



Universidad
Mariana

Desarrollo de un sistema hidropónico tubular para la producción de hortalizas como apoyo al fortalecimiento de autosuficiencia de la mujer rural en el Contadero

Daily Vanessa Cuatusmal Riascos

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2023

Desarrollo de un sistema hidropónico tubular para la producción de hortalizas como apoyo al fortalecimiento de autosuficiencia de la mujer rural en el Contadero

Daily Vanessa Cuatusmal Riascos

Informe de investigación para optar el título de: Ingeniero Mecatrónico

MSc.

Tito Manuel Piamba Mimian

Asesor

Universidad Mariana

Facultad Ingeniería

Programa Ingeniería Mecatrónica

San Juan de Pasto

2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Agradezco de corazón a Dios por concederme la fortaleza y la perseverancia necesaria para culminar uno de mis sueños más anhelados, a mi familia, les expreso mi profundo agradecimiento por su apoyo en cada etapa de mi trayecto académico.

Quiero expresar mi reconocimiento especial a los docentes que, con su valioso conocimiento y orientación, me brindaron las herramientas esenciales para alcanzar el propósito de mi proyecto. Su apoyo ha dejado una marca indeleble en mi formación académica y en mi desarrollo como profesional.

Este logro no hubiera sido posible sin la contribución de cada persona que, de alguna manera, formó parte de este viaje. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este capítulo significativo en mi vida.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor, Tito Manuel Piamba, quien con su apoyo incondicional y orientación fue fundamental en la ampliación de mis conocimientos y en la consecución de mis objetivos. Aunque el proceso pudo resultar tedioso en momentos, su constante respaldo y acompañamiento en cada etapa fueron vitales para alcanzar el éxito.

Dedicatoria

Este logro lo dedico con todo mi amor y gratitud a mi madre, quien es el motor de mi vida, mi compañera de lucha inquebrantable para alcanzar esta meta. Su apoyo constante, su amistad y confianza han sido mi refugio en cada paso que he dado en mi día a día.

Contenido

Introducción	12
1. Resumen del proyecto	13
1.1. Descripción del problema.....	13
1.1.1. Formulación del problema	14
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos	15
1.4.1. Antecedentes.....	15
1.4.2. Marco teórico	22
1.4.3. Marco conceptual	24
1.4.3.1. Hidroponía.....	24
1.4.3.2. Sistemas de hidroponía NFT.	24
1.4.3.3. Solución nutritiva.	25
1.4.3.4. Los canales.	25
1.4.3.5. Moto bomba.	25
1.4.3.6. Estanque colector.....	26
1.4.3.7. Cultivo hidropónico.....	26
1.5. Metodología	26
1.5.1. Tipo de investigación	26
1.5.2. Línea y sublínea del grupo de investigación	27
1.5.3. Hipótesis de investigación.....	27
1.5.4. Descripción metodológica.....	27
2. Presentación de resultados	29
2.1. Procesamiento de la información	29
2.1.1. Temperatura.....	29
2.1.2. Humedad relativa	29
2.1.3. pH.....	30

2.1.4. Conductividad eléctrica.....	30
2.2. Diseño y construcción	31
2.2.1. Diseño de la estructura del cultivo hidropónico.....	31
2.2.2. Construcción.....	34
2.2.3. Sensores a usar	36
2.2.4. Diseño del sistema de monitoreo y control	40
2.2.5. Verificación del funcionamiento del sistema mediante el seguimiento continuo del cultivo de hortalizas	49
3. Conclusiones	60
4. Recomendaciones.....	61
Referencias Bibliográficas	62
Anexos.....	66

Índice de Tablas

Tabla 1	Criterios de búsqueda de artículos.....	15
Tabla 2	Artículos top 5	19
Tabla 3	Fertilizantes nutritivos para lechuga.....	30
Tabla 4	Cultivo automatizado	58
Tabla 5	Cultivo con seguimiento manual	58

