



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA

ECUADOR

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO
PARA ZONAS URBANAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Teddy Alexis Alcivar Moncayo

Carlos Julio Ibujés Coronel

TUTOR: Nino Tello Vega Ureta

A handwritten signature in blue ink, followed by the date '07/09/2023' written in blue ink.

Guayaquil - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Teddy Alexis Alcivar Moncayo** con documento de identificación N° 0931575351 y **Carlos Julio Ibijés Coronel** con documento de identificación N° 0951252741; manifestamos que:

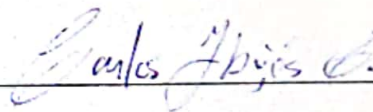
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 6 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Teddy Alexis Alcivar Moncayo
0931575351



Carlos Julio Ibijés Coronel
0951252741

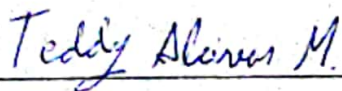
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Teddy Alexis Alcivar Moncayo** con documento de identificación N° 0931575351 y **Carlos Julio Ibujés Coronel** con documento de identificación N° 0951252741, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO PARA ZONAS URBANAS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

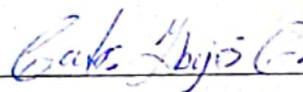
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 5 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Teddy Alexis Alcivar Moncayo
0931575351



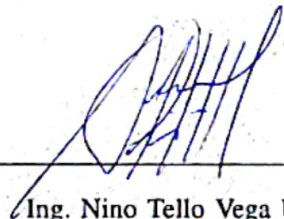
Carlos Julio Ibujés Coronel
0951252741

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nino Tello Vega Ureta**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO PARA ZONAS URBANA**, realizado por **Teddy Alexis Alcivar Moncayo** con documento de identificación N° **0931575351** y por **Carlos Julio Ibujés Coronel** con documento de identificación N° **0951252741**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Nino Tello Vega Ureta, MSc.
0801602160

DEDICATORIA

Yo, Carlos Julio Ibujés Coronel, con inmenso orgullo y gratitud, presento mi tesis. Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de cada uno de ustedes. A través de las muchas etapas de este arduo viaje, sus palabras de aliento, paciencia y amor han sido mi mayor motivación.

A mi papá, el Ingeniero Civil Carlos Julio Ibujés Ordoñez y a mi mamá, la Señora Sara Eufemia Coronel Correa, quienes han sido mi roca durante toda mi vida, gracias por creer en mí y por su constante aliento. Sus sacrificios y amor incondicional me han dado la fuerza para superar los desafíos y seguir adelante.

A mis dos tías, la Doctora Mariana Esperanza Ibujés Ordoñez y la Arquitecta Georgina Dolores Ibujés Ordoñez, quienes son como segundas madres para mí, siempre he contado con su apoyo incondicional.

A toda mi familia en general, quiero expresarles mi más sincero agradecimiento por brindarme su apoyo y aliento a lo largo de toda mi vida. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mí mismo. A lo largo de este viaje, me he enfrentado a mis propias dudas y miedos, pero también he descubierto una fortaleza interna que nunca supe que tenía. Me he desafiado a crecer, a aprender y a perseguir mis sueños con valentía y determinación. Esta tesis es el testimonio de mi compromiso y perseverancia.

Carlos Julio Ibujés Coronel

A mis amados padres, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios incansables han sido la base de cada logro en mi vida. Su aliento y confianza en mí me han llevado hasta este momento.

A mi querido hermano, tu espontaneidad y tu forma de ver el mundo me han recordado la importancia de la alegría en los pequeños momentos. Estoy ansioso por ver cómo creces y logras tus propios éxitos, siempre estaré aquí para apoyarte.

A mis amigos increíbles, quienes han compartido risas, lágrimas y experiencias inolvidables a lo largo de esta travesía. Su amistad ha sido mi ancla en los mares agitados de la vida universitaria.

A mi compañero de tesis, quien ha demostrado que sobrevivir a un proyecto conjunto es un verdadero test de amistad. Gracias por compartir las noches de café, el estrés controlado y las ideas locas que finalmente dieron forma a este trabajo.

Teddy Alexis Alcivar Moncayo

Resumen

El propósito fundamental de este proyecto consiste en desarrollar un sistema automatizado de irrigación destinado a la optimización de cultivos hidropónicos. Se persigue especialmente la viabilidad de su implementación en entornos urbanos, beneficiándose de su diseño compacto y su estructura de cultivo en disposición vertical, lo cual permite una utilización sumamente eficiente del espacio disponible para la producción vegetal.

Este sistema se caracteriza por su capacidad de recirculación, garantizando la entrega controlada de agua y nutrientes directamente a las plantas. Adicionalmente, integra una red de sensores diseñada para llevar a cabo un monitoreo constante de las condiciones del entorno, en particular la humedad y temperatura del área de cultivo.

En aras de evaluar la eficacia y los beneficios aportados por este sistema, se procedió a llevar a cabo un análisis. Uno de los aspectos centrales de esta evaluación se enfocó en la comparativa del consumo de agua en contraposición con los métodos de cultivo tradicionales. Los resultados obtenidos fueron concluyentes al señalar que, gracias a la implementación de la recirculación de fluidos, las pérdidas hídricas resultaron ser mínimas en comparación con los sistemas convencionales de cultivo.

Palabras claves: PLC, bomba de agua, zonas urbanas, espacio reducido, cultivos.

Abstract

The fundamental purpose of this project is to develop an automated irrigation system designed to optimize hydroponic crops. It specifically aims to assess its viability for implementation in urban environments, benefiting from its compact design and vertically arranged cultivation structure, which allows for highly efficient utilization of available space for plant production.

This system is characterized by its recirculation capability, ensuring controlled delivery of water and nutrients directly to the plants. Additionally, it integrates a network of sensors designed to constantly monitor environmental conditions, particularly humidity and temperature within the cultivation area.

In order to evaluate the effectiveness and benefits provided by this system, an analysis was conducted. One of the central aspects of this evaluation focused on comparing water consumption against traditional cultivation methods. The obtained results were conclusive in indicating that, due to the implementation of fluid recirculation, water losses were minimal compared to conventional cultivation systems.

Keywords: PLC, water pump, urban areas, limited space, crops.

ÍNDICE

I.	Problemática	13
II.	Justificación	14
III.	Objetivos	15
III-A.	Objetivo General	15
III-B.	Objetivos específicos	15
IV.	Marco Teórico	16
IV-A.	Hidroponía	16
IV-A1.	Definición	16
IV-A2.	Historia de la Hidroponía	16
IV-A3.	Ventajas	17
IV-A4.	Desventajas	17
IV-B.	Sistemas Hidropónicos	18
IV-B1.	Sistema NFT	18
IV-B2.	Mecha o Pabilo	18
IV-B3.	Sistemas Raíz flotante	19
IV-B4.	Aeroponía	19
IV-B5.	Sistema Hidropónico de Flujo y Reflujo (Ebb and Flow)	19
IV-B6.	Sistema por Goteo	20
IV-C.	Sistemas de Cultivo en Sustrato	21
IV-C1.	Introducción	21
IV-C2.	Componentes de un Sistema de Cultivo sin Suelo	21
IV-C3.	Componentes Fundamentales:	22
IV-D.	Plantas Óptimas para el Cultivo	23
IV-D1.	Hortalizas de Hojas	23
IV-D2.	Plantas Ornamentales	26
IV-D3.	Cáñamo (Cannabis Sativa)	29
IV-D4.	Vegetales	30
IV-D5.	Frutas	33
IV-E.	Nutrientes	35
IV-E1.	Macronutrientes	35
IV-E2.	Micronutrientes	36
IV-F.	Comparación entre algunos Sistemas de Riego	37
V.	Marco Metodológico	40
V-A.	Tipo de Estudio	40
V-B.	Métodos de Investigación	40
V-C.	Técnicas de Investigación	40
V-D.	Instrumentos de la Investigación	40
V-E.	Procedimiento y Análisis	40
V-F.	Diseño y Cálculos	41
V-F1.	Diseño Hidráulico	41
V-F2.	Cálculo de la Bomba Principal	41
V-F3.	Cálculo de la Bomba Dosificadora de Nutrientes	43
V-F4.	Diseño Eléctrico	43
V-F5.	Diagrama Eléctrico	46
V-F6.	Diseño Estructural	47

	V-F7.	Diseño del Soporte	47
	V-F8.	Diseño del Gabinete	47
	V-F9.	Distribución de Macetas	47
	V-F10.	Soporte para Plantas	49
	V-F11.	Diseño del Circuito del ARDUINO	50
V-G.		Selección de Materiales	51
V-H.		Componentes Eléctricos	51
	V-H1.	PLC	51
	V-H2.	Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A	52
	V-H3.	Breakers	53
	V-H4.	Relés	54
	V-H5.	Selector	54
	V-H6.	Botoneras	55
	V-H7.	Luz Piloto	55
	V-H8.	Botón de Paro de Emergencia	56
V-I.		Componentes Electrónicos	56
	V-I1.	Arduino UNO	56
	V-I2.	Sensor de DHT22	57
	V-I3.	Sensor De Humedad Del Suelo Higrómetro YI-69 + Módulo YI-38	58
	V-I4.	Display LCD 16 X 2 I2C	59
	V-I5.	Cooler	59
	V-I6.	Fuente de Poder de 12 Voltios 10 Amperios	60
	V-I7.	Componentes Hidráulicos	61
	V-I8.	Bomba de Agua Principal	61
	V-I9.	Bomba Dosificadora de Nutrientes	62
V-J.		Implementación	62
	V-J1.	Sistema de Riego	62
	V-J2.	Deposito de Nutrientes	63
V-K.		Programación	64
	V-K1.	Diagrama de Flujo del PLC	64
	V-K2.	Programación PLC	65
	V-K3.	Diagrama de Flujo del Arduino	66
	V-K4.	Programación Arduino	66
V-L.		Requerimientos de Plantas	69
	V-L1.	Menta	69
	V-L2.	Albahaca	69
	V-L3.	Oreganón	70
	V-L4.	Selección de Nutrientes	70
	V-L5.	Selección de Sustrato a Utilizar	71
VI.		Pruebas de Funcionamiento	72
	VI-A.	Pruebas Eléctricas	72
	VI-B.	Pruebas hidráulica	73
	VI-C.	Pruebas Electrónicas	74
	VI-D.	Pruebas de Sensores	75
	VI-E.	Pruebas de Sustrato	76
	VI-F.	Selección de Nutrientes	77

VII. Resultados	78
VII-A. Aprovechamiento de Espacio	78
VII-B. Monitoreo de Parámetros de Cultivo	78
VII-C. Plantas	78
VII-D. Consumo de Agua	79
VII-E. Consumo Eléctrico	79
VIII. Cronograma de Actividades	81
IX. Presupuesto	82
X. Conclusiones	83
XI. Recomendaciones	84
XII. Anexos	85
XII-A. Anexo 1 Diseños Estructural	85
XII-B. Anexo 2 Montaje Eléctrico	89
XII-C. Anexo 3 Montaje Electrónico	90
XII-D. Anexo 4 Funcionamiento Eléctrico	91
XII-E. Anexo 5 Resultado de Crecimiento	92
XII-F. Anexo 6 Prueba de Sensores	95

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Jardines Flotantes de Babilonia	16
2.	Sistema Hidropónico NFT	18
3.	Sistema Hidropónico de Mecha	18
4.	Sistema Hidropónico Raíz Flotante	19
5.	Sistema Hidropónico Aeroponía	19
6.	Sistema Hidropónico de Flujo y Reflujo (Ebb and Flow)	20
7.	Sistema Hidropónico por Goteo	20
8.	Cultivo en Hidroponía	21
9.	Tipos de Sustratos	22
10.	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	23
11.	Espinacas (<i>Spinacia oleracea</i>)	24
12.	Kale (<i>Brassica oleracea</i> var)	24
13.	Acelga (<i>Beta vulgaris</i> var)	25
14.	Menta y albahaca (<i>Mentha</i> y <i>Ocimum basilicum</i>)	25
15.	Pothos (<i>Epipremnum aureum</i>)	26
16.	Filodendro (<i>Philodendron</i>)	27
17.	Helecho de Boston (<i>Nephrolepis exaltata</i>)	27
18.	Dracaena	28
19.	Anturio (<i>Anthurium andraeanum</i>)	28
20.	Cáñamo (<i>Cannabis sativa</i>)	29
21.	Tomates	30
22.	Pepinos	31
23.	Pimientos	31
24.	Berenjenas	32
25.	Espárragos	32
26.	Fresas	33
27.	Frambuesas	34
28.	Arándanos	34
29.	Melones	35
30.	Sandías	35
31.	Sistemas de Riego	39
32.	Diagrama Hidráulico	41
33.	Diagrama Eléctrico	46
34.	Diseño Estructural	47
35.	Distribución de los Soportes	48
36.	Soporte para Plantas	49
37.	Conexión Arduino	50
38.	PLC	51
39.	Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A	52
40.	Arduino	56
41.	Deposito Principal	62
42.	Sistema de Riego Interno	63
43.	Sistema de Riego Interno	63
44.	Diagrama de Flujo del PLC	64
45.	Programa del PLC	65
46.	Diagrama de Flujo del Arduino	66
47.	Directivas	66
48.	Pin Sensor de Humedad	66
49.	Pin Sensor DHT	67

50.	Display	67
51.	Variables	67
52.	Mostrar en Display	67
53.	Rango de Pines	68
54.	Lectura de Datos	68
55.	Pausa de Bucle	68
56.	Menta	69
57.	Albahaca	69
58.	Oreganón	70
59.	Fibra de Coco	71
60.	Pruebas Eléctricas	72
61.	Pruebas Hidráulica	73
62.	Pruebas Eléctricas	74
63.	Lectura del Sensor de Temperatura	75
64.	Lectura de los Sensores de Humedad	75
65.	Fibra de Coco	76
66.	Ácido Fosfórico	77
67.	Solución A+B+C	77
68.	Medición de Tubo para la Construcción del la Torre	85
69.	Construcción de la Torre Finalizada	86
70.	Montaje de Torre y Reservorio	87
71.	Primer Montaje del Sistema	88
72.	Montaje de PLC y Componentes	89
73.	Montaje del Circuito de Sensores del Arduino	90
74.	Pruebas de Funcionamiento	91
75.	Primera Siembra de Hortalizas	92
76.	Siembra Finalizada	93
77.	Analizando Crecimiento de las Plantas	94
78.	Montaje de Sensores	95
79.	Montaje de Sensores	96
80.	Montaje de Fuente para el Arduino	97
81.	Revisión del Sistema	98
82.	Revisión del Sistema	99

I. PROBLEMÁTICA

Gracias al aumento de la población cada vez se busca fabricar casas más compactas para reducir el espacio ocupado, por ese motivo buscan también objetos, muebles, etc... Las personas afines a la agricultura también se han visto afectadas gracias a la limitación de las áreas urbanas, la población ha optado por practicar la agricultura en macetas en las terrazas o balcones. Aquellos que tiene la fortuna de contar con terrenos más espaciosos pueden darse el lujo de tener huertos, jardineras o invernaderos en grandes áreas.

Los sistemas de riegos más populares son: irrigación por gravedad, aspersión y goteo, el principal inconveniente con estos métodos es el brote de maleza en los huertos y el desperdicio de agua; además, el sustrato absorbe una cantidad limitada de agua, el exceso de esta se filtra a capas inferiores y en algunos casos la tierra queda saturado de agua; debido a esta razón se pudre siendo perjudicial para los cultivos.

En las zonas urbanas las personas tienen vidas aceleradas, algunos tienen trabajos lejos de casa y tienen que levantarse temprano para dirigirse a sus respectivos empleos. Después de la jornada laboral cada uno tiene compromisos sociales, sin contar el sobretiempo laboral que algunos tienen que cumplir para obtener un mayor beneficio económico. Al final del día uno retorna a casa para descansar y en muchos casos no deja tiempo ni energía física para cuidar una planta o un pequeño huerto. Por ello los estudiantes universitarios tienen como objetivo mediante la ingeniería solucionar estos inconvenientes.

II. JUSTIFICACIÓN

En busca de mejorar el problema de espacio en la agricultura en áreas urbanas se propone implementar un sistema hidropónico automatizado, con el fin de implementar en sistema espacios reducidos como terrazas, balcones, cuartos y patios.

Con el crecimiento poblacional las zonas urbanas se han expandido y no todas tienen el lujo de poseer un jardín o un espacio amplio para tener un cultivo. Con la finalidad de aprovechar los espacios reducidos, se diseñó una estructura compacta y automatizada que reduce los inconvenientes que se presentan al tener un cultivo urbano.

Cuando se posee plantas en zonas urbanas se suele desperdiciar agua, con las macetas existe necesidad de que se encuentren ubicadas en la proximidad de una fuente de drenaje o que cuenten con un recipiente donde se acumule el agua excedente, este proyecto reutiliza el agua, manteniéndola constante movimiento; gracias a esto no se estanca y como es un sistema cerrado las plagas no pueden depositar sus huevos en ella. Aparte gracias al uso de sensores se podrá medir las condiciones del cultivo y visualizarlas en un Display para llevar un mejor control del cultivo.

En base a lo mencionado se busca aplicar las nuevas tecnologías para el desarrollo de un sistema hidropónico automatizado. Buscando facilitar el trabajo agrícola en las zonas urbanas y mediante la aplicación de ingeniería en control, se planea regular el consumo de agua, medir la temperatura y la humedad del cultivo

III. OBJETIVOS

III-A. Objetivo General

Desarrollar un sistema hidropónico automatizado reduciendo los inconvenientes que presentan los huertos en zonas urbanas, mediante un diseño compacto y un sistema control automatizado.

III-B. Objetivos específicos

- Implementar una estructura de cultivo vertical para el aprovechamiento del espacio reducido teniendo así un mayor número de plantas.
- Implementar sistema de recirculación para suministrar directamente nutrientes a las raíces de las plantas y ahorrar agua y nutrientes.
- Aplicar sistema de sensores para el monitoreo de temperatura y humedad de las plantas.
- Evaluar la eficiencia del sistema en base al desperdicio de agua en comparación de los cultivos tradicionales.

IV. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de un sistema hidropónico automatizado para zonas urbanas, se abordará como tema principal la hidroponía, los tipos de cultivos, sus ventajas, desventajas y el sistema NFT en el cual se basa este proyecto. Además, se mencionará la parte electrónica del sistema, así como el uso de los sensores de electro conductividad, humedad y temperatura.

IV-A. Hidroponía

IV-A1. Definición: El origen de la palabra hidroponía viene del griego “hidro” que significa agua y “ponos” que significa trabajo. Es decir, trabajo en agua. La hidroponía es el arte de cultivar plantas sin el uso de tierra cultivable.

En la agricultura hidropónica, se sustituye el suelo por un sustrato inerte que suministra los nutrientes esenciales para el crecimiento y rendimiento de la planta a través de riego controlado. También se los considera cultivos hidropónicos a los que se cultivan en agua con nutrientes.

Existe una gran variedad de plantas que se pueden cultivar en un sistema hidropónico como, por ejemplo, hortalizas, flores, pasto para forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales, cactus, etc.(Martinez 2020)

IV-A2. Historia de la Hidroponía: La Hidroponía es una técnica de cultivo que permite el crecimiento de plantas sin utilizar tierra como sustrato. Esta metodología se remonta a los océanos primigenios y otras masas de agua, desde los inicios mismos de la Tierra. De hecho, el cultivo hidropónico precede al cultivo en tierra. Se cree que tuvo sus primeras manifestaciones en la antigua Babilonia, como se ilustra en la figura 1, en los renombrados Jardines Colgantes, considerados una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo. Esta fue posiblemente una de las primeras y exitosas experiencias de cultivar plantas sin suelo. Se encuentran también referencias de su uso en la antigua China, India, Egipto, así como en la cultura Maya y en tribus asentadas en el lago Titicaca. Con el tiempo, la hidroponía se desarrolló a gran escala en países con limitaciones significativas de suelo y agua. Se considera que la experiencia más temprana de cultivo hidropónico data del año 600 a.C., el Rey Nabucodonosor II, gobernante de los Caldeos, decidió hacer un regalo a su esposa Amytis, quien añoraba el exuberante paisaje montañoso del norte de Media, su lugar de origen. Como muestra de su amor, Nabucodonosor II ordenó la construcción de los famosos Jardines Colgantes de Babilonia, sin saber que estaba creando una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo. Con el paso de los siglos, se considera que esta impresionante obra, que combina la ingeniería, la arquitectura y el paisajismo, representa el primer ejemplo conocido de cultivo hidropónico realizado por el hombre. Los Jardines Colgantes fueron erigidos entre los años 605 a.C. y 562 a.C., en la ciudad de Babilonia. (Arreola Castañeda 2022)

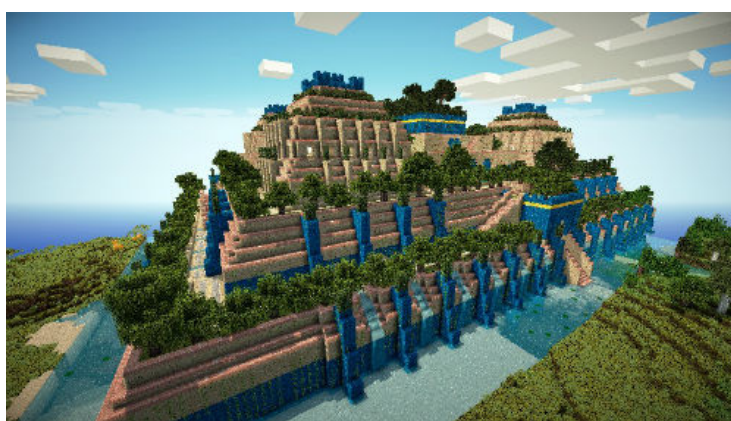


Figura 1. Jardines Flotantes de Babilonia

IV-A3. Ventajas: La hidroponía ha crecido rápidamente a nivel global en las últimas décadas y ahora se usa ampliamente en la producción ganadera extensiva. Gracias a estas soluciones han surgido muchas herramientas y conocimientos que te permiten cultivar hidropónicamente en casa. (Albuja et al. 2021)

Como ventajas de tener un sistema hidropónico tenemos:

- Gracias a su diseño es apto para ocupar pequeños espacios, techos, paredes y terrazas.
- Al no estar en un suelo o en contacto con la tierra el cultivo permanece limpio.
- Son cultivos saludables debido a que son regados con agua potable y se desarrollan en un sustrato limpio y libre de contaminación.
- El uso del agua en estos sistemas es más eficiente.
- En hidroponía, el agua de alimentación se puede reutilizar. Como resultado, puede ahorrar hasta un 50 % de agua y nutrientes en comparación con el riego convencional.
- Es especialmente adecuado para áreas donde la tierra es escasa o de baja calidad.
- Al prescindir del uso de tierra, es posible disminuir el peso del equipo. Es una solución ideal para estructuras verticales.
- Producción en climas variados.

