos de dosificación. La primera prueba de medición se realizó colocando el sensor en la posición cero de una cinta métrica y un objeto a 10 cm de distancia del origen es así como se pudo visualizar que el sensor detecto el objeto y mostro por pantalla el valor medido como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Calibración y pruebas del sensor ultrasónico 10cm.

Para obtener la altura del tanque colector se procede a medir la distancia desde la tapa del tanque hasta su base completamente vacío.

La medida obtenida fue de 20 cm como se muestra en la Figura 22, por lo tanto, en la programación del nivel de agua se colocó que, si el nivel del sensor ultrasónico es mayor o igual a 20cm muestre en la pantalla lcd y en el HMI un valor de cero, es decir que el tanque colector se encuentra vacío, caso contrario si el valor del sensor es menor se resta los 20cm obteniendo la cantidad de litros disponibles en el tanque.

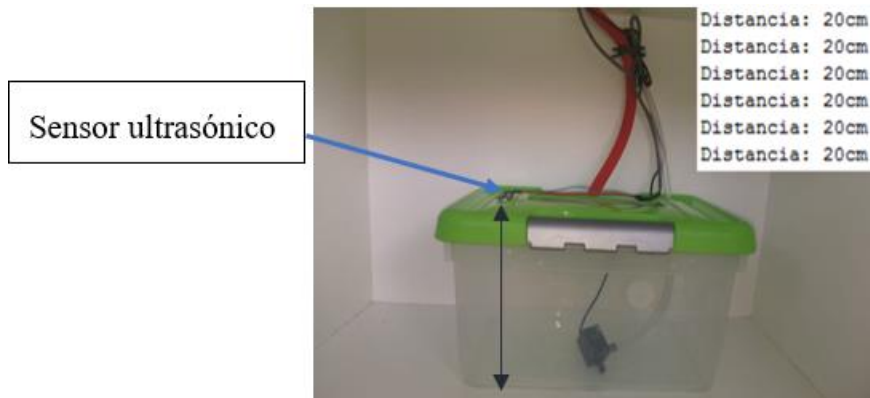


Figura 22. Distancia entre la tapa del tanque colector hasta su base.

Al realizar diferentes mediciones se pudo observar que el sensor brinda medidas equivalentes al nivel de agua disponible en el tanque colector hasta los tres litros. A partir de esta medición los valores fueron erróneos debido a que el recipiente no tiene sus paredes laterales completamente verticales es por ello que se realizó una calibración para lograr obtener mediciones exactas con respecto al nivel de agua.

Los valores obtenidos de las mediciones se observan en la Figura 23, en la cual se puede observar la medida en litros del tanque colector con respecto a las medidas obtenidas por el puerto serial del microcontrolador y expuesta en la caja de control de la Figura 19.