Índice de Figuras

Figura 1	Búsqueda sin filtro	16
Figura 2	Gráfica de búsqueda sin filtro	16
Figura 3	Búsqueda con filtro	16
Figura 4	Gráfica de búsqueda con filtros	17
Figura 5	Marco teórico	23
Figura 6	Estructura de cultivo hidropónico.....	31
Figura 7	Estructura de cultivo hidropónico con soportes para tuberías	32
Figura 8	Diseño de cultivo hidropónico.....	32
Figura 9	Circulación de agua	34
Figura 10	Construcción de base	35
Figura 11	Base final	35
Figura 12	Sensor de pH-4502C	36
Figura 13	Sensor de EC (TDS Meter V1.0).....	37
Figura 14	Termocupla MAX6675	38
Figura 15	Sensor de nivel de líquido vertical P52	39
Figura 16	Sensor de humedad DHT11	39
Figura 17	Diseño electrónico de monitoreo	40
Figura 18	Muestra de datos LCD	41
Figura 19	Almacenamiento de datos SD	42
Figura 20	Monitoreo de variables Ubidots.....	43
Figura 21	Control manual de motobomba.....	44
Figura 22	Caja de monitoreo.....	45
Figura 23	Tapa de caja de monitoreo	45
Figura 24	Sistema de monitoreo final	46
Figura 25	Sistema de monitoreo funcional	46
Figura 26	Monitoreo por cámara.....	47
Figura 27	Nivelación laser	48
Figura 28	Luz UV-A.....	49
Figura 29	Calibrador patrón de pH y Temp H2O.....	50

Figura 30	Calibración de sensores del prototipo pH y Temp H2O	51
Figura 31	Calibrador patrón de Hum%	52
Figura 32	Calibración de sensores del prototipo Hum% y Temp ambiente	53
Figura 33	Calibrador patrón de EC	53
Figura 34	Calibración de sensor de EC del prototipo	54
Figura 35	Sensor pH.....	55
Figura 36	Temperatura H2O.....	56
Figura 37	Humedad relativa.....	56
Figura 38	Conductividad eléctrica	57

Índice de Anexos

Anexo 1. Plano de base de cultivo	67
Anexo 2. Plano de tubería de plantas	68
Anexo 3. Plano de tubería de retroalimentación	69
Anexo 4. Plano de tubería de alimentación.....	70
Anexo 5. Plano de ensamble de tuberías	71
Anexo 6. Diseño de pcb para repartir voltajes.....	72

Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema hidropónico tubular para la producción de hortalizas como apoyo al fortalecimiento de la autosuficiencia de la mujer rural en el Municipio el Contadero. El propósito de este sistema es resolver la necesidad de monitorear las variables del cultivo hidropónico automatizado para mejorar la eficiencia del sistema en cuanto al desarrollo de las plantas.

Se llevará a cabo el monitoreo del pH del agua que circulará por cada uno de los tubos y del agua del tanque para verificar si la solución nutritiva es óptima. Además, se medirá la conductividad eléctrica, la cual indica la concentración de nutrientes que tiene la solución nutritiva para tener el crecimiento óptimo de la planta. También se controlará la humedad relativa, ya que, si se supera el rango adecuado, las raíces de las plantas pueden rodearse de moho y evitar su desarrollo.

Otra variable importante es la temperatura, tanto del agua como del ambiente, ya que afecta el metabolismo y la capacidad de las plantas para su desarrollo. Si la temperatura es demasiado baja, las raíces pueden rodearse de moho y disminuir la absorción de la solución nutritiva. Por otro lado, si la temperatura es demasiado alta, las plantas pueden experimentar problemas de desarrollo debido a que requieren más solución nutritiva.

El proyecto busca reducir la intervención manual y aumentar la productividad al desarrollo y optimizar el crecimiento de las plantas. Además, la automatización del sistema puede reducir costos, como la mano de obra y el tiempo necesario para el monitoreo.

1. Resumen del proyecto

Los huertos o cultivos hidropónicos permiten realizar el cultivo de plantas sin necesidad de usar recursos de cosecha como la tierra fértil. Por medio de esta modalidad se pueden cultivar diversas especies de plantas, además de que permite aprovechar sitios no convencionales como terrazas, paredes entre otros. “la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, producto de la contaminación, la desertización, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades” (Giménez, Daniel, 2015).