IV-A4. Desventajas: Como en todo sistema, existen algunas desventajas en implementar un sistema hidropónico como son: (M. M. González et al. 2021)

- Al empezar un sistema hidropónico es necesario comenzar con una inversión inicial alta para la compra de los principales materiales para su construcción como bombas, contenedores, tubería entre otros.
- Requiere mucho detalle y atención especial, que se minimiza en la agricultura, de ello dependerá también el éxito o fracaso de la cosecha.
- En varios sistemas hidropónicos, las plantas carecen de suelo, el suelo que en la agricultura tradicional actúa como amortiguador durante los cambios repentinos. Además, debe tener mucho cuidado con la temperatura, el pH, la conductividad y la concentración de nutrientes.
- Requerimiento de agua de buena calidad.

IV-B. *Sistemas Hidropónicos*

IV-B1. Sistema NFT: Este método implica generar una capa de solución nutritiva en el interior de tubos de PVC y permitir que circule a través del sistema de tuberías. En los extremos de dichos tubos se colocan tapas con pequeñas conexiones al inicio y al final, lo que facilita el flujo continuo del agua a lo largo del conjunto de tuberías mediante el uso de una bomba, ubicada en el depósito donde se almacena la solución nutritiva, como se ilustra en la figura 2. Los tubos de PVC tienen orificios en la parte superior, donde se colocan las plantas en cilindros de foamy agrícola, esponja o cualquier otro material absorbente de tal manera que las raíces están en contacto con la película de solución nutritiva. (Cevallos Mendoza 2020)

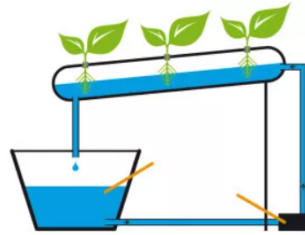


Figura 2. Sistema Hidropónico NFT

IV-B2. Mecha o Pabilo: Este enfoque es considerado uno de los más sencillos, dado que no demanda el uso de bombas para trasladar la solución nutritiva desde el depósito hasta las bandejas de cultivo. En cambio, las plantas obtienen la solución nutritiva mediante mechas o hilos absorbentes. Como se ilustra en la figura 3.

El sistema de mecha es altamente versátil y puede utilizar diferentes tipos de sustrato, pero solo es adecuado para plantas que requieren poca agua. (Cepeda López, Jiménez Parra, Hurel Ezeta et al. 2021)



Figura 3. Sistema Hidropónico de Mecha

IV-B3. Sistemas Raíz flotante: Este método utiliza un medio de cultivo líquido para el cultivo. En este sistema, las raíces flotan en la solución nutritiva, pero la planta está sostenida por una capa delgada (generalmente poliestireno) sobre el nutriente líquido. Como se muestra en la figura 4.

El recipiente de la solución nutritiva debe ser opaco para evitar que, entre la luz, o crecerán algas en su interior. Por la misma razón, se deben evitar las áreas sin recubrimiento en la superficie de la solución. (Mamani Clemente et al. 2021)



Figura 4. Sistema Hidropónico Raíz Flotante

IV-B4. Aeroponía: La aeroponía es una técnica en la que las raíces de las plantas quedan suspendidas en el aire, en un entorno oscuro, y se rocían con solución nutritiva cada ciertos minutos. Como se ilustra en la figura 5. Aunque es una técnica sumamente eficiente, existe el riesgo de que las raíces se sequen rápidamente si los ciclos de rociado se interrumpen. (Salazar 2021)



Figura 5. Sistema Hidropónico Aeroponía

IV-B5. Sistema Hidropónico de Flujo y Reflujo (Ebb and Flow): Dentro del sistema de flujo y reflujo, las bandejas de cultivo son sometidas a un proceso de inundación durante un lapso determinado con una solución nutritiva y luego se procede a drenarla nuevamente hacia el depósito. Como se ilustra en la figura 6.

El movimiento del líquido es causado por una bomba vinculada a un temporizador, que se pone en marcha varias veces al día. Al detenerse la bomba, la solución retorna al depósito.

Este sistema hidropónico presenta la gran ventaja de poder ser implementado con diferentes tipos de sustrato y permite el crecimiento de varias especies vegetales.

Sin embargo, es importante asegurarse de que la bomba funcione adecuadamente para un funcionamiento óptimo del sistema. (Porras Pumalema 2021)

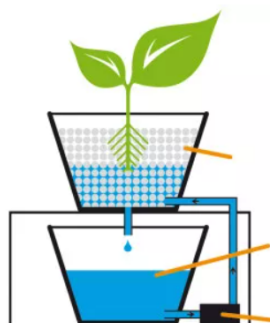


Figura 6. Sistema Hidropónico de Flujo y Reflujo (Ebb and Flow)

IV-B6. Sistema por Goteo: En los sistemas de riego de este tipo, un temporizador controla una bomba que permite el goteo de la solución nutritiva sobre la base de las plantas. En algunos sistemas, se tiene la capacidad de recuperar el exceso de solución nutritiva para poder reutilizarla, mientras que en otros sistemas, el exceso de solución se desecha sin ser aprovechado. Como se ilustra en la figura 7.

Si bien un sistema hidropónico de recuperación permite un aprovechamiento más eficiente de los nutrientes, resulta más sencillo controlar el pH y la concentración de nutrientes en un sistema que no recupera la solución nutritiva. (Vargas Quintero et al. 2020)



Figura 7. Sistema Hidropónico por Goteo

En conclusión, existen diversos tipos de sistemas hidropónicos que ofrecen diferentes enfoques y ventajas. Los sistemas de mecha, aeroponía, flujo y reflujo, así como los sistemas con recuperación de solución nutritiva, son solo algunos ejemplos de las opciones disponibles. Cada sistema tiene sus propias características y requisitos, lo que permite a los cultivadores elegir el método más adecuado para sus necesidades específicas. La elección del sistema hidropónico dependerá de factores como el tipo de cultivo, el espacio disponible, la disponibilidad de recursos y la preferencia del cultivador. Con la implementación adecuada, los sistemas hidropónicos ofrecen un mayor control sobre el entorno de cultivo, un uso eficiente de recursos y la posibilidad de obtener cosechas de alta calidad en un espacio limitado.

IV-C. *Sistemas de Cultivo en Sustrato*

IV-C1. Introducción: En los últimos tiempos, se han manifestado cambios significativos en la horticultura intensiva, particularmente en naciones industrializadas. La necesidad de incrementar la producción para cumplir con las exigencias del mercado y mantener la rentabilidad de estos sistemas ha llevado a un mayor énfasis en el control ambiental con el propósito de optimizar el crecimiento de los cultivos. En este contexto, el manejo de la nutrición de las plantas ha sido conseguido a través de sistemas de cultivo sin suelo, los cuales han posibilitado eliminar el efecto regulador que tiene el suelo y, en su lugar, exponer las plantas a las condiciones de fertirrigación deseadas. Como se ilustra en la figura 8. (Barbaro et al. 2019)

Es esencial que un sistema de cultivo sin suelo brinde un ambiente favorable para el crecimiento de las raíces si se pretende utilizar a nivel comercial. Esto implica garantizar una adecuada provisión de los siguientes elementos de manera óptima:

- **Aireación:** Es crucial garantizar un suministro adecuado de oxígeno para que las raíces obtengan la energía necesaria a través de la respiración. Después de cada riego, se requiere que haya suficiente aire en el medio para asegurar el suministro de oxígeno, ocupando al menos el 20 al 30 por ciento del espacio útil en sistemas que utilizan sustrato.
- **Agua:** Es necesario que el agua esté continuamente disponible para la planta en condiciones óptimas de extracción. La frecuencia y la cantidad de riego requerida dependerán del volumen y la configuración de los espacios en el sistema de cultivo sin suelo.
- **Solutos:** Es necesario garantizar la presencia de todos los elementos químicos necesarios para la nutrición de las plantas en cantidades adecuadas, evitando deficiencias, pero también evitando niveles excesivos que puedan generar una alta presión osmótica que las raíces deban superar.
- **Temperatura:** Es necesario mantener una temperatura ambiental apropiada para asegurar una actividad biológica óptima en las raíces. Si la temperatura es demasiado baja, la actividad se ralentiza, mientras que si es demasiado alta, se produce un desperdicio de energía. Además, valores extremos de temperatura pueden resultar en la muerte de las raíces.



Figura 8. Cultivo en Hidroponía

IV-C2. Componentes de un Sistema de Cultivo sin Suelo: En cualquier sistema de cultivo sin suelo, existen tres componentes fundamentales:

- Las unidades primarias de cultivo, como sacos, macetas y canalones.
- El uso de equipamiento adecuado, como automatismos y sistemas de riego.
- La utilización de la tecnología necesaria es imprescindible para el manejo adecuado de un sistema de cultivo sin suelo.

La unidad elemental de cultivo se define como el componente esencial que proporciona un espacio de cultivo compartido con características específicas. Este espacio es utilizado por una o varias plantas, cuyas raíces se encuentran en contacto directo con él, formando así la rizosfera. (Camacho, Toro y Díaz 2021)

IV-C3. Componentes Fundamentales: En cualquier sistema de cultivo sin suelo, existen tres componentes fundamentales:

- **Contenedores:** Estos contenedores están hechos de diferentes materiales y tienen como objetivo delimitar el espacio radicular de las plantas. Además de proporcionar aislamiento térmico, también protegen las raíces de la luz, agentes contaminantes y la pérdida de agua por evaporación. Cuando se utilizan sustratos amorfos en el sistema de cultivo, el contenedor influye directamente en el comportamiento del sustrato. Esto significa que las propiedades físicas del sustrato se ven afectadas por la forma del contenedor. En el caso de sustratos rígidos o sistemas sin contenedor (como cultivo hidropónico o aeropónico), el contenedor no existe físicamente pero aún así tiene un gran impacto en las características de la rizosfera (como la inclinación, altura del agua, aislamiento, etc.). Por lo tanto, el contenedor juega un papel crucial en el comportamiento general del sistema de cultivo.
- **Sustratos:** Cada sustrato potencial tiene características y propiedades inherentes que deben ser conocidas y estudiadas para diseñar el contenedor más adecuado. Esto garantiza que el módulo de cultivo resultante, cuando se maneje correctamente, proporcione un medio favorable para las raíces, como se mencionó anteriormente. Estas propiedades incluyen aspectos físicos (porosidad, retención de agua, densidad, estructura, granulometría), químicos (capacidad de intercambio catiónico, poder tampón, solubilidad) y biológicos. Como se ilustra en la figura 9. El conocimiento de estas propiedades es importante para seleccionar el sustrato adecuado y optimizar las condiciones de crecimiento de las plantas.

En conclusión, se debe asegurar la provisión adecuada de aireación, agua, solutos y temperatura para lograr un desarrollo óptimo de las raíces en los sistemas de cultivo sin suelo. La eficacia de estos sistemas dependerá de la correcta gestión de estos elementos.



Figura 9. Tipos de Sustratos

IV-D. *Plantas Óptimas para el Cultivo*

Cuando se seleccionan plantas para el cultivo hidropónico, es importante elegir aquellas que se adapten mejor a ese entorno sin suelo y puedan prosperar en condiciones hidropónicas. Es crucial considerar las características específicas de cada planta y su capacidad para crecer y desarrollarse adecuadamente en un sistema hidropónico. Además, es necesario tener en cuenta los requisitos de nutrientes, pH y condiciones ambientales de cada planta para asegurar su éxito en el cultivo hidropónico.

IV-D1. Hortalizas de Hojas: En el cultivo hidropónico, existen varias hortalizas de hojas que se adaptan muy bien y resultan ideales para ser cultivadas en este sistema. A continuación se presentan algunas opciones populares: (Castañares 2022)

1. **Lechuga:** La lechuga es una de las hortalizas de hojas más comunes y adecuadas para el cultivo hidropónico. Las variedades de hojas sueltas, como la lechuga de hoja verde o la lechuga de roble, son especialmente populares debido a su rápido crecimiento y adaptabilidad al entorno hidropónico. Como se ilustra en la figura 10.
2. **Espinacas:** La espinaca es otra hortaliza de hojas que se cultiva con éxito en sistemas hidropónicos. Es de crecimiento rápido y se puede cosechar en poco tiempo. La espinaca baby o la espinaca de hoja grande son variedades populares para el cultivo hidropónico. Como se ilustra en la figura 11.
3. **Kale (col rizada):** El kale es una hortaliza de hojas nutritiva y resistente que se puede cultivar hidropónicamente. Existen diferentes variedades de kale, como el kale rizado o el kale de hojas lisas, que se adaptan bien a este sistema de cultivo. Como se ilustra en la figura 12.
4. **Acelga:** La acelga es una hortaliza de hojas versátil y de crecimiento vigoroso que se puede cultivar con éxito en sistemas hidropónicos. Tanto las variedades de acelga de hojas verdes como las de hojas de colores (como la acelga arcoíris) son opciones populares. Como se ilustra en la figura 13.
5. **Menta y albahaca:** Si estás interesado en cultivar hierbas de hojas en tu sistema hidropónico, la menta y la albahaca son excelentes opciones. Ambas son hierbas aromáticas que se adaptan bien a este entorno y agregan sabor y aroma a tus comidas. Como se ilustra en la figura 14.

Se presentan a continuación algunas especificaciones generales para las hortalizas de hojas más comunes en el cultivo hidropónico:

1. **Lechuga:**
 - **Luz:** Requiere al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
 - **Temperatura:** Óptima entre 15-20°C. La lechuga puede tolerar temperaturas más altas, pero el crecimiento puede ralentizarse.
 - **Nutrientes:** Prefiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Nitrógeno, fósforo, potasio y calcio son nutrientes esenciales para el crecimiento saludable de la lechuga.



Figura 10. Lechuga (*Lactuca sativa*)

2. Espinacas:

- Luz: Necesita al menos 12-14 horas de luz diaria, pero puede tolerar sombra parcial.
- Temperatura: Óptima entre 15-25°C. La espinaca puede resistir temperaturas más bajas, pero su crecimiento se ralentiza.
- Nutrientes: Prefiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. La espinaca necesita una cantidad adecuada de nitrógeno, fósforo, potasio y hierro.



Figura 11. Espinacas (*Spinacia oleracea*)

3. Kale (col rizada):

- Luz: Requiere al menos 6 horas de luz directa al día, pero puede tolerar sombra parcial.
- Temperatura: Óptima entre 15-25°C. El kale puede tolerar temperaturas más bajas, incluso heladas leves.
- Nutrientes: Prefiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. El kale necesita nitrógeno, fósforo, potasio y calcio para un crecimiento saludable.



Figura 12. Kale (*Brassica oleracea* var)

4. Acelga:

- Luz: Requiere al menos 6 horas de luz directa al día, pero puede tolerar sombra parcial.
- Temperatura: Óptima entre 15-25°C. La acelga puede tolerar temperaturas más bajas, pero su crecimiento se ralentiza.
- Nutrientes: Prefiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. La acelga necesita nitrógeno, fósforo, potasio y calcio para un crecimiento saludable.



Figura 13. Acelga (*Beta vulgaris* var)

5. Menta y albahaca:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz directa al día.
- Temperatura: Óptima entre 20-30°C. Tanto la menta como la albahaca son sensibles a temperaturas bajas y pueden dañarse por bajas temperaturas.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Ambas hierbas requieren nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes.



Figura 14. Menta y albahaca (*Mentha* y *Ocimum basilicum*)

IV-D2. Plantas Ornamentales: El cultivo hidropónico también brinda la posibilidad de cultivar plantas ornamentales, lo que permite la creación de hermosos jardines verticales o la decoración de interiores con plantas exuberantes, sin la necesidad de utilizar suelo. A continuación se presentan algunas plantas ornamentales populares para el cultivo hidropónico: (Boschi s.f.)

1. Pothos (*Epipremnum aureum*): El pothos es una planta de interior muy popular debido a su fácil cuidado y su capacidad para crecer en condiciones hidropónicas. Sus vides colgantes y sus hojas variegadas en tonos de verde y amarillo lo convierten en una opción atractiva. Como se ilustra en la figura 15.
2. Filodendro (*Philodendron*): Los filodendros son plantas ornamentales con hojas grandes y brillantes que se adaptan bien al cultivo hidropónico. El filodendro de hoja partida (*Philodendron bipinnatifidum*) y el filodendro de hoja de corazón (*Philodendron hederaceum*) son dos variedades populares para el cultivo hidropónico. Como se ilustra en la figura 16.
3. Helecho de Boston (*Nephrolepis exaltata*): El helecho de Boston es una planta de follaje frondoso y exuberante que se puede cultivar con éxito en sistemas hidropónicos. Requiere una humedad adecuada y luz indirecta para un crecimiento saludable. Como se ilustra en la figura 17.
4. Dracaena: Las dracaenas son plantas ornamentales con hojas largas y estrechas que pueden agregar un toque de elegancia a cualquier espacio. Variedades como la *Dracaena fragrans* o la *Dracaena marginata* son adecuadas para el cultivo hidropónico. Como se ilustra en la figura 18.
5. Anturio (*Anthurium andraeanum*): El anturio es una planta ornamental conocida por sus vistosas y brillantes inflorescencias en forma de espádice. Puede cultivarse en sistemas hidropónicos, siempre que se proporcione un entorno cálido y una buena iluminación. Como se ilustra en la figura 19.

Se presentan a continuación algunas especificaciones generales para las plantas ornamentales más comunes en el cultivo hidropónico:

1. Pothos (*Epipremnum aureum*):
 - Luz: Prefiere luz brillante indirecta, pero puede tolerar condiciones de luz baja.
 - Temperatura: Óptima entre 18-24°C. Evita temperaturas extremas y corrientes de aire frío.
 - Nutrientes: Requiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. La fertilización regular es necesaria para un crecimiento saludable.



Figura 15. Pothos (*Epipremnum aureum*)

2. Filodendro (Philodendron):

- Luz: Prefiere luz brillante indirecta o sombra parcial. Evita la luz solar directa intensa.
- Temperatura: Óptima entre 18-27°C. Evita temperaturas extremas y corrientes de aire frío.
- Nutrientes: Requiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. Fertiliza regularmente durante la temporada de crecimiento.



Figura 16. Filodendro (Philodendron)

3. Helecho de Boston (Nephrolepis exaltata):

- Luz: Prefiere luz brillante indirecta o sombra parcial. Evita la luz solar directa intensa.
- Temperatura: Óptima entre 18-24°C. Evita temperaturas extremas y corrientes de aire frío.
- Nutrientes: Requiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Fertiliza regularmente con un fertilizante equilibrado para helechos.



Figura 17. Helecho de Boston (Nephrolepis exaltata)

4. Dracaena:

- Luz: Prefiere luz brillante indirecta o sombra parcial. Puede tolerar luz baja, pero el crecimiento puede ralentizarse.
- Temperatura: Óptima entre 18-24°C. Evita temperaturas extremas y corrientes de aire frío.
- Nutrientes: Requiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. Fertiliza regularmente durante la temporada de crecimiento.



Figura 18. Dracaena

5. Anturio (*Anthurium andraeanum*):

- Luz: Prefiere luz brillante indirecta. Evita la luz solar directa intensa.
- Temperatura: Óptima entre 20-27°C. Evita temperaturas por debajo de los 16°C.
- Nutrientes: Requiere una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Fertiliza regularmente con un fertilizante de alta calidad para plantas con flores.