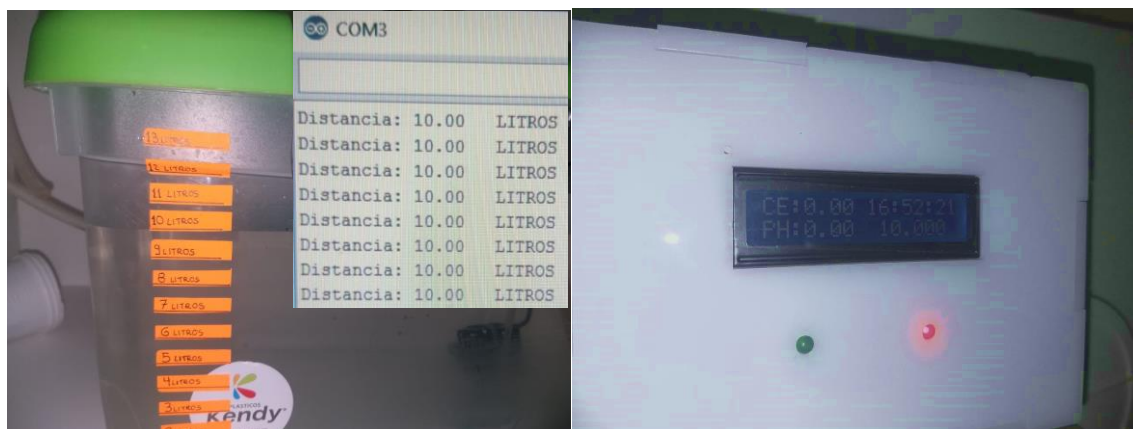

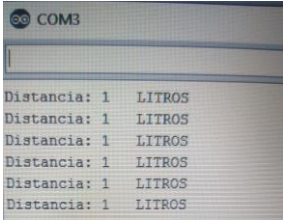

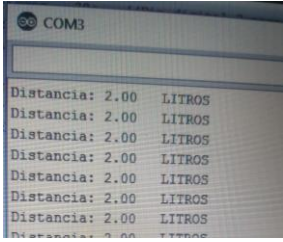

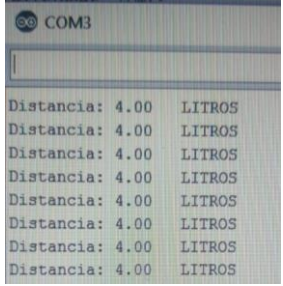
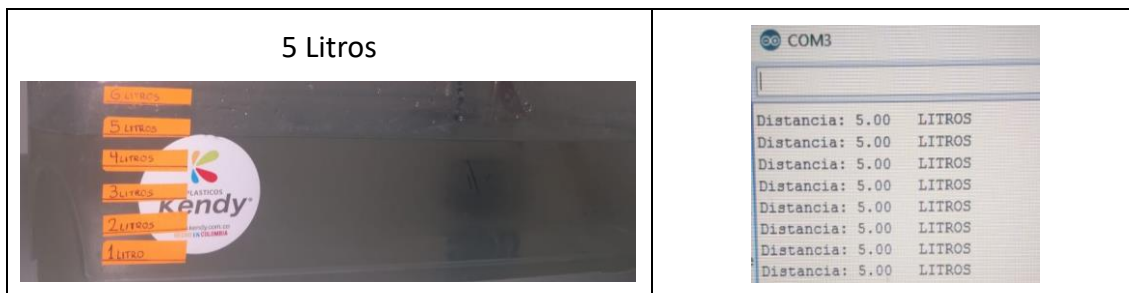


Figura 23. Pruebas de funcionamiento del sensor ultrasónico con 10 litros de agua.

La Tabla 8 muestra las mediciones realizadas con diferentes niveles de agua en el tanque colector.

Tabla 8. Mediciones del nivel de agua con el sensor ultrasónico.

| Litros en el tanque colector | Distancia medida por el sensor |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">1 Litro</p>  |  |
| <p style="text-align: center;">2 Litros</p>  |  |
| <p style="text-align: center;">4 Litros</p>  |  |



3.3.2 Pruebas de dosificación de las bombas A, B y ácido.

De igual manera se realizaron pruebas de dosificación para las bombas, mismas que fueron nombradas como: bomba A (sustancia nutritiva A), bomba B (sustancia nutritiva B) y bomba pH (sustancia ácida)

Inicialmente se procedió a medir la cantidad de líquido que es capaz de dosificar cada una de las bombas en un segundo, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 9.

El promedio obtenido de las mediciones permitió programar y calibrar el caudal a la cual la bomba dosifica cada una de las sustancias.

Tabla 9. Caudal dosificado en 1 s de las bombas A y B.

| | BOMBA A ml/s | BOMBA B ml/s |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| Cantidad dosificada | 33 | 31,5 |
| | 32 | 31 |
| | 32,4 | 31,2 |
| | 33 | 31,4 |
| | 33 | 32 |
| | 33,3 | 31,3 |
| | 33,1 | 31,3 |
| | Promedio | 32,8 |

El valor promedio de las mediciones se utilizó para la programación y calibración del caudal que suministra las bombas A y B.

Para las pruebas de dosificación de ácido se utilizó modulación por ancho de pulsos, controlando el voltaje por medio de un transistor tip31C, sus especificaciones se muestran en el Anexo 5 este método permite variar y controlar el caudal de dosificación.

La Tabla 10 muestra las cantidades de sustancia ácida dosificada con un porcentaje de 100% de ancho de pulsos PWM con un tiempo de referencia de 700 ms que fueron tomados de manera heurística debido a que entre mayor sea el tiempo de activación, mayor caudal de dosificación.

Para el desarrollo de este proyecto se necesitan pequeñas cantidades de ácido cítrico para controlar el nivel de pH por lo tanto el caudal de dosificación debe ser calibrado dependiendo del tipo de ácido y su composición.