El propósito de realizar un huerto hidropónico en el municipio el Contadero, es para concientizar a las personas sobre el mal uso de la tierra agrícola, ya que por el exceso de fertilizantes y el mal cuidado hace que se presente un deterioro en la tierra. Por otra parte, se quiere ayudar al fortalecimiento de autosuficiencia a la mujer rural.

Además, se quiere dar a conocer cómo influye la automatización en el sistema hidropónico, ya que el proceso de automatización se lo realiza para mejorar la eficiencia y la precisión de un proceso a realizar que en este caso sería el desarrollo y crecimiento de las plantas.

1.1. Descripción del problema

Actualmente, las malas prácticas en la agricultura están deteriorando las tierras, ya que incluyen una inapropiada preparación del suelo para realizar las siembras tales como: “La aplicación excesiva de fertilizantes, el empleo inadecuado de plaguicidas, el uso de aguas para riego con elevada carga salina, la no rotación de cultivos y el sobrepastoreo” (Escalante, s.f.). además de la urbanización según (La organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). “El rápido crecimiento de las ciudades se comerá 300.000 kilómetros cuadrados de las tierras cultivables en 2030 y supondrá la pérdida de entre el 1,8% y el 2,4% de la superficie actualmente cultivada en todo el mundo, según un estudio”.

La urbanización global tendrá lugar en tierras agrícolas que son casi dos veces más fértiles que el promedio mundial y amenazará la seguridad alimentaria” (Tendencias, 2016). En la actualidad, la técnica de cultivos hidropónicos es una nueva opción para el desarrollo de la agricultura en Colombia.

En el municipio de Nariño el Contadero, el Ministerio de Agricultura ha implementado un proyecto para fortalecer el sustento económico de las mujeres rurales en cinco municipios: Tangua, Samaniego, San Bernardo, Iles y Contadero. Se han seleccionado 100 mujeres mayores de edad en cada municipio (de aproximadamente 20 a 85 años) para formar asociaciones de cinco mujeres.

El proyecto, que ha sido entregado por la Secretaría de Gobierno Departamental y Municipal, ha sido intervenido por Funandino. El objetivo del proyecto es proporcionar una fuente de ingresos a través de la agricultura urbana, que permita el cultivo de ciertos productos en áreas reducidas. Hasta ahora, con la asociación se han realizado tres cosechas de aproximadamente 3.600 lechugas y las beneficiarias directas son las mujeres rurales de dicha asociación del municipio el Contadero.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cómo se puede desarrollar un sistema Hidropónico tubular para la producción de hortalizas como apoyo al fortalecimiento de autosuficiencia de la mujer rural en el Contadero?

1.2. Justificación

Las actividades agrícolas pueden fortalecer la autosuficiencia de la mujer rural y favorecer el medio ambiente mediante el uso de cultivos hidropónicos. Estos cultivos pueden disminuir el calentamiento global y aumentar la producción de oxígeno.

Sin embargo, es importante tener en cuenta los nutrientes disueltos en el agua que alimentan las raíces de las plantas y mejoran la producción. Además, el cultivo hidropónico se controla automáticamente, lo que es especialmente importante en áreas donde el nivel de educación económica es bajo.

La hidroponía también fomenta el uso de medios de protección de plantas amigables con el ambiente, como fungicidas e insecticidas de origen biológico o natural (Moreno, 2020). La automatización en un proceso que permite monitorear las variables que requiere un sistema hidropónico, el cual mejora la eficacia al desarrollo de la planta y disminuye el manejo manual a la vez se trata de minimizar los errores que se pueden presentar en el manejo manual.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollo de un sistema de monitoreo y control de las variables críticas en un cultivo hidropónico de lechuga.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recolectar información para la identificación de variables relacionadas con hortalizas cultivadas en huertos hidropónicos automatizados.
- Diseñar y construir el sistema de cultivo hidropónico y el sistema de monitoreo y control para el seguimiento de las variables en el cultivo de hortalizas.
- Verificar el funcionamiento del sistema mediante el seguimiento continuo del cultivo de hortalizas bajo observación técnica y monitoreo remoto de las variables del proceso.