Figura 19. Anturio (*Anthurium andraeanum*)

IV-D3. Cábano (*Cannabis Sativa*): es una planta que puede ser cultivada con éxito en sistemas hidropónicos. Como se ilustra en la figura 20. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el cultivo de cábano puede estar sujeto a regulaciones legales en distintos países y regiones. Antes de considerar el cultivo de cábano, es recomendable familiarizarse con las leyes locales y obtener los permisos necesarios, en caso de ser requeridos. (Carrillo-Sancen et al. 2022)

Se presentan a continuación algunas especificaciones generales para el cultivo hidropónico de cábano:

- Luz: El cábano requiere una luz intensa y brillante para un crecimiento saludable. Se recomienda proporcionar al menos 12 horas de luz directa o utilizar iluminación artificial, como lámparas de cultivo LED.
- Temperatura: El cábano prefiere temperaturas moderadas. La temperatura óptima para el crecimiento oscila entre 20-30°C durante el día y alrededor de 18-22°C durante la noche. Evita temperaturas extremas y cambios bruscos de temperatura.
- Nutrientes: El cábano necesita una solución hidropónica equilibrada con los nutrientes adecuados. Los macronutrientes esenciales incluyen nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes como calcio, magnesio y zinc. Es importante seguir las recomendaciones específicas de fertilización para el cábano en cada etapa de crecimiento.
- pH y EC: El pH óptimo para el cultivo de cábano hidropónico generalmente oscila entre 5.5 y 6.5. La conductividad eléctrica (EC) de la solución nutriente también debe controlarse y ajustarse según las necesidades de la planta en cada etapa de crecimiento.
- Sustrato y sistema hidropónico: Para cultivar cábano hidropónicamente, se pueden utilizar diversos sistemas hidropónicos, como el sistema de NFT (nutrient film technique), el sistema de flujo y refluj o el sistema de cultivo en sustrato inerte. Asegúrate de elegir un sustrato o sistema adecuado que permita un buen drenaje y retención de humedad.

Es importante tener en cuenta que el cultivo de cábano puede requerir permisos legales y resulta fundamental cumplir con las regulaciones locales correspondientes. Asimismo, es importante realizar una investigación y seleccionar variedades de cábano adecuadas para el cultivo hidropónico, dado que algunas variedades pueden adaptarse mejor a este entorno sin suelo.(Carrillo-Sancen et al. 2022)



Figura 20. Cábano (*Cannabis sativa*)

IV-D4. Vegetales: El cultivo hidropónico resulta ideal para el cultivo eficiente y productivo de una amplia variedad de vegetales. A continuación se presentan algunos vegetales populares para el cultivo hidropónico: (Nieto Albarrán 2020)

1. Tomates: Los tomates son muy adecuados para el cultivo hidropónico debido a su crecimiento vertical y su alto rendimiento. Se pueden cultivar diferentes variedades, como los tomates cherry o los tomates de tamaño regular. Como se ilustra en la figura 21.
2. Pepinos: Los pepinos son otra opción popular para el cultivo hidropónico. Tienen un crecimiento vigoroso y pueden trepar en un sistema vertical. Los pepinos tipo "snack." los pepinos de ensalada son excelentes opciones. Como se ilustra en la figura 22.
3. Pimientos: Los pimientos, ya sean dulces o picantes, también son aptos para el cultivo hidropónico. Las variedades como los pimientos morrones, los pimientos jalapeños o los pimientos de cayena son opciones comunes. Como se ilustra en la figura 23.
4. Berenjenas: Las berenjenas se adaptan bien al cultivo hidropónico y producen frutas de buen tamaño y calidad. Hay varias variedades disponibles, como la berenjena negra o la berenjena italiana. Como se ilustra en la figura 24.
5. Espárragos: Los espárragos también se pueden cultivar en sistemas hidropónicos. Se requiere un sistema adecuado para el crecimiento vertical de los tallos. El cultivo de espárragos en hidroponía puede requerir un poco más de tiempo y cuidado, pero puede ser gratificante. Como se ilustra en la figura 25.

Se presentan a continuación algunas especificaciones generales para los vegetales más comunes en el cultivo hidropónico:

1. Tomates:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 20-25°C durante el día y alrededor de 15-18°C durante la noche.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Los tomates requieren niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 21. Tomates

2. Pepinos:

- Luz: Necesitan al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 22-28°C durante el día y alrededor de 18-22°C durante la noche.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.8 y 6.5. Los pepinos necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 22. Pepinos

3. Pimientos:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 20-28°C durante el día y alrededor de 15-20°C durante la noche.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.8 y 6.5. Los pimientos necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 23. Pimientos

4. Berenjenas:

- Luz: Necesitan al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 24-30°C durante el día y alrededor de 18-22°C durante la noche.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.8 y 6.5. Las berenjenas necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 24. Berenjenas

5. Espárragos:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 20-25°C durante el día y alrededor de 15-20°C durante la noche.
- Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 6.0 y 7.0. Los espárragos



Figura 25. Espárragos

IV-D5. Frutas: El cultivo hidropónico también permite el cultivo eficiente de una variedad de frutas. A continuación se presentan algunas frutas que pueden ser cultivadas con éxito en sistemas hidropónicos: (Chimondeguy 2022)

1. Fresas: Las fresas son una excelente opción para el cultivo hidropónico. Se pueden cultivar en torres verticales o sistemas de canal flotante. Las variedades compactas son ideales para este tipo de cultivo. Como se ilustra en la figura 26.
2. Frambuesas: Las frambuesas también se adaptan bien al cultivo hidropónico. Se pueden cultivar en sistemas verticales o en contenedores suspendidos. Se requiere una estructura de soporte para que las plantas crezcan verticalmente. Como se ilustra en la figura 27.
3. Arándanos: Los arándanos son frutas que se pueden cultivar hidropónicamente en sistemas con sustrato inerte. Se necesita un pH bajo y una solución nutritiva adecuada para mantener el sustrato ácido y satisfacer las necesidades de la planta. Como se ilustra en la figura 28.
4. Melones: Algunas variedades de melones, como los melones pequeños o los melones cantalupo, pueden cultivarse hidropónicamente. Requieren un sistema de soporte adecuado para sostener el peso de las frutas en desarrollo. Como se ilustra en la figura 29.
5. Sandías: Las sandías también pueden ser cultivadas en sistemas hidropónicos. Se necesitan estructuras de soporte para sostener las frutas en desarrollo y se requiere un espacio adecuado para que las enredaderas se extiendan. Como se ilustra en la figura 30.

Se presentan a continuación algunas especificaciones generales para las frutas más comunes en el cultivo hidropónico:

1. Fresas:
 - Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
 - Temperatura: Óptima entre 18-24°C durante el día y alrededor de 10-16°C durante la noche.
 - Nutrientes: Prefieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Las fresas necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 26. Fresas

2. Frambuesas:

- Luz: Necesitan al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 18-25°C durante el día y alrededor de 10-16°C durante la noche.
- Nutrientes: Requieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.5 y 6.5. Las frambuesas necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 27. Frambuesas

3. Arándanos:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 15-24°C durante el día y alrededor de 10-15°C durante la noche.
- Nutrientes: Los arándanos necesitan una solución hidropónica ácida, con un pH entre 4.5 y 5.5. También necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes específicos para mantener el sustrato ácido.



Figura 28. Arándanos

4. Melones:

- Luz: Necesitan al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 24-30°C durante el día y alrededor de 18-22°C durante la noche.
- Nutrientes: Los melones requieren una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.8 y 6.5. Necesitan niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 29. Melones

5. Sandías:

- Luz: Requieren al menos 12-14 horas de luz diaria, preferentemente luz brillante y directa.
- Temperatura: Óptima entre 24-30°C durante el día y alrededor de 18-22°C durante la noche.
- Nutrientes: Las sandías necesitan una solución hidropónica equilibrada con un pH entre 5.8 y 6.5. Requieren niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.



Figura 30. Sandías

IV-E. Nutrientes

Los cultivos hidropónicos son aquellos que se cultivan en soluciones acuosas en lugar de suelo. En este tipo de cultivo, los nutrientes esenciales para las plantas se les suministran directamente en forma de solución nutritiva. A continuación se presenta una lista de los nutrientes principales necesarios para los cultivos hidropónicos: (Ayes Laporta 2023)

IV-E1. Macronutrientes: Son los nutrientes esenciales que requieren en grandes cantidades para lograr un crecimiento y desarrollo saludables. Estos nutrientes son indispensables para su crecimiento y desarrollo saludables. Los principales macronutrientes para las plantas son: (A. B. González 2019)

- Nitrógeno (N): El nitrógeno es un nutriente fundamental para el crecimiento vegetal, ya que desempeña un papel crucial en la formación de proteínas, enzimas y ácidos nucleicos. Además, es esencial para la síntesis de clorofila, que es responsable de la fotosíntesis. El nitrógeno se encuentra en diferentes formas en la solución nutritiva, como nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) o urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$).

- Fósforo (P): El fósforo juega un papel crucial en el crecimiento adecuado de las raíces y en la formación de flores y frutos. Juega un papel fundamental en la transferencia y almacenamiento de energía en la planta, ya que forma parte de compuestos como el ATP (adenosín trifosfato). Adicionalmente, desempeña un papel en la creación de ácidos nucleicos y en la activación de enzimas cruciales para el metabolismo de las plantas.
- Potasio (K): El potasio desempeña numerosas funciones en las plantas. Participa en la síntesis de carbohidratos y proteínas, la regulación del equilibrio hídrico de las células, el transporte de nutrientes y la activación de enzimas. Además, el potasio contribuye al desarrollo de las flores y frutos, mejora la resistencia de las plantas a enfermedades y estrés, y promueve un crecimiento general saludable.

IV-E2. Micronutrientes: Son los nutrientes esenciales que se requieren en cantidades mucho más pequeñas en comparación con los macronutrientes. Estos nutrientes son vitales para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas. Los principales micronutrientes para las plantas son: (Cortez Lázaro 2023)

- Hierro (Fe): El hierro es un componente esencial de la clorofila, que es crucial para la fotosíntesis y la producción de energía en las plantas. Además, el hierro está involucrado en el transporte de electrones y en la activación de enzimas necesarias para el metabolismo de las plantas.
- Manganeso (Mn): El manganeso es necesario para la fotosíntesis, ya que desempeña un papel en la asimilación del dióxido de carbono y en la producción de oxígeno. También está involucrado en el metabolismo del nitrógeno y en la activación de enzimas.
- Zinc (Zn): El zinc es esencial para el crecimiento de las plantas, ya que participa en la síntesis de proteínas y en la regulación del crecimiento y evolución. Además, juega un rol significativo en la formación de hormonas y en la respuesta de defensa de las plantas contra patógenos.
- Cobre (Cu): El cobre es necesario para la formación de enzimas y proteínas, y está involucrado en la asimilación de hierro. También juega un papel en la respiración celular y en la protección de las plantas contra el estrés oxidativo.
- Molibdeno (Mo): El molibdeno es necesario para la asimilación de nitrógeno por parte de las plantas, ya que está involucrado en la actividad de la enzima nitrato reductasa. La deficiencia de molibdeno puede causar síntomas similares a la deficiencia de nitrógeno. El molibdato de amonio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄) se utiliza como fuente de molibdeno en la hidroponía.

Es importante mencionar que los niveles de nutrientes específicos pueden variar según el tipo de planta, como se muestra en la Tabla I, su etapa de crecimiento y otros factores. El monitoreo regular de los niveles de nutrientes en la solución nutritiva y el ajuste adecuado son cruciales para mantener un suministro equilibrado y óptimo de nutrientes para las plantas en sistemas hidropónicos.

Tabla I
TABLA DE NUTRIENTES

Macroelementos primarios	Símbolos o forma	Forma en que se absorben por la planta
Nitrógeno	N	NO_3^- , NH, N_2
Fósforo	P_2O_5	PO_4H_2^- , PO_4H^-
Potasio	K_2O	K^+

Macroelementos secundarios	Símbolos o forma	Forma en que se absorben por la planta
Calcio	Ca	Ca^{++}
Magnesio	Mg	Mg^{++}
Azufre	S	SO_4^{--}

Microelementos	Símbolos o forma	Forma en que se absorben por la planta
Hierro	Fe	Fe^{++} , Fe^{+++}
Manganeso	Mn	Mg^{++}
Zinc	Zn	Zn^{++}
Cobre	Cu	Cu^{++}
Molibdeno	Mo	MoO^-
Boro	B	Borato

IV-F. Comparación entre algunos Sistemas de Riego

El espacio que ocupa el proyecto es de 75 x 35 cm, teniendo en consideración que cada planta en suelo necesita una separación mínima de 20 a 30 cm, solo se pueden tener de 6 a 9 plantas dependiendo de la distribución en el mismo espacio.

Teniendo el tema anterior presente los sistemas de riego tradicionales se diseñaron para cultivos en terrenos planos. Algunos de estos sistemas son la irrigación por superficie, por zanjas, focalizada y localizada. Según los resultados de las investigaciones previas a la redacción de este documento se señala que el gasto en sistemas de riego puede variar según el método utilizado. En términos generales, el objetivo de los sistemas de riego es aplicar el agua de manera eficiente y oportuna para maximizar la producción. Sin embargo, se destaca la constante necesidad de abordar el uso eficaz del agua en la agricultura, implementando medidas y tecnologías para reducir el consumo y minimizar las pérdidas por evaporación e infiltración.

El sistema de riego por superficie es menos eficiente en comparación con otros métodos. La cantidad precisa de agua gastada no puede determinarse debido a diversos factores, como el tipo de suelo, la pendiente del terreno y la eficiencia del sistema. Además, se destaca que este método conlleva necesidades específicas, como mano de obra, que pueden afectar la generación y optimización en la utilización del recurso hídrico. En un terreno tan estrecho para 6-9 plantas, suponiendo que la profundidad sea de 2 cm.

$$\text{Volumen} = \text{área} * \text{profundidad} \quad (1)$$

$$\text{Volumen} = 0,75 * 0,35 * 0,02 \quad (2)$$

$$\text{Volumen} = 0,00525m^3 \quad (3)$$

$$\text{Volumen} = 5250cm^3 \quad (4)$$

1 litro es igual a 1000 cm³.

$$\text{volumen en litros} = 5250\text{cm}^3/1000 \quad (5)$$

$$\text{volumen en litros} = 5,25 \text{ litros} \quad (6)$$

Riego por surcos o zanjas, que implica crear trincheras paralelas donde el agua fluye lentamente e infiltra el suelo, esto requiere una separación mayor entre las filas dependiendo del tamaño de la zanja. Para esta comparación la zanja será 5cm de ancho y 2.5 cm de profundidad .

$$\text{Volumen de la zanja} = \text{ancho} * \text{largo} * \text{profundo} \quad (7)$$

$$\text{Volumen de la zanja} = 0,05 * 0,75 * 0,025 \quad (8)$$

$$\text{volumen de la zanja} = 0,0009375\text{m}^3 \quad (9)$$

$$\text{volumen de la zanja} = 937,5\text{cm}^3 \quad (10)$$

$$\text{Volumen de la zanja en litros} = 937,5/1000 \quad (11)$$

$$\text{Volumen de la zanja en litros} = 0,9375 \text{ litros} \quad (12)$$

$$(13)$$

Suponiendo que cada planta consume 1 litro de agua, y para esta comparación se usaran 6 plantas divididas en 2 filas separadas por la zanja.

$$\text{Volumen de agua} = 0,9375 + 6 \quad (14)$$

$$\text{Volumen de agua} = 6,9375 \text{ litros} \quad (15)$$

Estos métodos son especialmente utilizados en terrenos amplios y planos. Aunque requieren mano de obra y mayor cantidad de agua, su aplicación es más apropiada debido a la reducción del tiempo necesario para trabajar individualmente cada planta en el terreno.

Riego por aspersión, aunque sea más eficiente que el método anteriormente mencionado, tampoco se puede determinar la cantidad exacta de agua que se gasta en este método, ya que esto depende de algunos factores, como la clase de cultivo, la presión del agua y la configuración de los aspersores utilizados. Suponiendo que se usara un aspersor que aplica agua a una tasa de 2 litros por metro cuadrado por hora.

$$\text{Volumen de agua necesario} = \text{tasa de aplicación} * \text{área} \quad (16)$$

$$\text{Volumen de agua necesario} = 2 * 0,75 * 0,35 \quad (17)$$

$$\text{Volumen de agua necesario} = 0,525 \text{ litros por hora} \quad (18)$$

Se tomará para esta comparación que el periodo de riego será de 30 minutos (0.5 horas).

$$\text{Volumen de agua} = 0,525 * 0,5 \quad (19)$$

$$\text{Volumen de agua} = 0,2625 \text{ litros} \quad (20)$$

Este sistema ofrece ventajas significativas simula la lluvia natural, permite una facilidad de aplicación de pesticidas y fertilizantes. Sin embargo, sus desventajas incluyen los costos tanto de instalación como de mantenimiento, la necesidad de adquirir equipo costoso para su operación, las pérdidas de agua debido a la evaporación y la compactación del suelo.

El sistema de riego localizado suministra agua directamente a las raíces de las plantas, aun así, la cantidad de agua utilizada puede variar dependiendo del tipo de cultivo, las necesidades hídricas de las plantas y la configuración

del sistema de riego. El sistema de riego por goteo es una modalidad de riego localizado que proporciona agua directamente a las raíces mediante tuberías. Este método facilita la aplicación de agua de manera gradual y gota a gota en la superficie del suelo, lo que resulta una distribución más precisa y eficiente del agua. Suponiendo que el volumen que suministra los goteros es de 1 litro por hora y las plantas necesitan 1 litro cada una.

$$\text{Volumen requerido} = 1 * 6 \quad (21)$$

$$\text{Volumen requerido} = 6 \text{ litros por hora} \quad (22)$$

El tiempo de riego para esta comparación será de 30 minutos (0.5 horas).

$$\text{Volumen de agua} = 6 * 0,5 \quad (23)$$

$$\text{Volumen de agua} = 3 \text{ litros} \quad (24)$$

El riego localizado puede reducir el consumo de agua en comparación con los otros métodos de riego ya expuestos, como se ilustra en la figura 31, evita pérdidas por evaporación y por escurrimiento, el agua se aplica directamente a las raíces, así que el desperdicio es mínimo, el problema principal con este método es la instalación y el mantenimiento de las tuberías enterradas. (Elsevier s.f.)



Figura 31. Sistemas de Riego

V. MARCO METODOLÓGICO

V-A. *Tipo de Estudio*

Se investigó sobre la problemática que genera tener un cultivo en zonas urbanas, mediante una investigación se llegó a la conclusión que por tema de espacio no se pone mucho en práctica el cultivo urbano. Como solución se plantea la construcción de un cultivo hidropónico automatizado el cual gracias a tu diseño compacto facilitara su aplicación en zonas urbanas. Como objetivo de este proyecto además de poderse aplicar en zonas urbanas, busca facilitar el trabajo que conlleva tener un cultivo agrícola.

V-B. *Métodos de Investigación*

Se efectuó una investigación haciendo uso del método mixto el cual está conformado del método cuantitativo y el método cualitativo. Además, que se usó el método experimental para probar los resultados del uso de música en los cultivos.

V-C. *Técnicas de Investigación*

Mediante la técnica de observación se logró notar que el desperdicio de agua es menor, que los alimentos salen más limpios al no ser cultivados en tierra, se puede tener un mayor número de plantes en espacios reducidos sin necesidad de sembrarlas en un mismo lugar y mediante la técnica de fichaje se llevó registro de todo esto.

V-D. *Instrumentos de la Investigación*

Se uso un diario de campo para llevar los registros y anotaciones de los cambios en el cultivo, posteriormente se llenó las fichas de registros para llevar un seguimiento del progreso del proyecto.

V-E. *Procedimiento y Análisis*

Para el diseño y realización del sistema hidropónico de cultivo de menta, albahaca y orégano, se empleará una estructura vertical en línea con el sistema de irrigación. Este constará de un sistema de riego automático que suministrará agua y nutrientes a los cultivos según un programa preestablecido. Se implementarán sensores de temperatura y humedad en el suelo para monitorear las condiciones del cultivo. Estos datos se mostrarán en una pantalla, lo que permitirá llevar un registro y control detallado del proceso. A través de este enfoque, se podrán identificar tanto las ventajas como las limitaciones del objetivo propuesto.

Durante esta fase del proyecto, se abordarán los aspectos hidráulicos, eléctricos y electrónicos de manera integral. Se realizarán cálculos para determinar el flujo óptimo a través de las tuberías de irrigación y se crearán planos detallados para su disposición eficiente. Asimismo, se calcularán las capacidades requeridas para los depósitos y se seleccionarán bombas adecuadas para asegurar un suministro constante de agua y nutrientes. Además, se implementarán sensores de temperatura y humedad en el suelo para permitir un monitoreo en tiempo real, cuyos datos serán presentados en una interfaz que facilitará el seguimiento y ajuste preciso del sistema.

V-F. Diseño y Cálculos

V-F1. **Diseño Hidráulico:** En esta etapa se presenta todo lo relacionado con la parte hidráulica del proyecto, en especial cálculos de flujo y planos de las tuberías de irrigación, así como las capacidades de los depósitos y las bombas usadas.