Tabla 10. Pruebas de dosificación de ácido en 700ms.

| BOMBA C (ácido) 100% PWM | |
|-----------------------------|--------|
| | 1,1 ml |
| | 1 ml |
| | 1,2 ml |
| | 1,2 ml |
| | 1 ml |
| Promedio | 1,1 ml |

Una vez calibrada cada una de las bombas, se realizaron dosificaciones con diferentes cantidades de sustancia nutritivas y nivel de agua en el tanque colector obteniendo los resultados de la Tabla 11 (bomba A) y la Tabla 12 (bomba B).

Tabla 11. Valores de dosificación con un caudal de la bomba A de 32.8ml/s.

| | Cantidad de sustancia Nutritiva (ml) | Nivel de agua (lt) | Cantidad calculada (ml) | Cantidad dosificada (ml) | Error de dosificación (ml) |
|---------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|---|----------------------------|
| Bomba A | 10 | 5 | 50 | 50,2 49 50 50,2 Promedio 49.9 | 0,1 |
| | 5 | 5 | 25 | 26 26,1 26 26,2 Promedio 26,1 | 1,1 |

Tabla 12. Valores de dosificación con un caudal de la bomba B de 31.4ml/s.

| Bomba B | Cantidad de sustancia | Nivel de agua | Cantidad calculada | Cantidad dosificada | Error de dosificación |
|---------|-----------------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
|---------|-----------------------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------------|

| | Nutritiva (ml) | (lt) | (ml) | (ml) | (ml) |
|--|-------------------|------|------|---|------|
| | 8 | 5 | 40 | 40 41 41,2 40,2 Promedio 40.6 | 0,6 |
| | 5 | 5 | 25 | 25,2 25,1 25 25,2 Promedio 25,1 | 0,1 |

En base a los resultados obtenidos de las dosificaciones se pudo observar que existen pequeños errores de dosificación los cuales fueron analizados por el especialista en hidroponía llegando a la conclusión de que no afectan al cultivo.

3.4 Análisis de resultados del cultivo hidropónico implementado.

Para demostrar el funcionamiento del sistema de dosificación se realizó un experimento de siembra el cual consistió en cultivar 18 plantas de lechuga de la variedad crespita, el motivo por el cual se utilizó esta variedad de hortalizas se debe al bajo consumo de agua con nutrientes y a su crecimiento rápido.

El sistema de cultivo se lo realizó por etapas las cuales se detallan a continuación:

Etapas 1. Siembra y dosificación de sustancias nutritivas A y B.

Se procede a sembrar las plántulas de lechuga crespa de 3 semanas de germinación en los tubos de cultivo utilizando vasos plásticos y una lámina de esponja para sujetar el tallo como se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Siembra de las plántulas de lechuga crespa.

Posterior a ello se realizó la medición de parámetros de pH y CE del agua potable antes de realizar la dosificación de nutrientes [39], los rangos de pH del agua potable obtenidos no son óptimos para añadir los nutrientes al tanque colector, estos valores se corrigen añadiendo ácido cítrico para así continuar con la dosificación en 15 litros de agua alcanzando los valores de la Tabla 13. De igual manera el valor de CE obtenido del agua potable es óptima para agregar los nutrientes.

Tabla 13. Dosificación de sustancias nutritivas en 15lt de agua.

| Valores iniciales del agua potable | Valores luego de dosificar 1.5 ml de ácido | Cantidad de sustancia A dosificada 5ml por litro en el tanque colector. | Cantidad de sustancia B dosificada 3ml por litro en el tanque colector. | Valores de pH obtenidos |
|------------------------------------|--|--|--|-------------------------|
| pH 7.3 CE 0.3 ms/cm | pH 6.2 | 75 ml | 45 ml | pH 6.5 CE 1.6 ms/cm |

Los valores obtenidos luego de realizar la adición de nutrientes se encuentran en un rango óptimo para el crecimiento de las plantas tal como se detalló en el capítulo 2 sección 2.4.

Luego de controlar y añadir los nutrientes al sistema se activó el sistema de riego que consiste en activar automáticamente la bomba de riego 25 minutos cada hora empezando desde las 6 am hasta las 7 pm.

Durante todo el periodo de cultivo se logró mantener con vida a las plantas de lechuga. El comportamiento en el sistema hidropónico en la primera semana fue satisfactorio como se muestra en la Figura 25, donde se puede observar un crecimiento de las primeras hojas.



(a)

(b)

Figura 25. Cultivo primer día (a) a semana 1(b).

Etapa 2. Mediciones y correcciones del agua con nutrientes.