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Antecedentes

Tabla 1

Criterios de búsqueda de artículos

Criterios de búsqueda	TITLE-ABS KEY (“MONITOR*” O “CONTROL”) Y (“AUTOMATION” O “AUTOMATON”) Y (“HYDROPONIC” O “HYDROPONICS”) OR (“NFT”)
Tipo de documentos	Artículos
Periodo de búsqueda	1963 - 2022
Número de documentos encontrados sin filtros	161
Número de documentos encontrados con filtros	22
Idioma	Solo artículos en ingles
Filtro por área de temática	Ingeniería

- Descripción de búsquedas sin filtros

Figura 1

Búsqueda sin filtro

161 document results

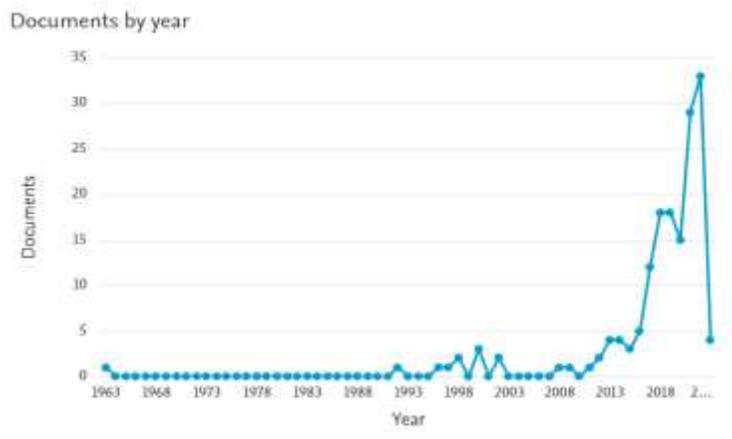
TITLE-ABS-KEY(("MONITOR*" OR "CONTROL") AND ("AUTOMATION" OR "AUTOMATON") AND ("HYDROPONIC" OR "HYDROPONICS") OR "NFT")

Edit Save Set alert

Fuente: El autor.

Figura 2

Gráfica de búsqueda sin filtro



Fuente: El autor.

Figura 3

Búsqueda con filtro

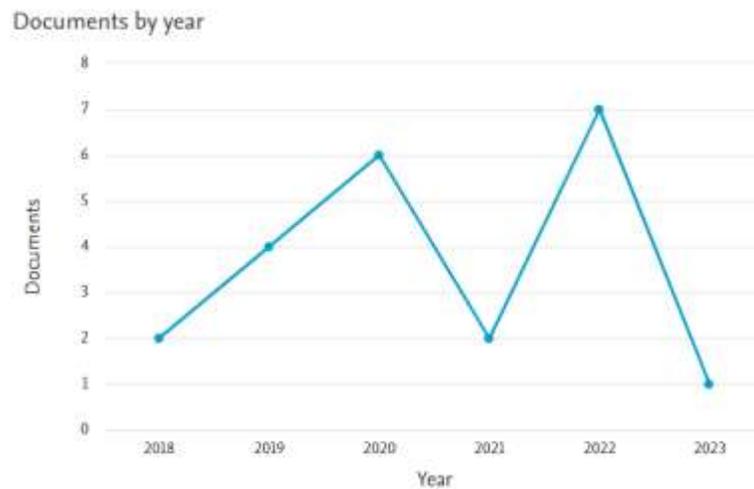
22 resultados de documentos

TITLE-ABS-KEY (("MONITOR*" OR "CONTROL") AND ("AUTOMATION" OR "AUTOMATON") AND ("HYDROPONIC" OR "HYDROPONICS") OR "NFT") AND (EXCLUDE (PUBYEAR , 2017) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2016) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2015) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2014) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2013) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2012) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2011) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2009) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2008) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2002) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2000) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1998) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1997) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1996) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1992) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 1963)) AND (LIMIT-TO (SUBAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBAREA , "Ver todo"))

Fuente: El autor.