Como se ilustra en la figura 32, se presenta la disposición del circuito hidráulico en el marco del proyecto. En dicha representación se pueden observar tanto las bombas como los depósitos destinados al almacenamiento de agua y nutrientes, además de la estructura que alberga a las macetas.

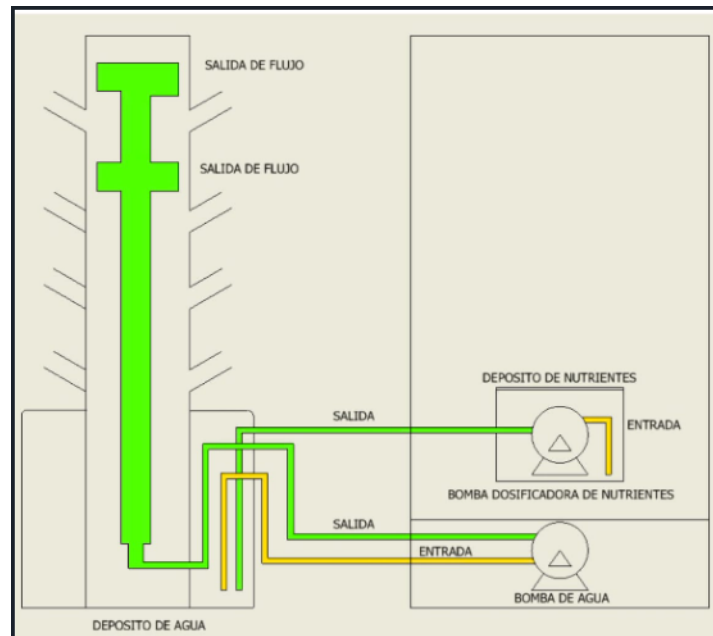


Figura 32. Diagrama Hidráulico

V-F2. **Cálculo de la Bomba Principal:** La elección de este componente se basó en la necesidad de mitigar una presión de 1.30 megapascuales (MPa). Esta selección se realizó considerando que la estructura a la que se dirige la distribución está formada por una tubería con un diámetro de 0.5 pulgadas y una longitud de 1.155 metros. Después de llevar a cabo los cálculos de caudal, se determinó que este componente es la opción más adecuada para satisfacer las necesidades del sistema.

En este contexto, para analizar el flujo de fluido, se empleará la ecuación de Bernoulli, tomando en cuenta la suposición de un flujo incompresible y condiciones ideales. Esta ecuación permitirá evaluar el comportamiento del fluido en el sistema y determinar la eficacia de la selección realizada, considerando tanto la estructura de la tubería como la presión a la que se enfrenta.

La ecuación es la siguiente:

$$Q = A * v \quad (25)$$

Dónde:

- (Q) es el caudal en metros cúbicos por segundo.

- (A) es el área de la sección transversal de la tuba de la tubería en metros cuadrados.
- (v) es la velocidad del flujo en metros por segundo.

En primer lugar, se requiere calcular el área de la sección transversal de la tubería de media pulgada. El diámetro interno de esta tubería es aproximadamente 12.7 mm. Para determinar el radio de la tubería, se considera la mitad de este valor, lo que resulta en 6.35 mm o 0.00635 metros.

$$A = \pi * r^2 \quad (26)$$

$$A = \pi * 0,00635^2 \quad (27)$$

$$A = 0,00012667686m^2 \quad (28)$$

Después de calcular el área de la sección transversal de la tubería, el siguiente paso consiste en determinar la velocidad del flujo en dicha tubería. Para lograr esto, se emplea la ecuación de Bernoulli.

$$P + 0,5 * \rho * v^2 = constante \quad (29)$$

Dado que la presión es de 1.3, MPA coma se convierte a Pascales (Pa):

$$Presión = 1,3Mpa = 1,3 - 10^6 \quad (30)$$

Conociendo que la densidad del agua es aproximadamente 1000 kilogramos sobre metros cúbicos. Reorganizando la ecuación de Bernoulli coma se puede despejar la velocidad:

$$v = \sqrt{2 * (P * /\rho)} \quad (31)$$

$$v = \sqrt{2 * ((1,3 * 10^6)/1000)} \quad (32)$$

Con los valores área y velocidad obtenidos, se puede calcular el caudal utilizando la fórmula:

$$Q = A * v \quad (33)$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$Q = (0,00012667686) * 50,99 \quad (34)$$

$$Q = 387,55L/min \quad (35)$$

Así pues, basándose en los cálculos realizados y las características proporcionadas, el caudal aproximado del flujo a través de la tubería de media pulgada, que tiene una longitud de 1.55 metros y es impulsado por una bomba con una presión de 1.3 megapascales, se estima en alrededor de 0.0064 metros cúbicos por segundo.

En relación al funcionamiento del sistema, el objetivo es lograr que la bomba suministre 1.667 litros, con el propósito de obtener los cálculos sobre la duración durante la cual deberá permanecer activada. Para realizar este cálculo, se emplea la relación existente entre el flujo de la bomba y el tiempo.

Flujo de la bomba: 10L/min
Volumen deseado: 1.667 L

$$Tiempo = Volumen/Flujo \quad (36)$$

$$Tiempo = 1,667L/10L/min \quad (37)$$

$$Tiempo = 0,1667minutos \quad (38)$$

Dado que existe un total de 60 segundos en cada minuto, es posible representar el intervalo de tiempo en segundos mediante la multiplicación de la cantidad de minutos por 60.

$$Tiempoensegundos = 0,1667min * 60seg/min \quad (39)$$

$$Tiempoensegundos = 10seg \quad (40)$$

$$Tiempo = 0,1667minutos \quad (41)$$

Por lo tanto, se estima que la bomba requerirá alrededor de 10 segundos para suministrar la cantidad de 1.667 litros.

V-F3. Cálculo de la Bomba Dosificadora de Nutrientes: Se ha optado por utilizar una mini bomba de 12 voltios que suministra 4 litros por minuto. Para el funcionamiento del sistema, se tiene como objetivo que esta bomba suministre 1 litro de nutrientes al reservorio principal. Con esta premisa, se procederá a realizar los cálculos pertinentes para determinar el tiempo necesario que la bomba empleará para llevar a cabo esta tarea específica.

$$tiempo(m) = \frac{volumen(L)}{tasadeflujos(L * m)} \quad (42)$$

En este caso, el volumen es de 1 L y la tasa de flujo es de 4 L por minuto. Sustituyendo estos valores en la fórmula:

$$tiempo(m) = \frac{1L}{4L * m} \quad (43)$$

$$tiempo(m) = 0,25m = 15seg \quad (44)$$

Por lo tanto, en esta situación, se requeriría aproximadamente 0.25 minutos, lo que equivale a 15 segundos, para suministrar 1 litro empleando la bomba de 12 voltios con una capacidad de suministro de 4 litros por minuto.

V-F4. Diseño Eléctrico: La conexión eléctrica, el circuito será alimentado a través de la toma de corriente del hogar. Esta toma de corriente está equipada con dos interruptores automáticos (breakers) que se conectarán a la fuente de alimentación principal. Para establecer esta conexión, se optará por utilizar un cable concéntrico 3x12. Dicho cable se extenderá desde el toma corriente del hogar hasta la fuente de alimentación, la cual realiza la conversión de corriente alterna de 110V a corriente continua de 12V.

Considerando que se busca mantener la caída de tensión dentro de los límites aceptables, se ha determinado trabajar con el cable de 12V, para el cual se establece una caída de tensión máxima de 0.6V.

Se procederá a realizar los cálculos necesarios con el fin de determinar la caída de tensión máxima en el circuito. Datos:

- (v)Tensión nominal = 12V
- Caída de tensión aceptable = 5 %

$$Caída de tensión máxima(v) = tensión nominal(v)*0.05 \quad (45)$$

Sustituyendo los valores en la fórmula, se obtendría el resultado que representa la caída de tensión máxima aceptable:

$$\text{Caída de tensión máxima}(v) = 12v * 0.05 = 0.6v \quad (46)$$

Por lo tanto, en términos generales, se consideraría óptimo mantener la caída de tensión por debajo de 0.6 voltios en una conexión de 12 voltios.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a comprobar si el cable concéntrico 3x12 es óptimo para el circuito eléctrico.

Fórmula para calcular la caída de tensión:

Datos:

- (L) Longitud del cable = 3 metros
- (U) Tensión nominal = 12V DC
- (I) Corriente = 25 amperios
- (R) Resistencia = 0.0085 ohmios por metro

$$\text{Caída de tensión \%} = (2 * L * I * R) / (U * 100) \quad (47)$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$\text{Caída de tensión \%} = 0,0010625 \quad (48)$$

Como se demostró anteriormente, se llegó a la conclusión de que la utilización del cable concéntrico 3x12, como se muestra en la Tabla II, es óptima para el circuito en cuestión.

Tabla II
TABLA AWG 1

AWG gauge (calibre)	Conductor diámetro Inch	Conductor diámetro mm	Carga máxima en amperios
0000	0.46	11.684	380
000	0.4096	10.40384	328
00	0.3648	9.26592	283
0	0.3249	8.25246	245
1	0.2893	7.34822	211
2	0.2576	6.54304	181
3	0.2294	5.82676	158
4	0.2043	5.18922	135
5	0.1819	4.62026	118
6	0.162	4.1148	101
7	0.1443	3.66522	89
8	0.1285	3.2639	73
9	0.1144	2.90576	64
10	0.1019	2.58826	55
11	0.0907	2.30378	47
12	0.0808	2.05232	41
13	0.072	1.8288	35
14	0.0641	1.62814	32
15	0.0571	1.45034	28
16	0.0508	1.29032	22
17	0.0453	1.15062	19
18	0.0403	1.02362	16
19	0.0359	0.91186	14
20	0.032	0.8128	11

Por razones de cumplimiento con las normativas de seguridad, se incorpora un botón de paro de emergencia que tiene la función de interrumpir el suministro de energía a la fuente en caso de ser presionado.

La fuente de alimentación suministra energía al PLC. En la salida Q1 del PLC se encuentra conectada la bomba principal, mientras que en la salida Q2 se ubica la bomba dosificadora de nutrientes. La salida Q3 del PLC está destinada para el sistema de sensores. Adicionalmente, se utiliza un selector conectado a la entrada I1 para encender manualmente el sistema mencionado previamente.

Para salvaguardar la fuente de alimentación secundaria, se ha incorporado un interruptor automático de 6 amperios como medida de protección. La configuración de esta fuente está diseñada para proporcionar 10 amperios a la salida relé Q3 del PLC.

Para llevar a cabo estas conexiones, se ha optado por emplear cable de calibre 16 debido a sus características de flexibilidad, facilidad de manejo y capacidad de corriente. Este tipo de cable tiene la capacidad de soportar corrientes de hasta alrededor de 20 amperios. Como se muestra en la Tabla III.

Tabla III
TABLA AWG 2

AWG gauge (calibre)	Conductor diámetro Inch	Conductor diámetro mm	Carga máxima en amperios
10	0.1019	2.58826	55
11	0.0907	2.30378	47
12	0.0808	2.05232	41
13	0.072	1.8288	35
14	0.0641	1.62814	32
15	0.0571	1.45034	28
16	0.0508	1.29032	22
17	0.0453	1.15062	19
18	0.0403	1.02362	16
19	0.0359	0.91186	14
20	0.032	0.8128	11

V-F5. **Diagrama Eléctrico:** En el esquema que se ilustra en la figura 33, presenta en el subsiguiente gráfico, se puede discernir la interconexión del controlador lógico programable (PLC) con una fuente de alimentación de 24V. La implementación incluye dispositivos de protección en forma de interruptores (breakers), empleados con el propósito de salvaguardar la integridad del sistema. La entrada I1 del PLC está asociada con un selector cuya funcionalidad se define mediante la programación del mismo; este selector, a su vez, tiene la capacidad de activar la salida Q3 del controlador. Como se ilustra en el Anexo 2

El microcontrolador Arduino recibe su alimentación de una fuente nominal de 12V. El PLC asume la responsabilidad de regular el flujo de corriente hacia el Arduino, posibilitando su activación y desactivación según las condiciones requeridas.

En lo que respecta a las salidas del PLC, a saber Q1 y Q2, se encuentran enlazadas con pares de relés. Estos componentes relés ejercen el control sobre el encendido y apagado de las bombas, conformando así una parte esencial del sistema de gestión.

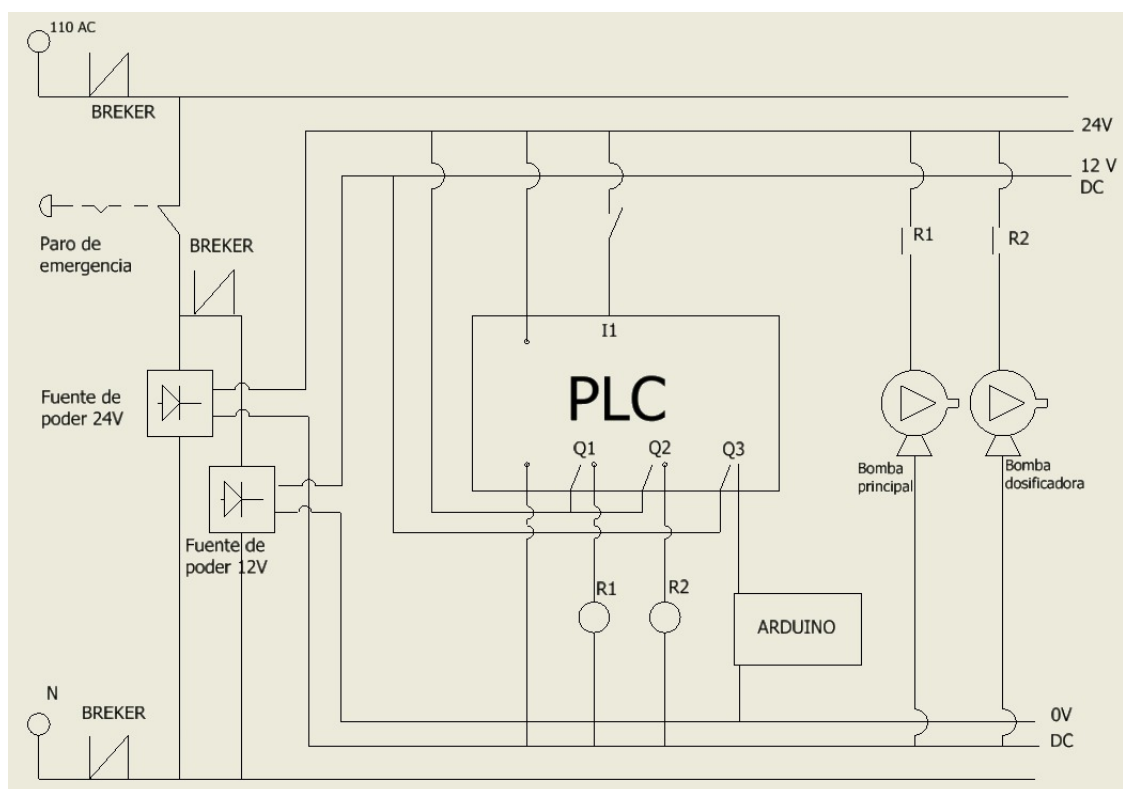


Figura 33. Diagrama Eléctrico

V-F6. **Diseño Estructural:** Como se muestra en el Anexo 1, se puede observar en detalle el procedimiento realizado para la edificación del proyecto.

V-F7. **Diseño del Soporte:** La base está confeccionada a partir de acero galvanizado, presentando dimensiones de 85 cm de longitud, 33 cm de ancho y 14 cm de altura. Su diseño responde a la finalidad de proporcionar soporte tanto a la torre como al gabinete. Como se ilustra en la figura 34.

V-F8. **Diseño del Gabinete:** Se ha realizado el diseño de una estructura con la finalidad de albergar la torre, el depósito de nutrientes y los circuitos tanto del PLC como de Arduino. Esta disposición arquitectónica tuvo como propósito resguardar estos elementos de influencias externas, tales como el polvo, la luz solar y la lluvia. Asimismo, se persiguió la optimización del mantenimiento de dichos componentes de manera más eficaz.

El gabinete está fabricado mediante la utilización de marcos de aluminio y alucobond, que consiste en un panel compuesto por dos láminas de aluminio en la cubierta y un núcleo relleno de agregado mineral con baja inflamabilidad. Las dimensiones de esta estructura son de 1.40 m de altura, 40 cm de longitud y 35 cm de ancho. Esta configuración fue diseñada con la intención de disminuir la carga de la estructura y optimizar el aprovechamiento del espacio disponible.

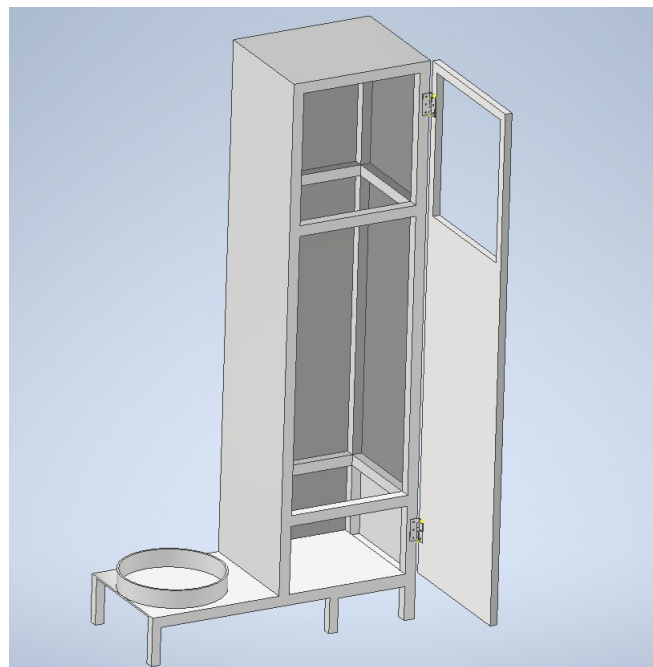


Figura 34. Diseño Estructural

V-F9. **Distribución de Macetas:** En la construcción de la torre, se ha utilizado un tubo de PVC con un diámetro de 4 pulgadas y una longitud de 1.40 metros. Este tubo ha sido dividido en cuatro segmentos verticales, cada uno de los cuales está equipado con cuatro soportes diseñados para sostener las plantas, dando lugar a un total de 16 compartimentos para el cultivo.

La distribución de los soportes se detalla en la figura 35. En la parte frontal y posterior de la estructura, el primer soporte se sitúa a una distancia de 15 centímetros desde la parte superior del tubo, mientras que los tres soportes siguientes se encuentran espaciados a 25 centímetros de distancia entre sí en relación con el radio del tubo. En los

laterales de la estructura, la separación entre los soportes a partir de la parte superior se establece en 25.5 centímetros.

Para abordar la competencia natural por la luz solar, se ha tomado la decisión de configurar los soportes con un diámetro de 5 centímetros, ubicados en diferentes niveles. Este diseño evita que las plantas se obstruyan entre sí, lo que resulta beneficioso tanto en términos de prevención de contagio de plagas como en la minimización de posibles enredos de las raíces.

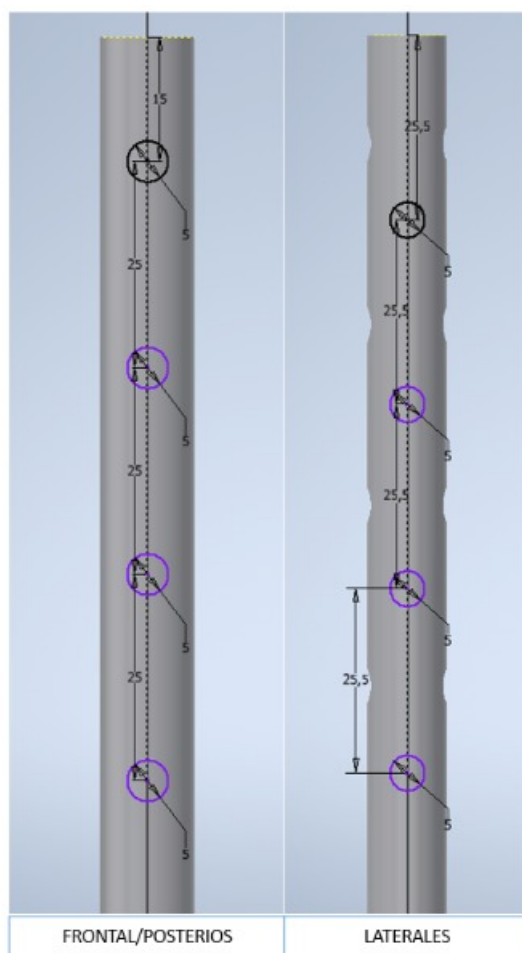


Figura 35. Distribución de los Soportes

V-F10. Soporte para Plantas: Como se ilustra en la figura 36, se utilizaron un total de 16 de estos soportes, los cuales se dispusieron siguiendo la configuración ilustrada en la figura 55. Estos soportes fueron concebidos empleando codos de PVC de 2 pulgadas con una inclinación de 45 grados, y fueron adaptados de manera específica para cumplir la función de sostener las plantas. Con el fin de permitir un adecuado suministro de agua y un drenaje efectivo, se llevaron a cabo modificaciones en dichos codos, incorporando perforaciones en la parte inferior a través de las cuales el agua puede ser suministrada y drenada de manera eficiente.