En el transcurso de las semanas se realizaron mediciones de pH y CE que se muestran en la Tabla 14, las cuales permitieron verificar el estado del agua con nutrientes en el tanque colector, obteniendo valores adecuados para continuar con el cultivo.

Tabla 14. Mediciones semanales de pH y CE en el sistema hidropónico NFT.

| SEMANA | FECHA | pH | CE |
|--------|------------|------|------|
| 1 | 15-01-2020 | 6.1 | 1.7 |
| 2 | 20-01-2020 | 6.92 | 1.68 |
| 3 | 30-01-2020 | 7.42 | 1.33 |
| 4 | 05-02-2020 | 7.89 | 1.1 |
| 5 | 12-02-2020 | 5.73 | 1.64 |
| 6 | 19-02-2020 | 7.09 | 1.53 |

En la segunda semana se observó un acumulación de sales en el fondo del tanque colector por lo cual la (FAO) recomienda cambiar la solución nutritiva debido a la acumulación de sales en las raíces de las plantas, es por ello que se cambió la solución nutritiva colocando otra con los mismos valores iniciales de dosificación de la etapa 1, evitando contaminación y daños al cultivo.

En la segunda y tercera semana de cultivo se pudo evidenciar el desarrollo y crecimiento de nuevas hojas en algunas lechugas las cuales se muestra en la Figura 26.



(a)

(b)

Figura 26. Cultivo semana 2 (a), semana 3 (b).

En la tercera y cuarta semana de cultivo al realizar las mediciones de pH y CE se observó niveles de pH elevados como se observa en la Tabla 14. Mediciones semanales de pH y CE en el sistema hidropónico NFT., por lo tanto, se los controló mediante el sistema HMI, dosificando pequeñas cantidades de ácido cítrico logrando alcanzar niveles adecuados para el cultivo.

La Tabla 15, muestra los valores obtenidos al dosificar sustancia ácida en el tanque colector.

Tabla 15. Dosificación de ácido en la tercera y cuarta semana de cultivo.

| Semana | Valor inicial de PH | Cantidad dosificada | Valor obtenido |
|---------|---------------------|---------------------|----------------|
| Tercera | 7,42 | 1,5ml | 6,5 |
| Cuarta | 7,89 | 2ml | 6,7 |

En la cuarta y quinta semana se observó un crecimiento de las hojas y tallos del cultivo las cuales se muestran en la Figura 27. De igual forma se evidencio una disminución de los valores de pH de 6.7 de la semana cuatro a 5.73 a la quinta semana, estos niveles muestran que la disposición de los nutrientes sigue en un rango óptimo para el cultivo.

De igual forma el nivel de CE se incrementó de 1.1 a 1.64 rangos que no son perjudiciales para el cultivo.



(a)

(b)

Figura 27. Cultivo semana 4 (a), semana 5 (b).

Finalmente, con 6 semanas de cultivo se obtuvo una producción de lechugas como se muestra en la Figura 28 para lo cual se utilizó los recursos de la Tabla 16.

Tabla 16. Recursos utilizados para el cultivo de lechuga crespa

| RECURSOS | CANTIDAD |
|-----------------------|-----------|
| Agua | 30 litros |
| NUTRIENTES | |
| Sustancia nutritiva A | 150 ml |
| Sustancia nutritiva B | 90 ml |
| Ácido cítrico | 5 ml |



Figura 28. Producción de lechuga cresa en 6 semanas de cultivo aplicando del sistema de dosificación de nutrientes y ácido.

3.5 Análisis de costos.

Para la fabricación del sistema de dosificación y el módulo hidropónico se utilizaron los recursos con sus respectivos costos detallados en la Tabla 17.

Tabla 17. Descripción de precios para la fabricación del sistema de dosificación y modulo hidropónico.

| Sistema Eléctrico | | |
|--------------------------|-------------------|-------|
| Unidad | Descripción | Costo |
| 6 | Cable gemelo 2*16 | 3,60 |
| 1 | Toma triple | 1,50 |
| 1 | Toma doble | 1,50 |
| 1 | Enchufe | 1,00 |

| | | |
|---|-----------------------|----------------|
| 1 | Canaleta | 2,50 |
| 1 | Accesorio de canaleta | 0,50 |
| 1 | Bomba 12v | 15,00 |
| 1 | Fuente 12V 1A | 4,00 |
| 1 | Dispensador de agua | 15,00 |
| | Total | \$44,60 |