Figura 4

Gráfica de búsqueda con filtros



Fuente: El autor.

Los procesos agrícolas se volverán cada vez más impulsados y habilitados por datos a medida que se instalan máquinas y sensores inteligentes en los cultivos, donde la cantidad y el volumen de datos agrícolas continúan creciendo como es el rápido desarrollo de Internet de las cosas (IoT), el cual está alimentando el fenómeno de la llamada agricultura inteligente y la agricultura de precisión (AP), que es conocida como, la agricultura que representa un sistema de gestión agrícola basado en datos, como los sistemas de manejo de AP que están diseñados para mejorar los procesos de producción agrícola.

Al proporcionar un monitoreo continuo del suelo y de la planta y del manejo preciso utilizando la última tecnología y los centros de control de IoT, basados en la nube que recopilan y procesan datos en tiempo real sobre la siembra, fertilización y cosecha de cultivos y el medio ambiente a lo largo del tiempo. De esta forma se puede realizar AP integrada con IoT, para mejorar la calidad cantidad sostenibilidad y rentabilidad de la producción agrícola (Hassan, 2018).

Para monitorear y controlar la producción agrícola y de alimentos usando sistemas de sensores avanzados es otra aplicación de IoT, mediante la instalación de terminales de monitoreo remoto en maquinaria agrícola inteligente de gran tamaño y el desarrollo de software de aplicaciones móviles y software de servidor relacionados, como el sistema de gestión de servicios de maquinaria agrícola permite que estas empresas especializadas brinden servicios de alta eficiencia y bajo costo a medida que la tecnología cobra impulso para crear un entorno informático ubicuo para el manejo de la

enorme cantidad de datos que surgen y circulan en estos entornos heterogéneos distribuidos de IoT, los cuales requieren una consideración especial.

Para probar el futuro con estos flujos de datos, utilizan la tecnología de alto rendimiento que reconoce patrones en los datos generados. La hidroponía es una de las tecnologías consideradas como el sector agrícola de más rápido crecimiento y puede definir el futuro de la producción de alimentos (Kumar et al., 2016).

Por otra parte, se tiene que la parte de control y automatización se encuentra en plena normalidad, aunque hay algunas industrias que no han implementado o no están utilizando completamente la automatización, ya que la agricultura ha sido una de las ocupaciones humanas más importantes desde las primeras civilizaciones.

Los sistemas automáticos de monitoreo y control de la temperatura del depósito mantienen niveles estables del sistema y un entorno óptimo, para transformar las plantas en grandes y saludables, por lo tanto, el fin de este estudio fue desarrollar un sistema automatizado para controlar la temperatura de los tanques de solución nutritiva en sistemas hidropónicos, para un crecimiento óptimo de las plantas ya que este factor afecta en gran medida el crecimiento de las plantas (Rico Amy, 2021).

El sistema de gestión de cultivos hidropónicos permite al usuario realizar un control y seguimiento remoto ya que el concepto de energía utilizado por Hommons que es Energía alternativa, donde la fuente de energía es el sol que se convierte en electricidad mediante paneles solares (Usman et al 2011).

El funcionamiento de los sistemas de fertilización, como lo es el agua de riego y sistemas de alimentación de plantas automático en un invernadero, se le asigna la cantidad de agua y nutrientes de acuerdo a las necesidades de las plantas y del medio ambiente.

El crecimiento de la planta se observará por cámara CCD una vez cada tres días donde se tomarán imágenes de las plantas, cuya altura se analizará con un programa desarrollado ya que los resultados de este análisis se utilizarán como entrada para los sistemas de riego que ya encienden y apagan automáticamente las bombas para proporcionar agua y nutrientes a las plantas (Felizardo et al, 2011).