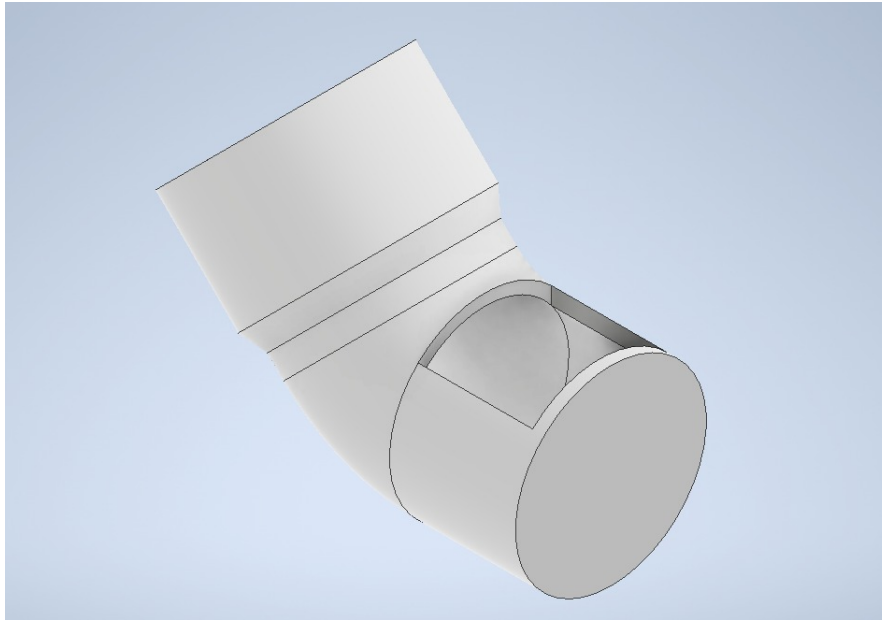


Figura 36. Soporte para Plantas

V-F11. **Diseño del Circuito del ARDUINO:** Como se evidencia en el Anexo 3, se puede apreciar el ensamblaje del circuito de sensores de manera clara y detallada.

En la placa Arduino, se han conectado cuatro sensores de humedad en el suelo a las entradas analógicas A0, A1, A2 y A3. Además, el sensor DHT22 está conectado al pin digital 2 y se encarga de recopilar los datos de temperatura interna de la estructura. Para visualizar los datos provenientes de los sensores, se emplea un display de 16x2 junto a un módulo I2C. El pin "SDA" del módulo I2C está conectado a la entrada analógica A4, mientras que el pin "SCL" se encuentra enlazado al pin A5. Como se ilustra en la figura 37.

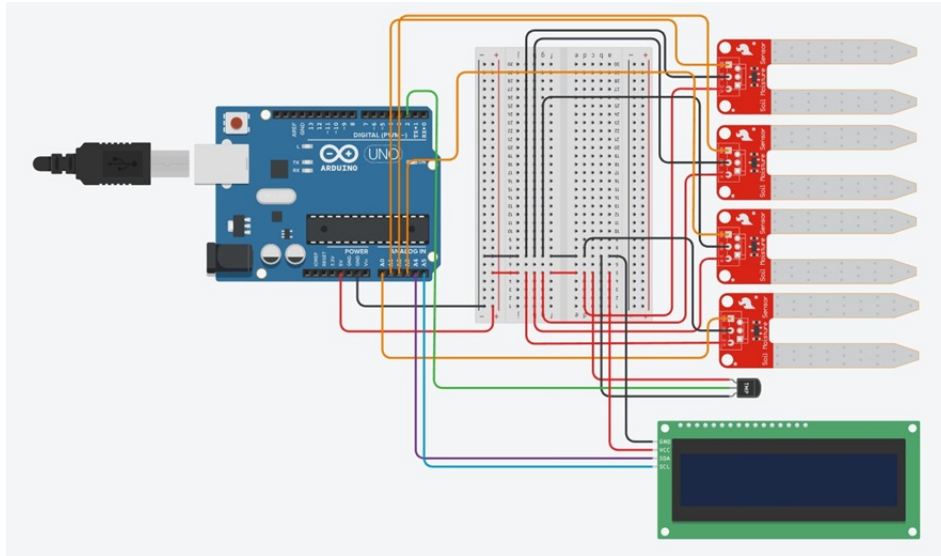


Figura 37. Conexión Arduino

V-G. Selección de Materiales

V-H. Componentes Eléctricos

V-H1. PLC: En el contexto de un sistema hidropónico automatizado, la elección de utilizar un PLC LOGO! como se muestra en la figura 38, se justifica por su capacidad demostrada para optimizar el control y la gestión eficiente de los procesos agrícolas. El PLC LOGO! ofrece una combinación única de confiabilidad y versatilidad, como se muestra en la Tabla IV, permitiendo a los operadores supervisar y regular de manera precisa parámetros cruciales como la dosificación de nutrientes y el riego. Además, su diseño compacto y su facilidad de programación hacen que sea una solución ideal para aplicaciones de menor escala, como sistemas hidropónicos en invernaderos o instalaciones de cultivo interior. Al aprovechar las capacidades del PLC LOGO! en un entorno hidropónico, los agricultores pueden alcanzar un mayor nivel de automatización, minimizar el consumo de recursos y maximizar el rendimiento de los cultivos, garantizando así una producción más consistente y sostenible en el ámbito de la agricultura moderna.



Figura 38. PLC

Tabla IV
TABLA DE ESPECIFICACIONES PLC

Especificaciones	PLC LOGO! 12/24V RCE
Precio	\$120.00
Display	Si
Valor nominal (DC) <ul style="list-style-type: none">• 12V DC• 24V DC Rango admisible, límite inferior (DC)	Si Si 10.8V 28.8V
Entradas digitales	8 entradas y 4 salidas (relé). De las 8 entradas 4 pueden ser usadas como analógicas (0-10 V).
Salida de relé <ul style="list-style-type: none">• Carga inductiva• Carga resistiva	3A max. 10A max.

V-H2. Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A: La elección de la Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A, como se muestra en la figura 39, para alimentar múltiples componentes en el sistema de control demuestra una planificación precisa basada en cálculos y necesidades específicas. La capacidad de la fuente para proporcionar un voltaje de 24V, como se muestra en la Tabla V, es esencial para cumplir con los requerimientos de voltaje de varios dispositivos, como el selector de 24V a 3A, las botoneras de 24V a 3A, y los relés de 24V a 10A. Para la elección de la corriente de 2.5A, se realiza un cálculo sumando las corrientes máximas de los componentes que operan a 24V.

$$\text{corrientes máximas} = \text{botoneras}(2 * 3A) + \text{relee}(2 * 10A) + \text{PE}(10A) + \text{bomba principal}(5A) \quad (49)$$

$$\text{corrientes máximas} = 31A \quad (50)$$

Sin embargo, estos componentes no operan al mismo tiempo por lo que esta corriente total calculada proporciona un margen para futuras expansiones y posibles picos de corriente. La corriente máxima de salida de 2.5A de la fuente asegura que haya suficiente capacidad para estos componentes.

Además, la fuente también se adapta a los requisitos de corriente de los dispositivos de bajo consumo, como las luces piloto de 12/48V a 20mA y la bomba dosificadora de 12V a 250mA. Estos dispositivos requerirán un total de 0.04A (20mA + 20mA) y 0.25A respectivamente, lo que representa una fracción muy pequeña de la capacidad total de la fuente.

Esta elección garantiza una alimentación estable y segura para el sistema de control y automatización, considerando tanto los requisitos actuales como posibles expansiones futuras.



Figura 39. Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A

Tabla V
 TABLA DE ESPECIFICACIONES DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN LOGO

Especificaciones	Fuente De Alimentación Logo
Precio	\$118.00
Entrada	100-240 V CA
Salida	24 V CC / 2.5 A
Vatios	69
Clase de protección	IP20

V-H3. **Breakers:** La elección de utilizar dos breakers, uno de 16 amperios y otro de 6 amperios, conectados a la fuente de poder del PLC y la fuente del Arduino, es una decisión fundamentada en la garantía de seguridad, eficiencia y mantenimiento adecuados de los componentes eléctricos involucrados en el sistema.

Para dimensionar adecuadamente el breaker de 6 amperios, teniendo en cuenta los cálculos de corriente del circuito del Arduino UNO y los coolers, es esencial garantizar una implementación precisa. Esto se logra al calcular las corrientes máximas de ambos circuitos y utilizar esta información para seleccionar el disyuntor apropiado. De esta manera, se asegura una protección efectiva de los circuitos y se previenen posibles problemas de sobrecarga.

La suma de las corrientes máximas es de 0.8175A. Para calcular el margen de seguridad en relación con un breaker de 6 amperios y una corriente máxima de 0.8175 amperios, podemos restar la corriente máxima del valor del breaker y luego expresar el resultado como un porcentaje del valor del breaker. El margen de seguridad se calcula como:

$$\text{Margen de Seguridad} = ((\text{Valor del Breaker} - \text{Corriente Máxima}) / \text{Valor del Breaker}) * 100 \quad (51)$$

$$\text{Margen de Seguridad} = ((6A - 0,8175A) / 6A) * 100 \quad (52)$$

$$\text{Margen de Seguridad} = 86,375 \% \quad (53)$$

El porcentaje de margen de seguridad es 86.375 aproximadamente, lo que significa que el valor de 6 amperios del breaker es mucho mayor que la corriente máxima calculada de 0.8175 amperios. Este margen de seguridad es bastante amplio y proporciona una protección adecuada para el circuito. Como se ilustra en la Tabla VI.

Tabla VI
 TABLA DE ESPECIFICACIONES BREAKER C60N

Especificaciones	Breaker C60N
Precio	\$15.00
Polos	P
Corriente nominal (In)	6A
Tipo de red	AC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético



Para el breaker de 16 amperios que está conectado a la fuente de poder del PLC hay q tomar en cuenta que los consumos de los componentes no trabajan al mismo tiempo y no superan los 10 amperios de corriente máxima por ende la capacidad del breaker, junto con los márgenes de seguridad incorporados, aseguran un funcionamiento estable y seguro del sistema, permitiendo el control preciso de las bombas a través del PLC. Como se ilustra en la Tabla VII.

Tabla VII
TABLA DE ESPECIFICACIONES BREAKER EASY9 2X16A

Especificaciones	Breaker Easy9 2x16A
Precio	\$15.00
Polos	2P
Corriente nominal (In)	16A
Tipo de red	AC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético



V-H4. **Relés:** El uso de dos relés para activar manualmente el sistema de riego y distribución de nutrientes se basa en la necesidad de otorgar al usuario un mayor grado de control directo sobre estos procesos. Estos relés representan una herramienta esencial para intervenir de manera inmediata y específica en el sistema, permitiendo ajustes y decisiones a medida que no podrían lograrse únicamente mediante la automatización. Esta funcionalidad resulta particularmente valiosa en escenarios donde se requiere una adaptación instantánea, ya sea para efectuar pruebas, abordar requerimientos especiales de las plantas o enfrentar situaciones imprevistas. Al habilitar esta posibilidad de control manual, se brinda una flexibilidad esencial al usuario, lo que se traduce en una optimización del cuidado de las plantas y en la capacidad de alcanzar resultados más eficaces y personalizados en el proceso de riego y nutrición. Como se ilustra en la Tabla VIII.

Tabla VIII
TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LOS RELÉS

Especificaciones	Relé universal
Precio	\$15.00
Tensión de circuito de control	24V DC
Corriente térmica nominal	10A
Tipo de control	Lockable test button (**)



V-H5. **Selector:** La elección de incorporar un interruptor de dos posiciones para controlar el encendido y apagado del sistema de sensores se basa en la necesidad de ofrecer un manejo directo y cómodo de la operatividad del sistema. Este enfoque simplificado permite a los usuarios activar o desactivar de forma rápida y efectiva la captura de datos sensoriales más allá de las horas programadas. Al disponer de un interruptor específico de dos posiciones para esta tarea, se reduce al mínimo la probabilidad de cometer errores operativos y se simplifica el sistema en comparación con alternativas más complejas. Como se ilustra en la Tabla IX.

Tabla IX
TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL SELECTOR

Especificaciones	Selector 2 posiciones
Precio	\$6.00
Angulo de operación	45° izquierda – 45° derecha
Bloqueo de contacto	Contacto (NA) o 2NA0
Capacidad de bloqueo de contacto	240V/3A



V-H6. **Botoneras:** El uso de las botoneras en el sistema de bombeo se justifica por la necesidad de brindar una opción adicional al usuario para probar el equipo de manera manual sin interferir con la programación preestablecida en el PLC. Estas botoneras, al estar conectadas a la bomba dosificadora y al relé externo de la bomba principal, permiten al usuario realizar pruebas de funcionamiento en situaciones específicas o de emergencia sin tener que reconfigurar o desactivar el sistema automático controlado por el PLC. Esta funcionalidad ofrece una capa adicional de flexibilidad y seguridad al sistema, al permitir la intervención manual cuando sea necesario, al mismo tiempo que mantiene intacta la programación y la lógica de control establecidas para el funcionamiento cotidiano y eficiente de la instalación de bombeo. Como se ilustra en la Tabla X.

Tabla X
TABLA DE ESPECIFICACIONES DE BOTONERAS

Especificaciones	Botoneras
Precio	\$15.00
Capacidad de bloqueo de contacto	240V/3 A



V-H7. **Luz Piloto:** La incorporación de dos luces piloto verdes en el sistema presenta una justificación fundamentada en la necesidad de proporcionar una retroalimentación visual clara y rápida sobre el estado operativo del sistema de bombeo. La primera luz piloto, vinculada a la activación del sistema de sensores, ofrece una confirmación visual inmediata de que la automatización basada en sensores está funcionando como se espera, brindando tranquilidad al usuario al asegurar que los procesos de detección y respuesta automática están operativos. La segunda luz piloto, diseñada para indicar la activación manual de la bomba de nutrientes, otorga al usuario la certeza visual de que la intervención manual ha sido exitosa y que la bomba está en funcionamiento según su necesidad. Ambas luces piloto verdes simplifican la interpretación del estado del sistema, mejoran la eficiencia de diagnóstico y refuerzan la confianza en la funcionalidad integral de la instalación de bombeo. Como se ilustra en la Tabla XI.

Tabla XI
TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LUZ PILOTO

Especificaciones	Luz piloto
Precio	\$2.00
AC/DC	12 – 48V
Consumo de corriente	20mA



V-H8. **Botón de Paro de Emergencia:** Es un mecanismo de protección que se usa para detener rápidamente en caso de peligro, una vez accionado el equipo cese todas sus funciones. este mecanismo tradicionalmente es un botón cabeza de hongo de color rojo, que al ser presionado queda enclavado. la principal razón por la cual se decidió colocar uno en el proyecto, es para evitar el daño al equipo y posibles incidentes imprevistos que desencadenen en una catástrofe mayor con importantes pérdidas materiales.

Además, otro motivo no menos importante; es obligación según las normativas industriales como parte de los estándares de seguridad laboral, evitar sanciones y asegurarse de que el lugar de trabajo sea seguro. Como se ilustra en la Tabla XII.

Tabla XII
TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL BOTÓN DE HONGO

Especificaciones	Pulsador Tipo Hongo Metálico
Precio	\$6.00
Voltaje de aislamiento normal	600V
Corriente Térmica Normal	10A



V-I. Componentes Electrónicos

V-II. **Arduino UNO:** En el contexto del desarrollo de un sistema de supervisión y regulación para el desarrollo de cultivos, se tomó la decisión de utilizar la placa de desarrollo electrónica Arduino UNO como se muestra en la figura 40.

En primer lugar, el factor económico juega un papel crucial en la elección del Arduino UNO. En comparación con otras placas de desarrollo o microcontroladores disponibles en el mercado, el Arduino UNO ofrece un precio altamente competitivo. Esto lo convierte en una opción atractiva tanto para aquellos que están dando sus primeras incursiones en el ámbito de la electrónica como para aquellos que buscan desarrollar proyectos más complejos sin incurrir en altos costos.

Además de su accesibilidad financiera, el Arduino UNO también se destaca por su diseño eficiente en cuanto a pines y conexiones. Con un total de 14 pines digitales y 6 pines analógicos.

Otra ventaja importante es la capacidad del Arduino UNO para manejar corriente continua de hasta 20 mA por pin. Como se ilustra en la Tabla XIII.



Figura 40. Arduino

Tabla XIII
 TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL ARDUINO

Sección	ARDUINO UNO
Precio	\$23.00
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7 – 12V
Pines digitales E/S	14
Pines digitales E/S con PWM	6
Pines de entrada analógica	6
consumo máximo de corriente	50 mA
Corriente continua por pin E/S	20mA
Velocidad de reloj	16 MHz
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) el bootloader usa 0.5 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
LED incluido	13
Convertidor USB a Serie	ATmega

V-12. **Sensor de DHT22:** En el cultivo hidropónico, el sensor DHT22 juega un papel crucial en el monitoreo y control del ambiente para asegurar un crecimiento óptimo de las plantas, específicamente en el monitoreo de la temperatura ambiente. Colocado estratégicamente dentro del área de cultivo, el sensor DHT22 proporcionará datos precisos y actualizados sobre la temperatura en tiempo real. Esto es de gran importancia, ya que la temperatura desempeña un papel fundamental en el crecimiento y la evolución de las plantas cultivadas en hidroponía. Como se ilustra en la Tabla XIV.

Mantener la temperatura en niveles apropiados es esencial para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema de cultivo, dado que una temperatura inadecuada puede afectar negativamente la absorción de nutrientes, el metabolismo y la tasa de crecimiento de las plantas. Con los datos proporcionados por el sensor DHT22, los agricultores podrán ajustar las condiciones ambientales y tomar medidas correctivas para mantener una temperatura óptima, garantizando así un crecimiento saludable y eficiente de las plantas en el cultivo hidropónico.

Tabla XIV
 TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DHT22

Especificaciones	DHT22
Precio	\$6.00
Voltaje de alimentación	3.3 – 5.5 V
Corriente durante medición	1- 1.5 mA
Humedad	0 – 100 RH
Rango de temperatura	-40°C a 80°C
Precisión	2% RH



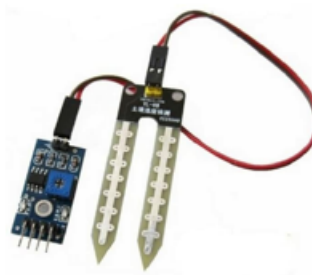
V-13. **Sensor De Humedad Del Suelo Higrómetro YL-69 + Módulo YL-38:** El Higrómetro YL-69 y el módulo YL-38 son componentes fundamentales para el cultivo hidropónico, ya que permiten el monitoreo y control preciso de la humedad del suelo. Ubicado estratégicamente en el medio de cultivo donde se encuentran las raíces, el Higrómetro YL-69 detecta la humedad presente en el suelo y envía los datos al módulo YL-38, que actúa como intermediario con el sistema de control. Este conjunto de sensores proporciona a los agricultores datos instantáneos acerca de la humedad del sustrato, lo que es esencial para tomar decisiones informadas sobre el riego.

El mantener un nivel de humedad adecuado es crucial para el crecimiento saludable de las plantas hidropónicas, evitando problemas relacionados con el exceso o la falta de agua. Gracias a la retroalimentación proporcionada por los sensores, los cultivadores pueden ajustar la frecuencia y cantidad de riego de manera precisa y eficiente. Esto permite una gestión óptima del cultivo, reduciendo el desperdicio de agua y asegurando que las plantas reciban la cantidad de humedad necesaria para un desarrollo óptimo.

En general, el uso de estos sensores en el cultivo hidropónico contribuye a maximizar la productividad y el rendimiento de las plantas, al tiempo que promueve una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos. Como se ilustra en la Tabla XV.

Tabla XV
TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL SENSORES YL38 Y YL69

Especificaciones	Sensor de humedad del suelo YL38 y YL69
Precio	\$3.00
Voltaje entrada	3.3 – 5 VCD
Voltaje de salida	0 – 4.2 V
Corriente durante medición	35 mA



V-14. **Display LCD 16 X 2 I2C:** La pantalla Display LCD 16x2 I2C en el cultivo hidropónico muestra de manera clara y legible la temperatura y la humedad ambiental. Colocada en un lugar accesible para los agricultores, la pantalla presenta en tiempo real los datos obtenidos a través de los sensores de temperatura y humedad del suelo. Esta información es crucial para mantener un control preciso del ambiente y asegurar condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas hidropónicas.

Al visualizar la temperatura y la humedad, los agricultores cuentan con la capacidad de tomar decisiones basadas en información para modificar el sistema de riego, la ventilación y otros factores que influyan en el clima del cultivo. De esta manera, se puede evitar el estrés térmico y el exceso o falta de humedad que podrían afectar negativamente el crecimiento y la salud de las plantas. Como se ilustra en la Tabla XVI.

La pantalla Display LCD 16x2 I2C proporciona una valiosa herramienta de monitoreo que permite una gestión más eficiente y precisa del cultivo hidropónico. La información en tiempo real sobre la temperatura y la humedad posibilita respuestas oportunas, adecuadas y favorece el crecimiento saludable y óptimo de las plantas en este tipo de sistema agrícola.