| Sistema de dosificación | | |
|--------------------------------|----------------------------|--------|
| Unidad | Descripción | Precio |
| 3 | Bombas de diafragma 12V | 22,50 |
| 1 | Arduino mega | 15,00 |
| 1 | Modulo rtc | 3,00 |
| 1 | relé mecánico de 4 canales | 7,00 |
| 1 | Baquelita 10*10 cm | 1,50 |
| 1 | Cloruro férrico | 1,00 |
| 12 | Borneras dobles | 3,00 |
| 9 | Resistencias | 1,35 |
| 6 | leds | 1,20 |
| 3 | Pulsadores | 0,75 |
| 2 | Interruptores | 1,00 |
| 1 | Pantalla lcd | 5,50 |
| 5 | Espadines | 2,00 |
| 1 | Transistor tip31c | 1,75 |
| 6 | Metros cable utp flexible | 4,80 |
| 5 | Conectores hembra macho | 1,50 |
| 3 | Metros estaño | 2,40 |
| 1 | Acrilito 30*60cm | 10,00 |

| | | |
|-------------------|--|-----------------|
| 1 | Corte laser | 10,00 |
| | Total | \$95,25 |
| Estructura | | |
| Unidad | Descripción | Precio |
| 2 | Tubos 4 pulgadas | 11,00 |
| 12 | Tapones 4 pulgadas | 23,30 |
| 10 | Metros de mangueras 7mm y ½ pulgada | 7,03 |
| 1 | Te 7mm de diámetro | 0,90 |
| 1 | Pega tubo | 2,00 |
| 1 | Silicona | 2,50 |
| 3 | Recipientes 3lt | 9,30 |
| 1 | Tanque colector | 6,00 |
| 1 | Juego sacabocados | 5,00 |
| 1 | Modulo hidropónico mdf | 95,00 |
| | Total | \$162,03 |

La inversión total entre el sistema de dosificación y el módulo hidropónico da un total de \$ 301,88. Obteniendo un modelo funcional que cumplió con las pruebas de funcionamiento.

El valor de fabricación del sistema de dosificación de sustancias nutritivas y ácido cítrico a comparación con equipos existentes en el mercado resulta ser económico y funcional debido a que no solo se puede usar con el módulo realizado en este trabajo si no que se puede implementar para futuros cultivos con mayor densidad de plantas logrando recuperar su inversión.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo se describen las conclusiones obtenidas del diseño del módulo hidropónico NFT, implementación y pruebas del sistema de dosificación de sustancias nutritivas y ácido, además las recomendaciones que se pueden aplicar en el mejoramiento del sistema a futuro.

4.1 Conclusiones

- Mediante la investigación realizada en el capítulo 2 se logró obtener los parámetros de diseño del dosificador de sustancias nutritivas y ácido cítrico.
- Se obtuvo un sistema de dosificación eficiente tanto en hardware como en software en comparación con equipos existentes en el mercado, permitiendo al usuario sobrellevar su cultivo.
- La tarjeta de control implementada en el sistema de dosificación permitió realizar la programación y conexión adecuada de los dispositivos del sistema de dosificación y riego.
- El sistema de dosificación funciona correctamente en un ambiente abierto donde existen factores como el sol y el polvo, donde el sistema no se ve afectado y permitió obtener un cultivo de hortalizas en el transcurso de seis semanas.
- El sistema de dosificación de ácido permitió controlar los niveles altos de pH logrando obtener valores de entre 6 a 7 los cuales son adecuados para el crecimiento del cultivo.
- El sistema de dosificación de sustancias nutritivas A y B permitió controlar los niveles de pH y CE del agua, alcanzando valores óptimos para la absorción de las raíces de las plantas.

4.2 Trabajo futuro

Para ampliar y mejorar el funcionamiento del sistema se propone como trabajo a futuro lo siguiente:

- Realizar un sistema de dosificación automático, el cual evite que el agricultor requiera de un ordenador para controlar los diferentes parámetros.

- Implementar un sistema domótico que le permita al agricultor controlar y verificar el cultivo por medio de internet.
- Desarrollar un sistema electrónico que permita controlar el tiempo de riego del sistema dependiendo de la temperatura ambiente y de la cantidad de oxígeno dentro del tanque colector lo cual mejoraría notablemente la calidad del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. R. Carsten, «Automatización de un cultivo Hidropónico NFT, para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito,» Quito, 2017.
- [2] S. A. I. SANCHEZ, «AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA NFT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS”,» LIMA_PERU, 2013.