- **Descripción de los artículos top 5 más citados en la historia**

Tabla 2

Artículos top 5

Número	Autores y año	Número de Citaciones	Área temática
1	Savvas, D.(2002)	55	Reposición automatizada de efluentes reciclados de invernadero con nutrientes individuales en hidroponía mediante dos modelos alternativos
2	Cambra, C. et al (2018)	41	Sistema inteligente de control de bicarbonato en riego para agricultura hidropónica de precisión
3	Cho et al (2017)	20	Un sistema integrado para la gestión automatizada de soluciones de nutrientes hidropónicos
4	Chowdhury et al. (2020)	9	Diseño, construcción y prueba de un banco de pruebas de cultivo hidropónico vertical interior automatizado basado en iot en qatar
5	Rico, ALJ.(2020)	2	Sistema automatizado de monitoreo y control de pH para cultivos hidropónicos en condiciones de invernadero

La hidroponía es un método de manejo de plantas que permite el cultivo sin tierra. Esta técnica produce principalmente hortalizas que aprovechan sitios o áreas no tradicionales sin tener en cuenta las necesidades de la planta como es la luz, temperatura, agua y nutrientes para su desarrollo. En un sistema hidropónico, la solución nutritiva aporta importantes elementos minerales para que el rendimiento en el desarrollo de las plantas sea de mejor calidad que los cultivos de suelo (Beltrano, 2015).

La hidroponía es una de las tecnologías más importantes para proveer esta tendencia ecológica, ya que se pueden producir hortalizas ricas en nutrientes a bajo costo mediante el cultivo sin suelo. Aunque la hidroponía tiene rendimientos muy altos, es un sistema de cultivo que requiere un constante seguimiento para tener éxito, teniendo en cuenta que los productores deben probar todos los parámetros involucrados en la producción de hortalizas (Aquino et al., 2019).

De acuerdo con las normativas nacionales, la solución nutritiva incorpora todos los nutrientes indispensables para el adecuado crecimiento de las plantas en el plazo establecido, siguiendo las prácticas de cultivo y estrategias de comercialización específicas de su mercado objetivo (Brenes et al., 2014). Además, las tecnologías relacionadas con métodos hidropónicos requieren habilidades agrícolas básicas, por lo tanto, esta es una gran oportunidad en diversos medios, teniendo en cuenta que el desarrollo de la agricultura hidropónica tiene intereses especiales en el sector agrícola y de producción en varios departamentos, por otra parte, en el método agrícola hidropónico se tiene la adición de mecanismos en la solución de filtración de agua de los procesos híbridos de nutrientes y reguladores de distribución (Flores F, 2020).

La horticultura tradicional y el cultivo en invernaderos, han experimentado un gran desarrollo en las últimas décadas a medida, que han surgido alternativas más respetuosas con el medio ambiente, donde las estaciones secas y el cambio climático hacen que se disuelvan pequeñas cantidades de nutrientes almacenados, por ello es necesario introducir nuevas estrategias de tratamiento de aguas residuales que permitan su reutilización para riego, por lo tanto la horticultura integrada requiere una menor calidad del agua y sistemas de riego de tecnología avanzada aplicados de acuerdo con un calendario biodinámica basado en la calidad del agua (Cambra, 2018).

La reciente revolución en la horticultura de invernadero se debe a los avances tecnológicos y la comunicación inalámbrica, donde la tecnología se utiliza en la agricultura de precisión, lo que permite el análisis de grandes cantidades de datos después de que las redes de sensores inalámbricos (WSN) que los recopilan. Las mediciones revelaron diferencias espaciales significativas en temperatura (T_a) y humedad, lo que permitió producir grandes cantidades de grano con el nivel de calidad que demanda el mercado la agricultura de precisión ayuda a los agricultores a monitorear y controlar las condiciones del microclima del invernadero y las plagas y enfermedades que afectan a las plantas (Sendra et al, 2018).