Tabla XVI
TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL DISPLAY

Especificaciones	Pantalla lcd 16x2 i2c
Precio	\$8.00
Voltaje de alimentación	5V
Caracteres	16 x 2
Consumo de corriente con luz de fondo total	25 mA (máx.)
Control	4 y 8 Bits
Tipo	LCD Matriz de punto



V-15. **Cooler:** La implementación de dos coolers, o ventiladores de enfriamiento, ha demostrado ser una medida efectiva para evitar el sobrecalentamiento en dispositivos críticos como el PLC y el Arduino UNO. Estos componentes electrónicos pueden generar calor en función de su procesamiento y carga de trabajo, lo que puede resultar perjudicial si no se controla adecuadamente. Aquí es donde entra en juego la instalación de dos coolers estratégicamente colocados. Como se ilustra en la Tabla XVII.

La colocación cuidadosa de los coolers en áreas clave de los dispositivos asegura que el flujo de aire sea dirigido de manera eficiente hacia las partes más propensas al calentamiento. Esto permite disipar el calor generado, manteniendo una temperatura interna en niveles seguros y evitando la acumulación excesiva de calor. Al contar con dos coolers trabajando en conjunto, se maximiza el efecto de enfriamiento y se minimiza la posibilidad de que las temperaturas alcancen niveles críticos.

Además de mitigar el riesgo de sobrecalentamiento, la implementación de dos coolers también puede contribuir a una mayor vida útil y confiabilidad de los dispositivos. El calentamiento prolongado puede acelerar el desgaste de los componentes internos y potencialmente afectar su funcionamiento. Al mantener temperaturas adecuadas mediante una ventilación eficiente, se reducen las posibilidades de fallos prematuros y se asegura un desempeño estable a lo largo del tiempo.

Tabla XVII
 TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LOS COOLERS

Especificaciones	DC BRUSHLESS FAN
Precio	\$30.00
Voltaje de alimentación	12V
Consumo de corriente	0.3A



V-16. **Fuente de Poder de 12 Voltios 10 Amperios:** Para la alimentación de Arduino, los sensores, el display y de los coolers se seleccionó una fuente de poder de 12 voltios 10 amperios, tomando en cuenta el consumo de cada componente electrónico utilizado.

Para obtener los cálculos primero se debe sumar las corrientes y el tiempo de uso de todos los componentes para obtener la corriente total que consumen:

Datos:

- 1 Arduino UNO: 50 mA.
- 1 sensor de DHT22: 1.5 mA.
- 4 sensores De Humedad Del Suelo Higrómetro Y1-69 + Módulo Y1-38: 35 mA.
- 1 Display LCD 16 X 2 I2C: 25 mA.
- 2 Cooler: 0.3 A.

Para calcular la corriente total del circuito del Arduino UNO, primero debemos sumar las corrientes individuales de todos los componentes. Luego, multiplicamos la corriente total por el tiempo de funcionamiento que es de 10 horas para obtener la carga total consumida en el circuito.

$$\text{Corriente total} = \text{Corriente del Arduino} + \text{Corriente de los sensores} + \text{Corriente del display} \quad (54)$$

$$\text{Corriente total} = (50mA + 4(35mA) + 1,5mA + 25mA) \quad (55)$$

$$\text{Corriente total} = 217,5mA \quad (56)$$

La corriente total del circuito es de 217.5mA.

Dado que el circuito funciona durante 10 horas continuas, podemos calcular la carga total consumida utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Carga total (Ah)} = \text{Corriente total (A)} * \text{Tiempo de funcionamiento (h)} \quad (57)$$

Primero, convertimos la corriente total a amperios:

$$\text{Corriente total (A)} = 217,5mA / 100 \quad (58)$$

$$\text{Corriente total (A)} = 0,2175A \quad (59)$$

Ahora, se calcula la carga total:

$$\text{Carga total (Ah)} = 0,2175A * 10h \quad (60)$$

$$\text{Carga total (Ah)} = 2,175Ah \quad (61)$$

Para calcular la corriente total del circuito de los coolers primero, sumamos las corrientes de los coolers y luego calculamos la carga total consumida durante 24 horas.

$$\text{Corriente total de los coolers} = \text{Corriente de un cooler} * \text{Cantidad de coolers} \quad (62)$$

$$\text{Corriente total de los coolers} = 0,3A * 2 \quad (63)$$

$$\text{Corriente total de los coolers} = 0,6A \quad (64)$$

La corriente total del circuito es de 0.6 A.

Dado que el circuito funciona durante 24 horas, podemos calcular la carga total consumida utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Carga total (Ah)} = \text{Corriente total (A)} * \text{Tiempo de funcionamiento (h)} \quad (65)$$

$$\text{Carga total (Ah)} = 0,6A * 24h \quad (66)$$

$$\text{Carga total (Ah)} = 14,4Ah \quad (67)$$

La elección de una fuente de alimentación de 12V a 10A demuestra una decisión consciente y apropiada para abastecer dos circuitos con distintos patrones de funcionamiento y demandas energéticas. En el primer circuito, que opera desde las 6 am hasta las 6 pm y tiene una carga total de 2.175A, la fuente proporciona suficiente capacidad de corriente para alimentar sus componentes sin esfuerzo, garantizando una operación fluida durante las horas diurnas. Por otro lado, en el segundo circuito, que opera ininterrumpidamente durante 24 horas y presenta una carga total de 14.4A, la fuente demuestra su capacidad para manejar de manera estable cargas más significativas. Esta elección de fuente de alimentación se traduce en una gestión eficaz de la energía, asegurando que ambos circuitos funcionen dentro de los parámetros deseados sin comprometer el rendimiento ni la confiabilidad.

V-17. Componentes Hidráulicos:

V-18. Bomba de Agua Principal: La elección de utilizar una bomba principal de 24V con una corriente de 5 A y una apertura de flujo de 10L por minuto en el cultivo hidropónico se fundamenta en la búsqueda de eficiencia y precisión. El voltaje reducido garantiza un consumo energético eficiente y seguro, mientras que el flujo de 10L por minuto asegura una distribución uniforme de nutrientes y agua a las plantas, fomentando su crecimiento saludable. La corriente de 5A es adecuada para un funcionamiento estable de la bomba, previniendo sobrecargas y asegurando un suministro constante a lo largo del ciclo de cultivo. Como se ilustra en la Tabla XVIII.

Tabla XVIII
TABLA DE ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA PRINCIPAL

model	3210	Power (max)	120 W
voltage	24 v	Current (max)	5 A
Flow (opening)	10 L/min	Pressure (setting)	1.3 MPa
Lift	80 m	Pressure (max working)	0.8 MPa



V-19. **Bomba Dosificadora de Nutrientes:** La adopción de la bomba dosificadora de nutrientes de 12V a 250 mA con una apertura de flujo de 4L por minuto en el cultivo hidropónico se basa en una cuidadosa consideración de eficiencia y precisión. La baja tensión de 12V garantiza una operación segura y energéticamente eficiente, mientras que el flujo de 4L por minuto asegura una entrega uniforme y controlada de nutrientes esenciales a las plantas, evitando la saturación. Esta selección técnica refleja la búsqueda de un crecimiento saludable y sostenible de las plantas a través de un suministro preciso y equilibrado de nutrientes en el entorno hidropónico. Como se ilustra en la Tabla XIX.

Tabla XIX
BOMBA DOSIFICADORA Y SUS ESPECIFICACIONES

Especificaciones	Mini bomba de agua 12 V
Precio	\$10.00
Caudal	240 L/hor (4 L/hor)
Voltaje	12 V DC
Corriente	250 mA (trabajando)



V-J. Implementación

V-J1. **Sistema de Riego:** En primer lugar, es importante destacar que el depósito principal cumple dos funciones clave: actúa como soporte para la estructura en forma de torre y simultáneamente, sirve como reservorio de agua. Como se ilustra en la figura 41. Este depósito tiene una capacidad total de 25.76 litros. Sin embargo, es relevante mencionar que solo se empleará una quinta parte de esta capacidad, ya que no es necesario utilizar el volumen completo para el funcionamiento óptimo de la torre y el suministro de agua a los cultivos.

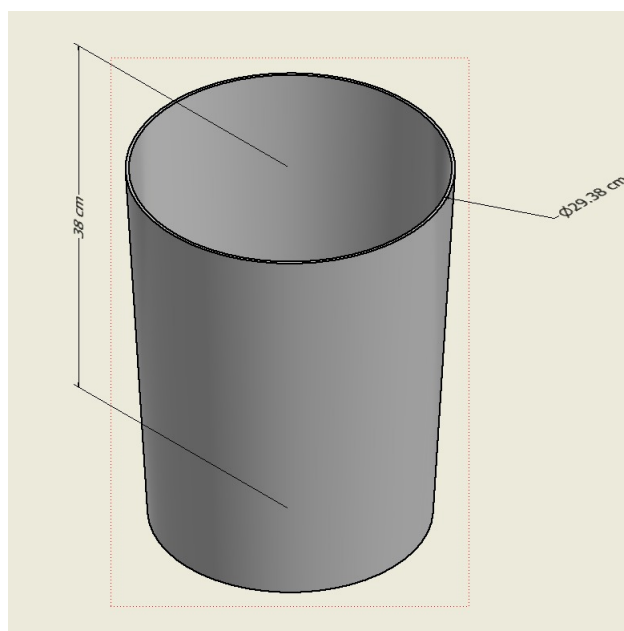


Figura 41. Deposito Principal

Se emplea una bomba que opera a un voltaje de 24 voltios. Esta bomba presenta una apertura de flujo que permite el paso de 10 litros por minuto y es capaz de generar una presión de 1.3 megapascales (MPa). La conexión de la bomba se establece mediante mangueras con dimensiones de 10 mm x 6.5 mm, las cuales se extienden directamente hasta el reservorio principal. De esta manera, se asegura el suministro eficiente de agua desde el reservorio a la estructura de la torre.

El flujo de salida de la bomba se encuentra conectado a una estructura de dimensiones específicas. Esta estructura tiene una longitud total de 1.55 metros y está compuesta por varios componentes. En primer lugar, se emplea una tubería de 0.5 pulgadas de diámetro con una longitud de 1.38 metros. Esta tubería se conecta a una cruz de 0.5 pulgadas, que a su vez está unida a una "T" de 0.5 pulgadas mediante un tubo adicional de 0.5 pulgadas. La longitud de este último tubo es de 12.95 centímetros. De esta manera, se establece una ruta de flujo desde la salida de la bomba a través de la estructura, permitiendo una distribución adecuada del fluido. Como se ilustra en la figura 42.



Figura 42. Sistema de Riego Interno

V-J2. Depósito de Nutrientes: El depósito destinado para los nutrientes, que tiene una capacidad máxima de 3.38 litros, se encarga de distribuir dichos nutrientes hacia el depósito principal de agua. Esta distribución se realiza mediante el uso de una bomba sumergible que opera a 12 voltios. La bomba sumergible es capaz de generar un caudal máximo de 4 litros por minuto, lo que asegura una transferencia eficiente de los nutrientes desde el depósito correspondiente hacia el depósito principal de agua. Como se ilustra en la figura 43.



Figura 43. Sistema de Riego Interno

V-K. Programación

V-K1. *Diagrama de Flujo del PLC:* En base al diagrama mostrado en la ilustración de la figura 44, se desarrollo la programación para el sistema hidropónico automatizado.

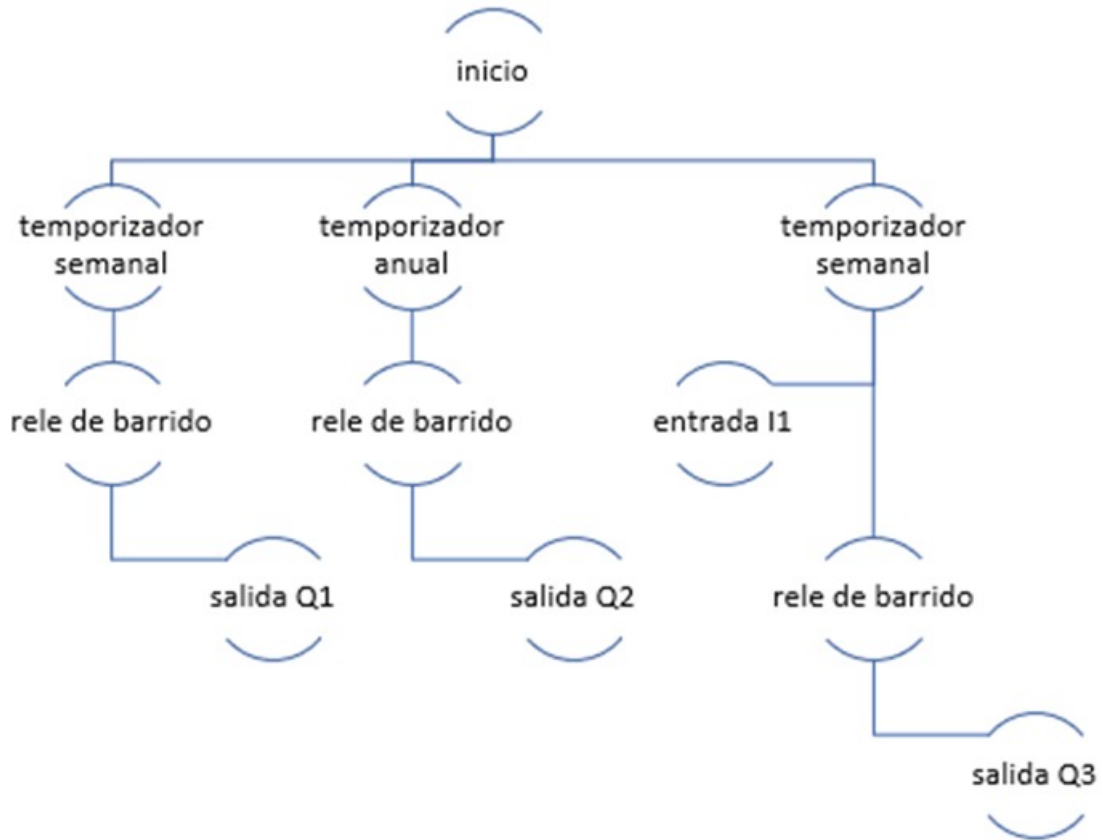


Figura 44. Diagrama de Flujo del PLC

V-K2. **Programación PLC:** En el código de programación, se ha incorporado un temporizador semanal en el que se determinan los momentos para que se activen o emitan señales en los días lunes, miércoles, viernes y domingo. En la sección siguiente del código, se localiza un bloque que se dedica al control del relé de barrido. Este bloque se encarga de asegurar que la señal se mantenga activa durante un intervalo específico de 10 segundos. Siguiendo los parámetros establecidos, la bomba principal, la cual está enlazada a la salida Q1, funcionará durante los días y el lapso de tiempo que fueron programados previamente.

Para la salida Q2, se configura un temporizador anual que, en intervalos mensuales, pone en funcionamiento la bomba dosificadora. La activación de esta bomba está restringida a una duración de 15 segundos debido a la inclusión del relé de barrido.

Por último, en relación con la salida Q3 del Arduino, se introduce una compuerta lógica OR. Se ha enlazado un temporizador semanal a esta compuerta, el cual se activa diariamente en el intervalo horario de 08:00 am a 18:00 pm. Además, esta salida está conectada a la entrada I1, que cumple la función de un selector. Esta entrada posibilita la activación del sistema de sensores sin estar condicionado por la hora programada. Como se ilustra en la figura 45.

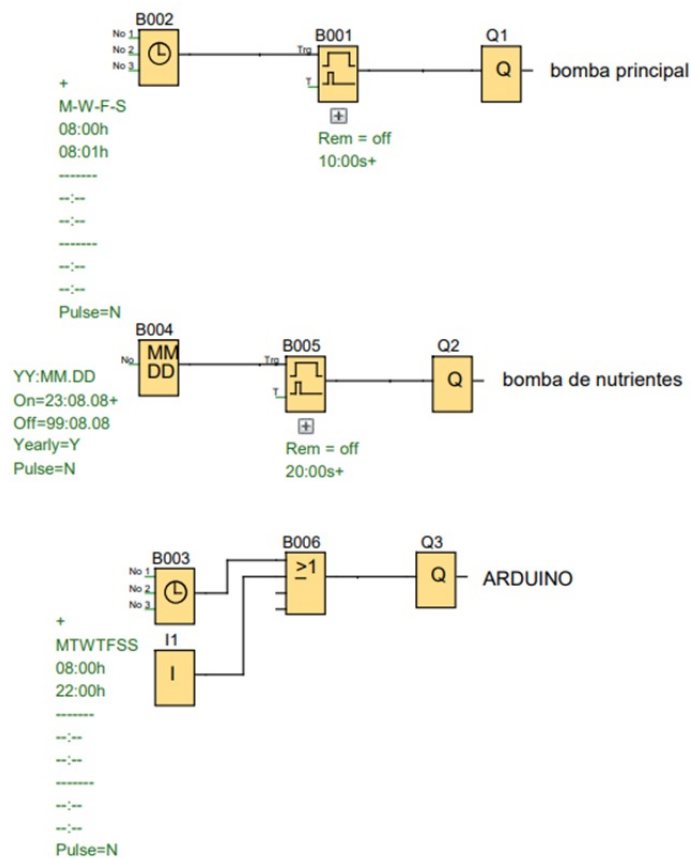


Figura 45. Programa del PLC

V-K3. **Diagrama de Flujo del Arduino:** En base al diagrama mostrado en la ilustración de la figura 46 se desarrollo la programación para el sistema de sensores.

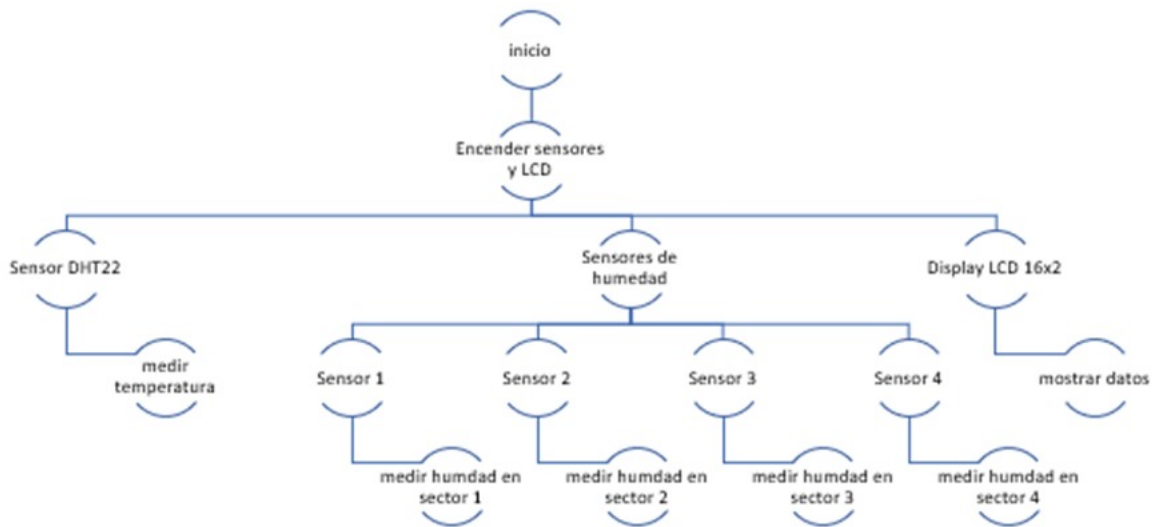


Figura 46. Diagrama de Flujo del Arduino

V-K4. **Programación Arduino:** Como se ilustra en la figura 47. Estas son directivas del preprocesador para incluir las bibliotecas necesarias para tu proyecto. La biblioteca DHT.h es para el sensor de temperatura y humedad DHT22, Wire.h es para la comunicación I2C, y LiquidCrystal_I2C.h es para controlar una pantalla LCD de caracteres mediante I2C.

```
#include "DHT.h"  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Figura 47. Directivas

En el siguiente bloque se utiliza la directiva #define para determinar los pines de entrada analógica para los sensores de humedad. Como se ilustra en la figura 48.

```
#define sensor A0 //pin sensor humedad  
#define sensor A1  
#define sensor A2  
#define sensor A3
```

Figura 48. Pin Sensor de Humedad

En esta sección se establece la asignación del pin digital (DHTPIN) al cual está conectado el pin de datos del sensor DHT22. Además, se especifica el tipo de sensor DHT como DHT22 (DHTTYPE). Como se ilustra en la figura 49.

```
#define DHTPIN 2 //pin sensor DHT22
#define DHTTYPE DHT22
```

Figura 49. Pin Sensor DHT

En este fragmento del código, se generan objetos pertenecientes a las clases DHT y LiquidCrystal I2C, siendo inicializados con los valores correspondientes de pin y dirección previamente definidos. Esta acción posibilita la interacción con el sensor DHT22 y la pantalla LCD conectada mediante la interfaz I2C. Como se ilustra en la figura 50.

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Figura 50. Display

En esta sección, se definen las variables destinadas a almacenar los datos de humedad provenientes de los cuatro sensores. Inicialmente, se les asigna un valor de 0 como punto de partida. Como se ilustra en la figura 51.