- [3] Medlineplus, «Medlineplus información de salud para usted,» 08 05 2019. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002478.htm>.
- [4] P. A. Europe, «Prosystem Aqua,» 27 05 2019. [En línea]. Available: <http://www.prosystemaqua.com/index.php>.
- [5] D. G. José Beltrano, Cultivo en hidroponía, Buenos Aires, Argentina: Edulp, 2015.
- [6] M. Diansari, «PENGATURAN SUHU, KELEMBABAN, WAKTU PEMBERIAN NUTRISI DAN WAKTU PEMBUANGAN,» Indonesia, 2007-2008.
- [7] O. W. E. D. W. Dania Eridani, «Automation System of a Prototype Scaled Nutrient Film Technique (NFT),» Semarang, Indonesia, 2017.
- [8] Intagri, «Intagri,» [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>. [Último acceso: 13 12 2019].
- [9] Generacionverde, «Generacionverde,» [En línea]. Available: <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos>. [Último acceso: 13 12 2019].
- [10] A. J. Soria Carlos, Cultivo sin suelo de hortalizas, Valencia: GENERALITAT VALENCIANA, 2002.

- [11] «Ministerio de agricultura, ganaderia, acuacultura y pesca,» 16 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/se-promueve-cultivo-hidroponico-de-frutilla/>. [Último acceso: 08 12 2019].
- [12] E. telegrafo, «El telegrafo,» 21 05 2016. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/la-lechuga-hidroponica-se-obtiene-en-latacunga>. [Último acceso: 08 12 2019].
- [13] L. Hora, «La hora,» 04 09 2019. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102097354/hidroponia-y-salud-en-una-terraza>. [Último acceso: 08 12 2019].
- [14] B. Bugbee, «drcaideronlabs,» 18 05 2001. [En línea]. Available: http://www.drcaideronlabs.com/Publicaciones/Control_De_Variables_Hidroponicas.htm. [Último acceso: 16 12 19].
- [15] M. B. Nelson Zambrano, «Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables,» *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, p. 11, 2014.
- [16] L. A. Cruz Velásquez, «Diseño e implementación de un control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico,» Caldas-Colombia, 2016.
- [17] I. J. Carrasco G, La empresa hidroponica de mediana escala la técnica de la solución nutritiva recircundante NFT, Chile: Universidad de Talca, 1996.

- [18] G. Juan, «ainfo,» [En línea]. Available: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [19] Santyerbasi, «Santyerbasi,» 10 08 2014. [En línea]. Available: <https://www.santyerbasi.com/blog/el-ph-perfecto-para-el-cultivo-de-marihuana/>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [20] A. DICKENS, «Florprohibida,» 28 5 2018. [En línea]. Available: <https://www.florprohibida.com/blog/cuando-como-bajar-ph-agua-riego/>. [Último acceso: 17 09 2020].
- [21] M. Crespo, 2016. [En línea]. Available: <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>. [Último acceso: 18 09 2020].
- [22] raspberrypi, «raspberrypi,» [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: 18 09 2020].
- [23] Allen-Bradley, «Rockwellautomation,» 2019. [En línea]. Available: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Presence-Sensing>. [Último acceso: 17 06 2019].
- [24] AVelectronics, «AVelectronics,» 2020. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sharp-gp2y0a21yk0f-analog-distance-sensor-10-80cm/>. [Último acceso: 18 09 2020].

- [25] M. Libre, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-420464811-bomba-peristaltica-12vdc-dosificadora-proyectos-arduino-_JM?quantity=1. [Último acceso: 15 06 2019].
- [26] Quiminet, «quiminet,» 01 12 2008. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/principio-del-funcionamiento-de-las-bombas-peristalticas-32722.htm>. [Último acceso: 17 12 2019].
- [27] Rambal, «Rambal automatización y robotica.,» [En línea]. Available: <https://rambal.com/bomba-valvula-solenoides/694-bomba-de-diafragma-6-12v-dc-r385.html>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [28] Z. Wendt, «Arrow,» 31 05 2017. [En línea]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/crydom-solid-state-relays-vs-electromechanical-relays>. [Último acceso: 16 06 2019].
- [29] L. Llamas, «Luisllamas,» 22 12 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-rele-estado-solido-ssr/>. [Último acceso: 18 09 2020].
- [30] aveelectronics, «aveelectronics,» [En línea]. Available: <https://aveelectronics.cc/producto/modulo-rele-estado-solido-4-canales/>. [Último acceso: 08 10 2020].