Un sistema hidropónico cerrado ideal incluiría la preparación automática de soluciones de nutrientes, donde incluye la adición de fertilizantes y agua en proporciones adecuadas en base a las mediciones en tiempo real de varias concentraciones de nutrientes en la solución de drenaje y la reutilización de la solución de drenaje. Los sistemas basados en conductividad (EC) comúnmente son utilizados para el manejo de nutrientes hidropónicos, en sistemas cerrados no permiten correcciones individuales para cada deficiencia de nutrientes, para el crecimiento de los cultivos para mejorar el rendimiento del sistema computarizado de gestión de la nutrición. Posteriormente se desarrolló un algoritmo sólido de dosificación de fertilizantes, para calcular por separado el volumen de las seis soluciones de stock de nutrientes, que se aplicarán secuencialmente en función de iones específicos, donde la prueba aditiva de cinco etapas tiene el uso de un método de normalización de dos puntos antes de cada secuencia de medición, combinado con un algoritmo sólido de dosificación de nutrientes, permite que el sistema formule cinco concentraciones diferentes de iones NO_3 y K que se pueden comparar con estas concentraciones (Cho et al, 2017).

La producción de cultivos se ve afectada por muchos factores, como la escasez de agua, los cambios anormales y la falta de suficiente tierra cultivable para el cultivo, por esta razón se han utilizado varios métodos de cultivo para reducir el consumo de agua y el área de cultivo y uno de los métodos más conocidos es la hidroponía vertical, la cual es conocida como una combinación de dos métodos antiguos en este caso está la vertical y la hidroponía.

Estos métodos son antiguos pero varios estudios recientes y estudios realizados por científicos de todo el mundo, han demostrado su utilidad de tal manera que se ha comprobado que un sistema hidropónico basado en el cultivo de plantas en agua sin el uso de suelo no requiere suelo para las plantas siempre que los nutrientes, minerales y niveles de pH adecuados se mantengan estables dentro de un cierto rango.

Se conocen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, como los sistemas de mecha, los sistemas de riego por goteo, la tecnología de película de nutrientes (NFT), la tecnología de flujo profundo y la aeroponía (Beltrano & Jimenez 2015).

Actualmente se están desarrollando sistemas hidropónicos para solucionar problemas que afectan el crecimiento de las plantas mediante el control automático de todos los parámetros, permitiendo el cultivo en interior sin ocupar una gran superficie ya que los sistemas hidropónicos verticales automatizados presagian una gran revolución en la producción de alimentos, permitiendo

el cultivo de varios tipos de cultivos en el hogar para satisfacer las necesidades humanas (Muhammad E. H et al, 2020).

La agricultura juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo del país donde el propio sector agrícola produce su propia comida. No necesita comprar e importar productos de otros países ya que la agricultura permite que un país sea autosuficiente en alimentos y otros productos agrícolas (Tagle et al., 2018).

La hidroponía es un sistema de cultivo de plantas que no utiliza suelo sino agua nutritiva para ahorrar espacio para las plantas y no está contaminado por los productos químicos del suelo (Kularbphetong et al., 2019). El único requisito para un sistema hidropónico es un depósito que proporcione nutrientes a las plantas, una plataforma para las plantas por encima de la solución nutritiva.