```
int HUM1 = 0; // guardar el valor del sensor de humedad
int HUM2 = 0;
int HUM3 = 0;
int HUM4 = 0;
```

Figura 51. Variables

En esta sección, se encuentra la función de configuración que se ejecuta una sola vez al inicio del microcontrolador. Durante esta etapa, se inicia la comunicación serial, se configura la pantalla LCD, se enciende la retroiluminación de la LCD y se establece la conexión con el sensor DHT22 para facilitar la obtención de datos de humedad y temperatura. Como se ilustra en la figura 52.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  dht.begin();
}
```

Figura 52. Mostrar en Display

Dentro de la función loop, se están adquiriendo lecturas analógicas de los sensores de humedad ubicados en los pines A0, A1, A2 y A3. Posteriormente, estas lecturas se reescalan y asignan a un rango numérico de 0 a 100, el cual representa el porcentaje de humedad correspondiente. Como se ilustra en la figura 53.

```
void loop()
{
  int HUM1 = map(analogRead(A0), 0, 1023, 100, 0);
  int HUM2 = map(analogRead(A1), 0, 1023, 100, 0);
  int HUM3 = map(analogRead(A2), 0, 1023, 100, 0);
  int HUM4 = map(analogRead(A3), 0, 1023, 100, 0);
}
```

Figura 53. Rango de Pines

En este segmento, se efectúa la lectura de la temperatura procedente del sensor DHT22, y esta lectura es visualizada en la pantalla LCD. Consecutivamente, se realiza un borrado de la pantalla LCD, se da formato e imprime el valor de temperatura, seguido de una pausa de 5 segundos antes de proceder a borrar nuevamente la LCD. Los bloques subsiguientes de código siguen una estructura similar, en los cuales se leen y presentan los valores de humedad de los cuatro sensores en la pantalla LCD, intercalados con intervalos de pausa. Como se ilustra en la figura 54.

```
int TEMP = dht.readTemperature();
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("Temperatura:");
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print(TEMP);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print((char)223);
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("C");
delay(5000);
lcd.clear();
```

Figura 54. Lectura de Datos

Finalmente, hay un retardo de 200 milisegundos al final del loop. Esto introduce una pausa entre las iteraciones del loop para controlar la velocidad de actualización de los datos. Como se ilustra en la figura 55.

```
delay(200);
}
```

Figura 55. Pausa de Bucle

V-L. *Requerimientos de Plantas*

V-L1. **Menta:** La menta, una planta apreciada por su frescura y versatilidad, como se ilustra en la figura 56, alcanza su máximo potencial mediante una combinación de nutrientes esenciales y condiciones ambientales específicas. El nitrógeno desencadena un vigoroso crecimiento y vitalidad en las hojas, al fomentar la síntesis de proteínas y clorofila. Por otro lado, el fósforo promueve un sistema radicular sólido y participa en la formación de flores y semillas, mientras que el potasio refuerza la resistencia contra enfermedades y el estrés. Estos nutrientes, respaldados por micronutrientes como hierro y zinc, se amalgaman en un sustrato idóneo, sentando las bases para el florecimiento saludable y aromático de esta planta. Además, para su óptimo desarrollo, la menta busca temperaturas moderadas, generalmente entre 15°C y 25°C, que favorecen la intensidad de sus sabores y aromas característicos. (Gomez Garcia et al. 2019)



Figura 56. Menta

V-L2. **Albahaca:** La albahaca, una hierba aromática apreciada por su sabor distintivo, como se ilustra en la figura 57, requiere de nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo óptimos. El potasio es fundamental en su dieta nutritiva, ya que impulsa la producción de los aceites esenciales que le otorgan su fragancia y sabor característicos. Además, la albahaca se beneficia de nitrógeno para un crecimiento foliar saludable y para mantener su color verde vibrante. Estos nutrientes, junto con otros micronutrientes como hierro y manganeso, se combinan en un sustrato bien equilibrado, proporcionando a la albahaca las condiciones ideales para prosperar y deleitar con su aroma y sabor en la cocina y más allá. En términos de temperatura, la albahaca prefiere climas cálidos, con temperaturas entre 18°C y 30°C, lo que promueve su crecimiento vigoroso y la intensificación de sus atributos aromáticos y gustativos. (Aguirre Gómez 2023)



Figura 57. Albahaca

V-L3. **Oreganón:** El oreganón, es una planta herbácea, como se ilustra en la figura 58, que busca nutrientes específicos para su crecimiento saludable. El calcio es esencial para fortalecer su estructura celular y prevenir deficiencias que podrían afectar su robustez y resistencia. Además, el magnesio desempeña un papel clave en la fotosíntesis y la producción de clorofila, contribuyendo al color verde intenso de sus hojas. Estos nutrientes, junto con otros micronutrientes como zinc y boro, se mezclan en un sustrato equilibrado, brindando a la *Plectranthus amboinicus* el entorno propicio para prosperar y realzar con su sabor característico en la gastronomía y más allá. En términos de temperatura, esta planta prefiere climas cálidos, con temperaturas entre 20°C y 30°C, lo que fomenta su crecimiento vigoroso y potencia su perfil aromático y gustativo. (Castro Borba et al. 2021)



Figura 58. Oreganón

V-L4. **Selección de Nutrientes:** Durante el proceso de investigación, se verificó la existencia en el país de una marca comercial dedicada a nutrientes, como se muestra en la Tabla XX, diseñados de manera específica para su implementación en sistemas de hidroponía, con un enfoque particular en cultivos de hojas. Como consecuencia, se tomó la decisión de emplear dicha fórmula comercial con el propósito de asegurar tanto el suministro adecuado de nutrientes como el desarrollo óptimo de las plantas alojadas en el sistema hidropónico. Este producto en particular consta de tres componentes químicos, cuya introducción requiere una estricta adherencia a proporciones especificadas: concretamente, 2 mililitros de solución A, 1 mililitro de solución B y 1 mililitro de solución C, por cada volumen de un litro de agua empleado.

Tabla XX
SOLUCIÓN NUTRITIVA ABC

Solución nutritiva	
Nitrógeno (N)	68.70%
Fosforo (F)	10.09%
Potasio (K)	30.84%
Amonio (NH4+)	4.22%
Calcio (Ca)	33.65%
Magnesio (Mg)	19.63%
Boro (B)	0.17%
Cobre (Cu)	0.03%
Hierro Quelatado (EDDHA)	1.12%
Manganeso (Mn)	0.20%
Zinc	0.05%
Molibdeno	0.01%



V-L5. Selección de Sustrato a Utilizar: En algunos artículos consultados, se menciona que al elegir un sustrato se deben considerar los siguientes criterios: adecuadas propiedades físicas, químicas y biológicas para el crecimiento de los cultivos, relación costo-beneficio, disponibilidad, facilidad de manejo y minimización del impacto ambiental, además de garantizar la ausencia de patógenos.

Con relación a los sustratos, se explica que estos constituyen materiales sólidos distintos al suelo, utilizados como medios de crecimiento para plantas en la agricultura protegida. Pueden ser de origen orgánico o inorgánico y cumplen un papel esencial tanto en el anclaje del sistema radicular como en la nutrición de las plantas. La elección de un sustrato adecuado debe basarse en los criterios previamente mencionados.

De acuerdo con la fuente citada, se resaltan las cualidades y ventajas de emplear fibra de coco como sustrato en la agricultura, como se ilustra en la figura 59. Estas incluyen su costo reducido para el control de plagas y enfermedades radiculares, disponibilidad, manejo sencillo, compatibilidad, óptima porosidad y su carácter ecológico al tratarse de un recurso renovable y resistente.

Asimismo, se subraya la importancia de considerar factores como la edad del coco, el proceso de compostaje, la granulometría y la presentación del sustrato de coco. La fibra de coco exhibe una notable capacidad de retención de humedad, lo que la hace propicia para la fertirrigación y la habilidad de mantener niveles elevados de humedad sin llegar a la saturación, drenando excesos y manteniendo una adecuada relación aire-agua. Finalmente, se destaca la resistencia de la fibra de coco a la degradación por organismos, lo que le permite perdurar más allá de un solo ciclo de producción, es decir, entre 3 y 5 años. (Torres et al. 2019)



Figura 59. Fibra de Coco

VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

VI-A. Pruebas Eléctricas

Como se puede observar en el Anexo 4 se está llevando a cabo la verificación del correcto funcionamiento eléctrico del sistema.

La etapa inicial del proyecto consistió en el desarrollo del sistema eléctrico. La principal preocupación era la posibilidad de que la fuente de alimentación no fuera lo bastante robusta para manejar el funcionamiento simultáneo de todos los equipos. No obstante, dado que todas las funciones operan en diferentes etapas, este problema se solventó de manera efectiva. Además, se tomó la decisión de adquirir una fuente de alimentación específica para el Arduino, debido a la discrepancia de voltaje y al tiempo de actividad continuo del circuito. En la figura 60, es posible observar todos los componentes eléctricos ya ensamblados.

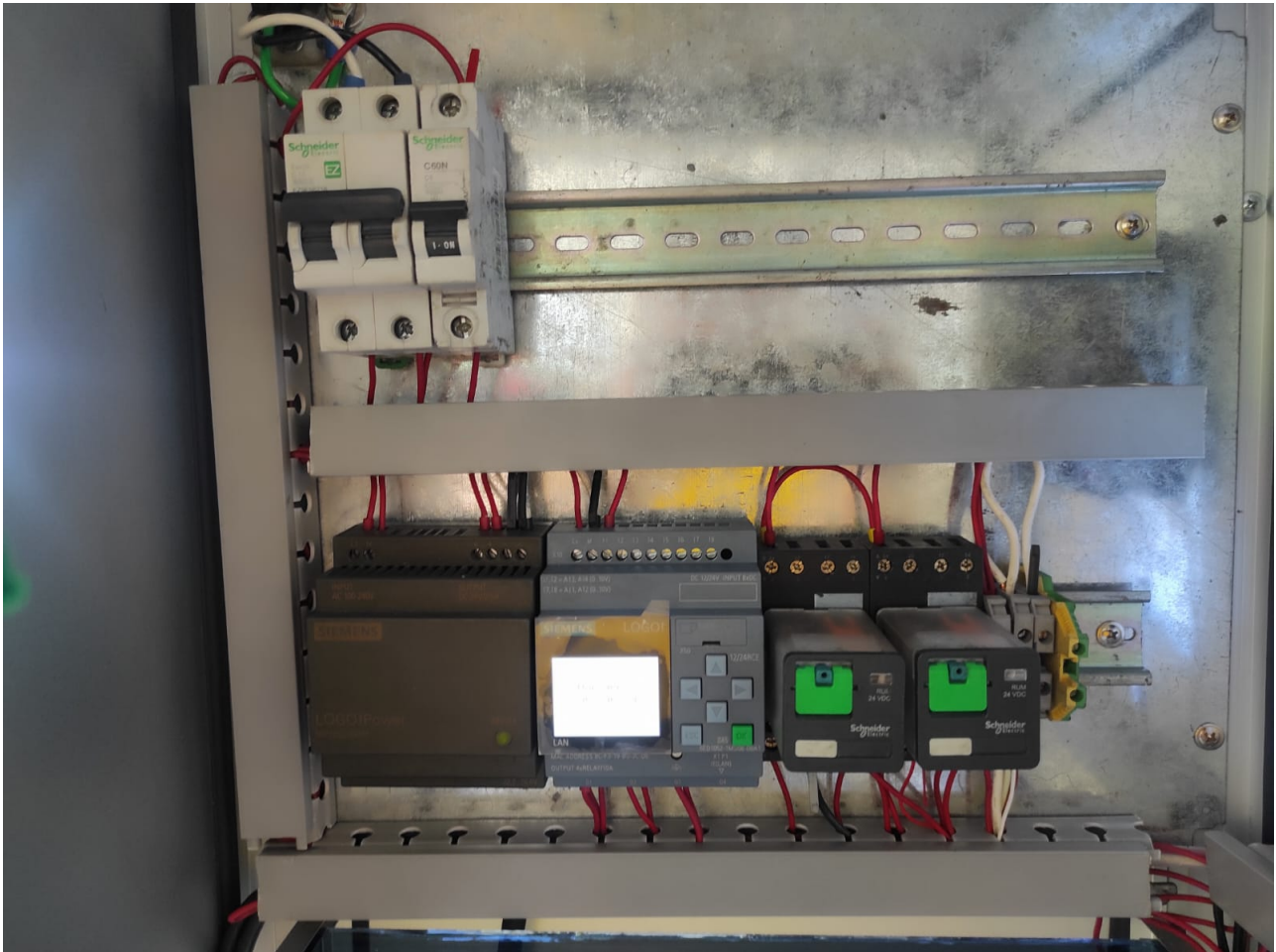


Figura 60. Pruebas Eléctricas

VI-B. Pruebas hidráulica

La evaluación hidráulica comenzó con las pruebas de rendimiento de las bombas para asegurarse de que tuvieran la potencia adecuada para elevar el agua hasta el sistema de riego. En segundo lugar, se llevó a cabo una revisión exhaustiva para garantizar que no existieran fugas en el sistema.

No obstante, durante la primera semana de funcionamiento, se identificaron fugas en la carcasa externa del proyecto. Para resolver este problema, se optó por sellar los orificios con pegamento epoxi. Hacia la tercera semana, se tomó la decisión de reemplazar las mangueras por otras de mayor robustez. Después de este ajuste, el sistema hidráulico funcionó sin cambios notables. En la figura 61, es posible observar el sistema hidráulico ya ensamblados.

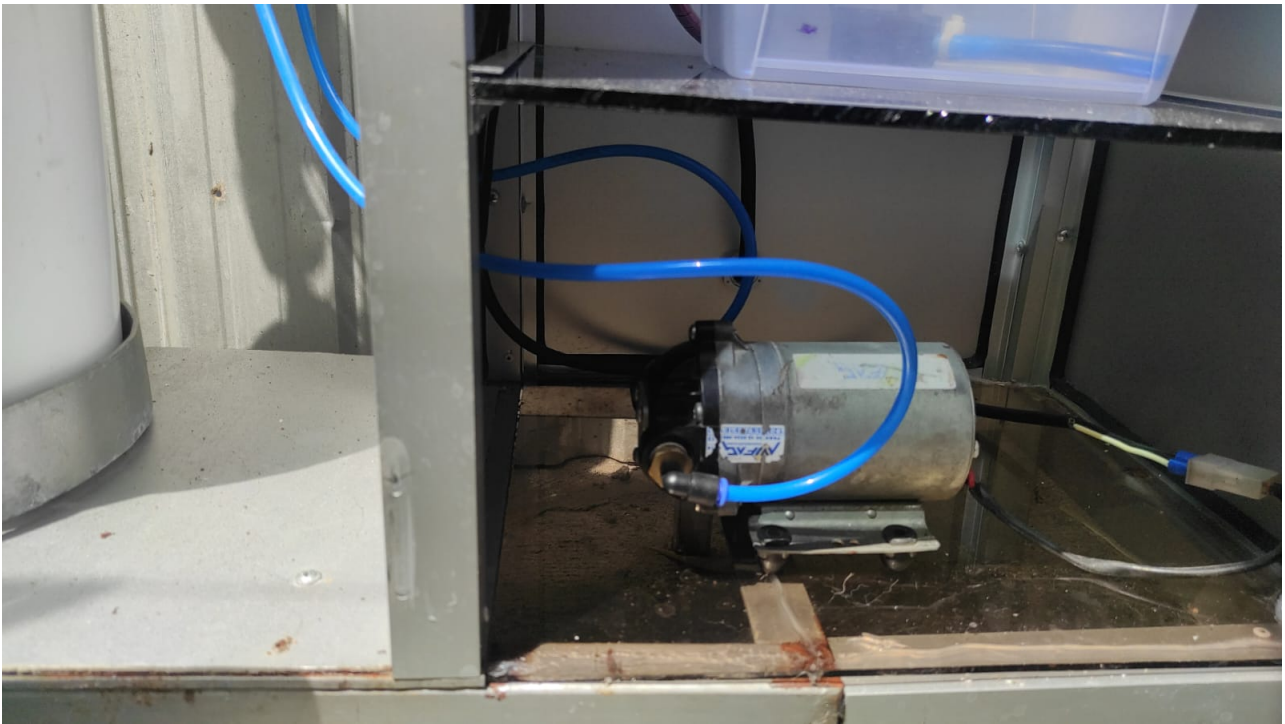


Figura 61. Pruebas Hidráulica

VI-C. Pruebas Electrónicas

La automatización del sistema comenzó con la programación del PLC. Inicialmente, este controlaba la bomba principal y también estaba configurado como el mecanismo de paro de emergencia. Sin embargo, posteriormente se decidió transferir la función de paro de emergencia al sistema eléctrico y se eliminó su programación en el PLC.

En relación a la programación de la bomba principal, se amplió con dos segmentos adicionales, permitiendo que la bomba funcionara durante 10 segundos y luego tuviera un período de reposo de 4 horas. Debido a que el sustrato utilizado retenía la humedad por un tiempo prolongado, se modificó el tiempo de reposo a 24 horas. Además, se implementó la programación de control para la bomba dosificadora de nutrientes, que se activaba cada 15 segundos mensualmente.

A partir de la quinta semana, se decidió ajustar el programa de riego para que ocurriera cada 48 horas. Estos cambios en la programación permitieron un mayor control y eficiencia en la gestión del sistema automatizado.

Con la incorporación del sistema de sensores, se tomó la decisión de controlar el encendido del Arduino, como se ilustra en la figura 62, mediante el PLC. Esto tuvo como consecuencia la completa automatización de todo el sistema electrónico, permitiendo una coordinación eficiente y sincronizada de todas las funciones y componentes del proyecto.

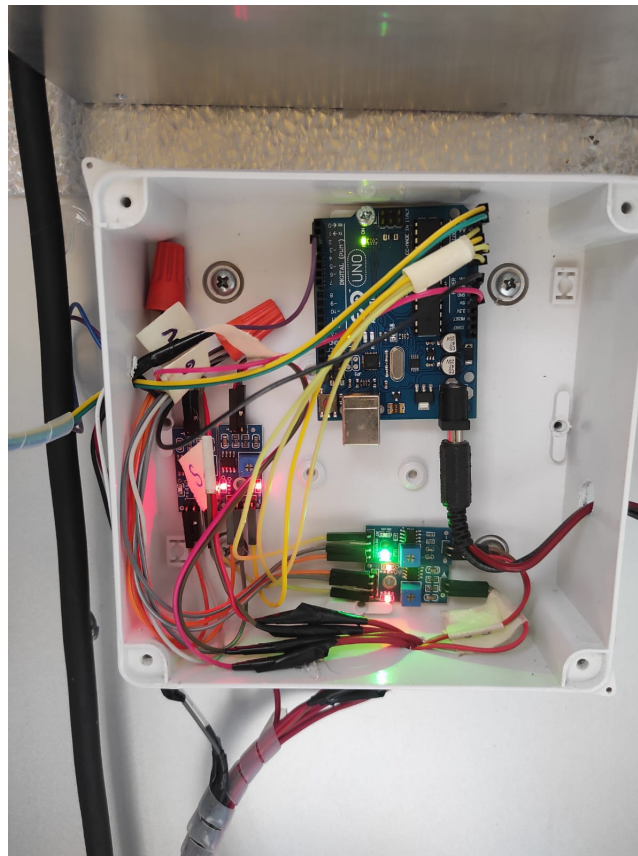


Figura 62. Pruebas Eléctricas

VI-D. Pruebas de Sensores

Al principio, se empleó un sensor de temperatura y un sensor de humedad, junto con un display de 16x2 para visualizar los datos recopilados. Sin embargo, más adelante se optó por ampliar la funcionalidad agregando más sensores de humedad para lograr una medición más precisa en diferentes áreas del sistema. Como se ilustra en las figuras 63 y 64.

Dado el problema de sobrecalentamiento que surgió, se tomó la medida de instalar dos ventiladores (cooler) con el propósito de disipar el calor generado tanto por el sistema de control como por el sistema de medición. Esta solución permitió mantener las temperaturas en niveles adecuados y asegurar un funcionamiento óptimo del sistema en su conjunto. En el Anexo 6 se detalla la implementación del sistema de sensores.



Figura 63. Lectura del Sensor de Temperatura



Figura 64. Lectura de los Sensores de Humedad

VI-E. Pruebas de Sustrato

En la fase de revisión teórica, se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre distintos tipos de sustratos disponibles para el proyecto. Tras el análisis, se llegó a la conclusión de que la fibra de coco era la opción más adecuada debido a su capacidad de retención de agua, su pH neutro, su costo razonable y su amplia disponibilidad en el mercado, como se ilustra en la figura 65. Además, durante la implementación, se observó que la fibra de coco superaba las expectativas en términos de retención de humedad.

Sin embargo, este alto nivel de retención de humedad implicó ajustar el tiempo entre cada riego. Fue necesario aumentar el intervalo de tiempo entre las irrigaciones para permitir que el sustrato se secara adecuadamente antes de la siguiente dosis de agua. Esta adaptación permitió optimizar el sistema de riego y mantener un entorno adecuado para el crecimiento de las plantas.