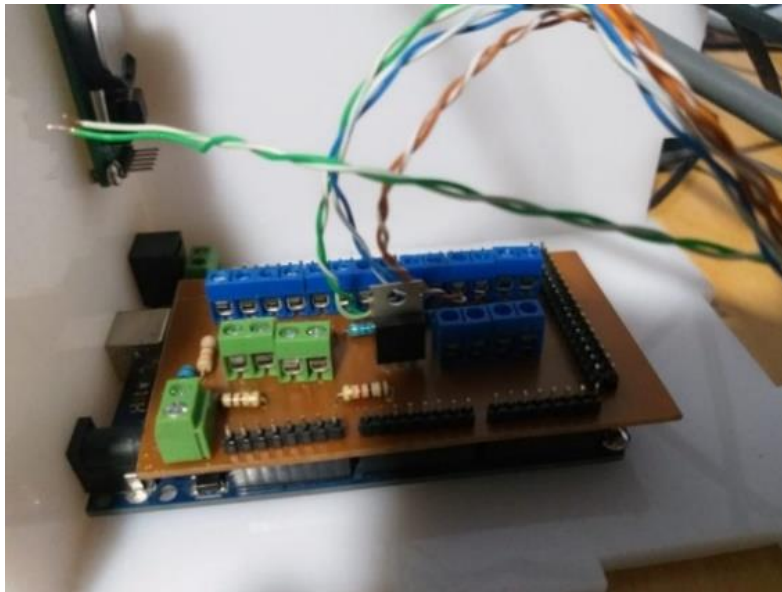
- [31] electrotekmega, «electrotekmega comercio electronico,» 2014. [En línea]. Available: <http://electrotekmega.com/producto/modulo-rele-de-4-canales/>. [Último acceso: 16 06 2019].
- [32] L. Arduino, «Libre arduino,» 28 01 2014. [En línea]. Available: <https://librearduino.blogspot.com/2014/01/rtc-arduino-modulo-reloj-tiempo-real-tutorial.html>. [Último acceso: 18 12 2019].
- [33] naylampmechatronics, «naylampmechatronics,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/52_tutorial-rtc-ds1307-y-eprom-at24c32.html. [Último acceso: 08 10 2020].
- [34] Hepro, «Hepro,» 28 10 2019. [En línea]. Available: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/i2c/#:~:text=I2C%20es%20un%20puerto%20y,bits%20entre%20%20dispositivos%20digitales.&text=Además%20el%20protocolo%20permite%20conectar,400%20y%201000%20kbits%20Fs>. [Último acceso: 08 10 2020].
- [35] tostatronic, «tostatronic,» [En línea]. Available: <https://tostatronic.com/store/es/motores/774-bomba-de-agua-sumergible-12v-240lh.html>. [Último acceso: 08 10 2020].
- [36] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Decdeal-Ultrasilencioso-Impermeable-Sumergible-Circulación/dp/B07B49VKJH/ref=zg_bs_5940301031_3?_encoding=UTF8&refRID=ER7DBH7Y2F9F9SRPG382&th=1. [Último acceso: 08 10 2020].

- [37] Geekfactory, «geekfactory,» 12 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/pantalla-lcd-16x2-con-arduino/>. [Último acceso: 08 10 2020].
- [38] Marketingscientec, 24 09 2016. [En línea]. Available: <https://www.scientec.com.mx/labview/>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [39] A. DICKENS, «florprohibida,» 28 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.florprohibida.com/blog/cuando-como-bajar-ph-agua-riego/>. [Último acceso: 05 04 2020].
- [40] VERDEGEN, 08 04 2017. [En línea]. Available: <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos>. [Último acceso: 24 07 2019].
- [41] BlueLab, «BlueLab success by simplicity,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.getbluelab.com/shop/By+Application/Aquaculture/Pro-Controller.html>. [Último acceso: 14 06 2019].
- [42] Prosystem, «Prosystem aqua,» [En línea]. Available: <http://www.prosystemaqua.com/hydroponic-system-computer.php>. [Último acceso: 13 06 2019].
- [43] P. R. V., «Diseño de interfaces hombre máquina,» [En línea]. Available: <http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/619/620/621/3620.pdf>. [Último acceso: 11 12 2019].

- [44] Electronilab, «Electronilab,» 25 07 2019. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/sensor-analogico-de-ph-de-0-14/>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [45] G. Imagenes. [En línea]. Available: <https://www.google.com/search?hl=es&tbm=isch&source=hp&biw=1205&bih=569&ei=jUsFXfnhM-7U5gL0xqXICw&q=electrovalvulas+plastico&oq=electrovalvulas>. [Último acceso: 15 06 2019].
- [46] Altec, «Altec Alta Tecnología de Vanguardia,» 14 06 2019. [En línea]. Available: <https://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>.
- [47] U. S. Tomás, «Repository usta,» [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4715/Anexo%201%20Mantenimiento%20Válvula.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Último acceso: 14 06 2019].
- [48] M. electronics, «arduino CL,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/arduino-nano/>. [Último acceso: 17 06 2019].
- [49] W. Fox, «Todo Electrodo,» 10 02 2013. [En línea]. Available: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>. [Último acceso: 29 01 2020].
- [50] Dfrobot, «dfrobot drive the future,» [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1123.html>. [Último acceso: 25 07 2019].

[51] V. Generadores, «Venta generadores,» 05 04 2016. [En línea]. Available: <http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/>. [Último acceso: 18 12 2019].

ANEXOS



Anexo 1. Shield de conexiones para arduino mega.



Anexo 2. perforación de tuberías para el sistema NFT.



Anexo 3. Mecanizado CNC para módulo de cultivo NFT.



Anexo 4. Ensamblaje del módulo de cultivo NFT.



TIGER ELECTRONIC CO.,LTD

Product specification

Complementary Silicon Power Transistors

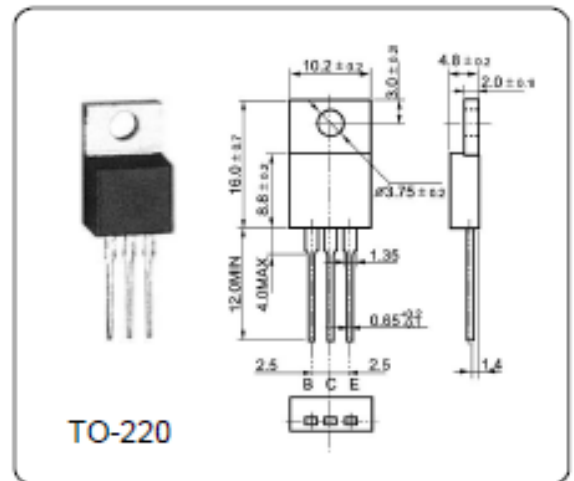
TIP31C / TIP32C

DESCRIPTION

It is intended for use in power amplifier and switching applications.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25 °C)

| Parameter | Symbol | Value | Unit |
|-------------------------------------|-----------|---------|------|
| Collector-Base Voltage | V_{CBO} | 100 | V |
| Collector-Emitter Voltage | V_{CEO} | 100 | V |
| Emitter-Base Voltage | V_{EBO} | 5 | V |
| Collector Current | I_C | 3.0 | A |
| Base Current | I_B | 1.0 | A |
| Total Dissipation at | P_{tot} | 40 | W |
| Max. Operating Junction Temperature | T_J | 150 | °C |
| Storage Temperature | T_{stg} | -55~150 | °C |



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25 °C)

| Parameter | Symbol | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|--------------------------------------|---------------|-------------------------|------|------|------|------|
| Collector Cut-off Current | I_{CEO} | $V_{CB}=100V, I_E=0$ | | | 0.3 | mA |
| Emitter Cut-off Current | I_{EBO} | $V_{EB}=5V, I_C=0$ | | | 1.0 | mA |
| Collector-Emitter Sustaining Voltage | V_{CEO} | $I_C=30mA, I_B=0$ | 100 | | | V |
| DC Current Gain | $h_{FE(1)}$ | $V_{CE}=4V, I_C=1.0A$ | 25 | | | |
| | $h_{FE(2)}$ | $V_{CE}=4V, I_C=3.0A$ | 10 | | 50 | |
| Collector-Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(sat)}$ | $I_C=3A, I_B=300mA$ | | | 1.2 | V |
| Base-Emitter Saturation Voltage | $V_{BE(sat)}$ | $V_{CE}=4V, I_C=3.0A$ | | | 1.8 | V |
| Current Gain Bandwidth Product | f_T | $V_{CE}=10V, I_C=500mA$ | 3 | | | MHz |