Figura 65. Fibra de Coco

VI-F. Selección de Nutrientes

Inicialmente, se empleó ácido fosfórico como fuente de nutrientes, como se ilustra en la figura 66. Sin embargo, se constató que este ácido se utiliza más comúnmente como fertilizante que como una verdadera fuente de nutrientes esenciales. Se observó que las plantas no estaban desarrollándose de acuerdo a lo esperado. En el proceso de investigación, se descubrió que en el país había una marca comercial de nutrientes específicamente diseñada para la hidroponía, especialmente para cultivos de hojas. Esto llevó a tomar la decisión de cambiar a este producto comercial para garantizar una nutrición adecuada y un desarrollo óptimo de las plantas en el sistema hidropónico, como se ilustra en la figura 67.

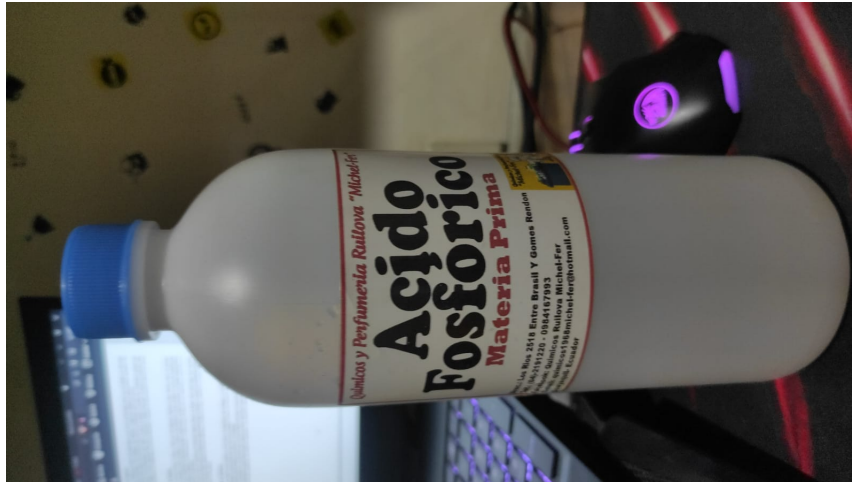


Figura 66. Ácido Fosfórico

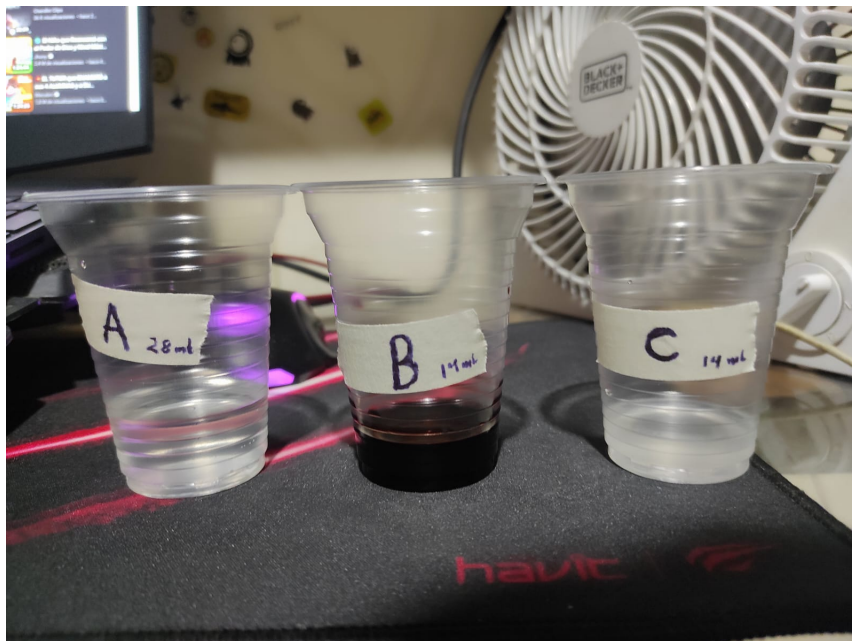


Figura 67. Solución A+B+C

VII. RESULTADOS

VII-A. *Aprovechamiento de Espacio*

La presente estructura exhibe dimensiones que comprenden una altura de 1.90 metros, una longitud de 75 centímetros y un ancho de 35 centímetros. Estas medidas favorecen su destacada adaptabilidad en espacios reducidos. Además, la disposición vertical de este sistema de cultivo permite alojar hasta 16 plantas, a diferencia de otros sistemas como el riego por aspersión, que requiere separación entre cultivos de 15 a 30 centímetros. Esta característica no solo maximiza la eficiencia en el uso del espacio, sino que también favorece la optimización de los recursos disponibles para la agricultura. En consecuencia, se consolida como una solución altamente idónea para entornos donde la disponibilidad de espacio representa una limitante, permitiendo simultáneamente un aumento significativo en la capacidad de producción vegetal.

VII-B. *Monitoreo de Parámetros de Cultivo*

Los hallazgos de esta investigación destacan los beneficios de implementar sensores para supervisar la temperatura y humedad en el cultivo. Esta estrategia permite un control más preciso y un seguimiento en tiempo real del desarrollo de las plantas. La integración de sensores proporciona información valiosa para ajustar y optimizar las condiciones de crecimiento, resultando en un crecimiento más saludable y productivo de las plantas al adaptarse a las necesidades individuales de cada área del cultivo. La presentación visual de los datos recopilados facilita la interpretación y toma de decisiones informadas por parte del usuario.

VII-C. *Plantas*

Como se muestra en la Tabla XXI, se presentan tres parámetros clave relacionados con el riego de las plantas. En primer lugar, se encuentra la "Duración de Riego," establecida en 10 segundos, que representa el tiempo de riego por ciclo. A continuación, la "Frecuencia de Riego" varía en múltiplos de 4 horas, incluyendo intervalos de 4, 6, 8, 16, 24 y 48 horas entre riegos. Por último, la columna de Resultados refleja las observaciones del estudio. Se observó que en intervalos de riego desde 4 hasta 24 horas, hubo descomposición vegetal, mientras que a las 48 horas, las plantas mostraron una salud normal, indicando la ventaja de periodos de descanso más largos. El crecimiento del cultivo se muestra en el Anexo 5.

Tabla XXI
TABLA COMPARATIVA DE TIEMPOS DE IRRIGACIÓN

duracion de riego	frecuencia de riego	resultado
10 segundos	4 horas	descomposicion vegetal por exceso de agua
10 segundos	6 horas	descomposicion vegetal por exceso de agua
10 segundos	8 horas	descomposicion vegetal por exceso de agua
10 segundos	16 horas	descomposicion vegetal por exceso de agua
10 segundos	24 horas	descomposicion vegetal por exceso de agua
10 segundos	48 horas	salud de las plantas normal

VII-D. Consumo de Agua

Como se muestra en la Tabla XXII, se presenta una comparación entre tres sistemas de riego: aspersión, goteo y recirculación, considerando la cantidad de agua utilizada, la frecuencia de riego y la reutilización del agua. El riego por aspersión consume 5-6 litros por metro cuadrado con un intervalo de 48 horas sin reutilización. En el caso del riego por goteo, se utilizan 8 litros con riegos cada 24 horas sin reutilización. Por último, el riego por recirculación emplea solamente 2 litros con riegos cada 48 horas y reutilización del agua. En consecuencia, se destaca la eficacia del sistema de riego por recirculación propuesto en el proyecto debido a su menor consumo de agua y la capacidad de reutilizarla.

Tabla XXII
TABLA COMPARATIVA DE GASTO DE AGUA

Sistema de riego	Cantidad de agua utilizada	Frecuencia de riego	Reutilización de agua
Riego por aspersión	5-6 litros/ m ²	48 horas	no
Riego por goteo	8 litros	24 horas	no
Riego por recirculación	2 litros	48 horas	si

VII-E. Consumo Eléctrico

En esta sección, se enfocará exclusivamente en los cálculos necesarios para determinar el costo total de consumo eléctrico. Se analizará detalladamente el uso de energía en el proyecto, evaluando los dispositivos y sistemas involucrados, así como las tarifas eléctricas correspondientes. Al final de esta sección, se obtendrá un estimado preciso de cuánto se debe pagar en concepto de electricidad, proporcionando una visión clara de los costos asociados al consumo eléctrico del proyecto.

Datos:

Tarjetas = 0.1 A

Bomba principal = 0.43 A

Bomba dosificadora = 0.04 A

Cálculo de Consumo Eléctrico Mensual de las Tarjetas.

$$0,1 \text{ A} * 24 \text{ hor} * 30 \text{ day} = 72 \text{ A} \quad (68)$$

$$72 \text{ A} * 120 \text{ V} = 8640 \text{ W} \quad (69)$$

Cálculo de Consumo Eléctrico Mensual de la Bomba Principal.

Primero, se debe obtener la cantidad de horas que estará encendida la bomba principal.

En un mes con aproximadamente 30 días, y con cada ciclo de encendido y apagado de la bomba que dura 48 horas, lo que equivale a 2 días por ciclo, se pueden identificar 15 ciclos completos de encendido y apagado en un mes. Luego, para determinar cuántos segundos en total estará la bomba encendida durante ese mes, se debe multiplicar la duración de cada ciclo (10 segundos) por el número de ciclos:

$$10 \text{ segundos} / \text{ ciclo} * 15 \text{ ciclos} = 150 \text{ segundos en total} \quad (70)$$

Por lo tanto, la bomba estará encendida durante un total de 150 segundos en un mes.

Para obtener el resultado en horas, se tomaron los 150 segundos y se dividieron entre 3600 segundos por hora (que equivalen a 60 segundos por minuto y 60 minutos por hora):

$$150 \text{ segundos} / 3600 \text{ segundos por hora} = 0,0417 \text{ horas} \quad (71)$$

Por lo tanto, la bomba estará encendida durante aproximadamente 0.0417 horas en un mes.

Teniendo el total de horas se procedes q realizar los cálculos del consumo eléctrico.

$$0,43A * 0,00417hor = 0,017A \quad (72)$$

$$0,017A * 120V = 2,15W \quad (73)$$

Cálculo de Consumo Eléctrico Mensual de la Bomba Dosificadora.

$$0,04 \text{ A} * 0,0041 \text{ hor} = 0,000164 \text{ A} \quad (74)$$

$$0,000164 \text{ A} * 120 \text{ V} = 0,0196 \text{ W} \quad (75)$$

Una vez que se ha calculado la potencia de todos los sistemas, se procede a sumarlos y luego se multiplica por el valor de kilovatio por hora en el país, que es de 0.028 centavos de dólar.

$$8640 \text{ W} + 2,15 \text{ W} + 0,0196 \text{ W} = 8642,16 \text{ W} \quad (76)$$

$$8642,16 \text{ W} / 1000 \text{ KW} = 8,64 \text{ KW} \quad (77)$$

$$8,64 \text{ KW} * \$0,028 = \$0,24 \quad (78)$$

Por lo tanto el consumo total eléctrico mensual sera de 0.24 centavos de dolar.

IX. PRESUPUESTO

Tabla XXIV
PRESUPUESTO

Presupuesto			
Descripción	Unidades	Precio unitario	Total
Codo 2"x45°	16	\$1,00	\$16,00
Tubería PVC 4"	1	\$14,00	\$14,00
Tapón para tubería PVC 4"	1	\$2,00	\$2,00
T de ½"	1	\$0,60	\$0,60
Cruz ½"	1	\$0,60	\$0,60
Tapón de ½"	4	\$0,50	\$2,00
Tubería PVC ½"	1	\$10,00	\$10,00
Reservorio principal	1	\$20,00	\$20,00
Reservorio para nutrientes	1	\$10,00	\$10,00
Estructura base/gabinete	1	\$134,00	\$134,00
Arduino uno	1	\$23,00	\$23,00
Sensor de DHT22	1	\$6,00	\$6,00
Sensor De Humedad Del Suelo	4	\$3,00	\$12,00
Display LCD 16 X 2 I2C	1	\$8,00	\$8,00
Cooler	2	\$30,00	\$60,00
Fuente de poder de 12 voltios 10 amperios	1	\$25,00	\$25,00
PLC Logo!	1	\$120,00	\$120,00
Selector	1	\$6,00	\$6,00
Botoneras	2	\$15,00	\$30,00
Luz piloto	2	\$2,00	\$4,00
Relés	2	\$15,00	\$30,00
Botón de paro de Emergencia	1	\$6,00	\$6,00
Fuente De Alimentación Logo 24V/2.5A	1	\$118,00	\$118,00
Breakers C60N	1	\$15,00	\$15,00
Breakers Easy9 2x16A	1	\$15,00	\$15,00
Bomba de agua principal	1	\$70,00	\$70,00
Bomba dosificadora de nutrientes	1	\$10,00	\$10,00
Organizador de cables tipo espiral	1	\$9,00	\$9,00
Cable concéntrico 3x12	3	\$5,00	\$15,00
Rollo de cable N°14	1	\$36,00	\$36,00
Rollo de cable N°16	1	\$36,00	\$36,00
TOTAL			\$863,20

X. CONCLUSIONES

- La implementación de una estructura de cultivo vertical demostró ser una solución altamente eficaz y eficiente para abordar la limitación de espacio en la agricultura. Los resultados del proyecto permiten el cultivo simultáneo de hasta 16 plantas en un área reducida de 75 x 35 cm. La capacidad de cultivar un número significativo de plantas en un espacio compacto es un buen enfoque para abordar los desafíos actuales en la producción de alimentos, especialmente en entornos urbanos donde el espacio es limitado y valioso.
- En el proyecto, el diseño de un sistema de recirculación ha demostrado su alta efectividad al optimizar la entrega de nutrientes a las raíces de las plantas. Esta estrategia destaca especialmente en comparación con los enfoques tradicionales de cultivo, ya que permite la reutilización del agua utilizada, evitando así un desperdicio completo de este recurso.
- La integración de sensores en los sectores de cultivo ha permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales críticas para el desarrollo de las plantas. La medición constante de la temperatura y la humedad en diferentes áreas del cultivo ha proporcionado información valiosa para ajustar y optimizar las condiciones de crecimiento de manera específica, la temperatura oscila de 25 a 30 grados con una humedad en suelo de 55 a 70 %. La presentación de los datos recopilados en un display separado por sectores es un enfoque altamente práctico para interpretar de manera sencilla las condiciones de crecimiento en áreas diferentes del cultivo.
- La evaluación de la eficiencia del sistema de riego es esencial para determinar su impacto en el desperdicio de agua en comparación con métodos de cultivo tradicionales. Específicamente, se utiliza 6 litros de agua con solución nutritiva a lo largo de 4 semanas, sin necesidad de realizar cambios de agua ni agregar más solución. Esta eficiencia contrasta con los sistemas de riego por aspersión, que consumen entre 5 y 6 litros con una frecuencia de riego cada 48 horas, así como el riego por goteo, que demanda 8 litros cada 24 horas.

XI. RECOMENDACIONES

- Es aconsejable llevar a cabo una investigación acerca de los requisitos de las plantas antes de proceder a adquirir los nutrientes correspondientes.
- Evitar ajustar la configuración del PLC a menos que sea absolutamente imprescindible.
- Realizar una inspección mensual de los depósitos.
- Si decides no utilizar el sustrato recomendado, opta por uno que tenga una alta retención de humedad.

XII. ANEXOS

XII-A. Anexo 1 Diseños Estructural

Como se puede observar en las figuras 68, 69, 70 y 71, se presenta detalladamente el proceso de construcción y ensamblaje de la estructura.



Figura 68. Medición de Tubo para la Construcción del la Torre



Figura 69. Construcción de la Torre Finalizada



Figura 70. Montaje de Torre y Reservorio



Figura 71. Primer Montaje del Sistema

XII-B. Anexo 2 Montaje Eléctrico

Como se puede observar en la figura 72 se presenta detalladamente el proceso de los componentes eléctrico.



Figura 72. Montaje de PLC y Componentes

XII-C. Anexo 3 Montaje Electrónico

Como se puede observar en la figura 73 se presenta detalladamente el proceso de los componentes eléctrico.



Figura 73. Montaje del Circuito de Sensores del Arduino

XII-D. Anexo 4 Funcionamiento Eléctrico

Como se puede apreciar en la figura 74, se está llevando a cabo la verificación del correcto funcionamiento eléctrico del sistema.



Figura 74. Pruebas de Funcionamiento

XII-E. Anexo 5 Resultado de Crecimiento

Como se puede apreciar en las figuras 75, 76 y 77, se está llevando a cabo la verificación del crecimiento del cultivo.



Figura 75. Primera Siembra de Hortalizas



Figura 76. Siembra Finalizada



Figura 77. Analizando Crecimiento de las Plantas

XII-F. Anexo 6 Prueba de Sensores

Como se puede apreciar en las figuras 78, 79, 80, 81 y 82, se está realizando la verificación del sistema de sensores.



Figura 78. Montaje de Sensores



Figura 79. Montaje de Sensores



Figura 80. Montaje de Fuente para el Arduino



Figura 81. Revisión del Sistema



Figura 82. Revisión del Sistema

REFERENCIAS

- Martínez, Francisco Régulo (2020). «Producción de hortalizas a pequeña y mediana escala con hidroponía». Tesis doct.
- Arreola Castañeda, Andrés (2022). «Creación de cultivo hidropónico en el huerto universitario Muilitaj». En.
- Albuja, Vanessa et al. (2021). «Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas». En: *Minerva* 2.4, págs. 45-54.
- González, Miriam Martínez et al. (2021). «EVALUACIÓN DEL USO DE TECNOLOGÍA DE HIDROPONÍA Y HUERTO URBANO PARA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN HOGARES DE SANTIAGO DE QUERÉTARO». En.
- Cevallos Mendoza, Mario Ramiro (2020). «Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema nft.» B.S. thesis. Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Cepeda López, Carlos Alfonso, Danny Eduardo Jiménez Parra, Jorge Hurel Ezeta et al. (2021). «Diseño de sistema inteligente de control para cultivo hidropónico de lechuga cressa (*Lactuca sativa* var. *crispa*)». Tesis doct. ESPOL. FIMCP.
- Mamani Clemente, Silvia Eugenia et al. (2021). «Evaluación de tres variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en tres soluciones nutritivas en sistema hidropónico de raíz flotante en el municipio de El Alto». Tesis doct.
- Salazar, Sabrina Sofía Prieto (2021). «Aeroponía: cultivo sin tierra». En: + *Ciencia* 27, págs. 26-27.
- Porras Pumalema, Cristian Daniel (2021). «Análisis, desarrollo e implementación de un sistema hidropónico ebb and flow automatizado para la fundación Ecosur-Ecuador». B.S. thesis. Riobamba Universidad Nacional de Chimborazo.
- Vargas Quintero, Juan Felipe et al. (2020). «Sistema de riego por goteo en cultivos hidropónicos con control de presión en la línea de distribución». En.
- Barbaro, Lorena et al. (2019). «Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos». En: *Chilean journal of agricultural & animal sciences* 35.2, págs. 126-136.
- Camacho, Oscar Iván Monsalve, Martha Cecilia Henao Toro y Joan Sebastián Gutiérrez Díaz (2021). «Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo». En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 22.1.
- Castañares, José L (2022). «Tipburn en hortalizas de hoja en hidroponía: posibles causas y control». En: *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias* 48.1, págs. 3-9.
- Boschi, Agr Carlos Luis (s.f.). «VIVERO: PRODUCCIÓN DE PLANTAS ORNAMENTALES». En: ().
- Carrillo-Sancen, Gabriela et al. (2022). «Hidroponía del cáñamo para obtención de CBD con fines terapéuticos». En: *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 10.Especial7, págs. 150-156.
- Nieto Albarrán, Hugo Rafael (2020). «Estudio y propuesta de monitorización de cultivos basados en hidroponía». En.
- Chimondeguy, María (2022). «Zempre: cultivos hidropónicos: proyecto de cultivos sustentables en la Industria del agro Argentina». En.
- Ayres Laporta, Juan Ignacio (2023). «Crecimiento y consumo de nutrientes de lechuga y rúcula en sistema hidropónico NFT». En.
- González, Andrea Barba (2019). «Efectos de los macronutrientes potasio y fosfato en cultivos hidropónicos: Análisis del crecimiento de la *Lactuca sativa*». En: *BInvestigación* 1.
- Cortez Lázaro, Ronald Alexis (2023). «Biofortificación del cultivo hidropónico de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) con Hierro». En.
- (s.f.). En: (). Ed. por Elsevier.
- Gómez García, Mayra Fernanda et al. (2019). «Modelación de curvas de absorción de nutrientes edáficas para Menta (*Mentha spicata* L.) y Cebollín (*Allium schoenoprasum*) bajo condiciones del Oriente Antioqueño.» En.
- Aguirre Gómez, Fiorella Marilu (2023). «Absorción de nitrógeno y fósforo mediante el uso de *Ocimum basilicum* (albahaca) en un sistema acuaponico con cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia)». En.
- Castro Borba, Elizabeth Regina de et al. (2021). «Características nutricionais do solo e das folhas no cultivo de *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng». En: *Research, Society and Development* 10.1, e30810111715-e30810111715.

Torres, Adrián Esteban Ortega et al. (2019). «Producción de hidropónica de jitomate, pimiento y pepino en sustrato de fibra de coco y acrilato de potasio.» En.