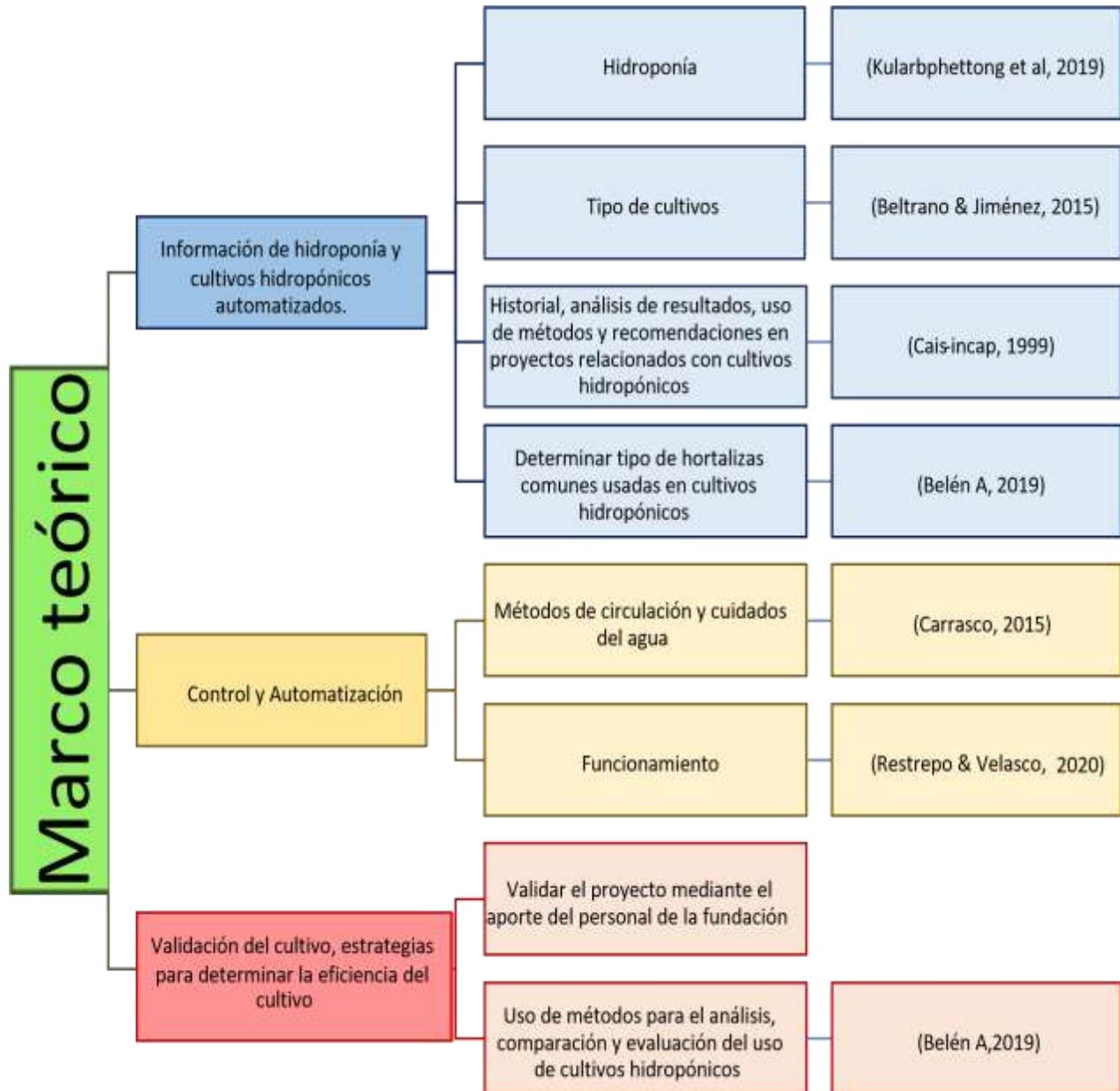
Son sistemas muy económicos y se pueden utilizar en lugares donde hay poca o ninguna electricidad. En la situación actual donde casi todo se puede controlar y operar automáticamente, los sistemas se han vuelto más inteligentes y automatizados, lo que exige una revolución en la agricultura (Mishra y Jain, 2015). El microcontrolador Arduino uno, se puede utilizar para implementar un sistema de flujo de agua con nutrientes y los sensores funcionan bien para detectar y controlar el nivel de agua en los tubos hidropónicos (Sihombing et al., 2018).

1.4.2. Marco teórico

El marco teórico para el cultivo hidropónico automatizado aborda los fundamentos de la hidroponía y enfatiza el uso de sistemas automatizados para optimizar la entrega de nutrientes, el control ambiental y el monitoreo preciso de las variables para maximizar la eficiencia y rendimiento de los cultivos sin el uso de sustratos tradicionales.

Figura 5

Marco teórico



1.4.3. Marco conceptual

1.4.3.1. Hidroponía. Derivado de las palabras griegas Hydro (agua) y ponos (trabajo o labor), la hidroponía es un método de cultivo que no requiere del suelo como medio de obtención de nutrientes, aprovechando al máximo cualquier tipo de superficie activa. “Los primeros intentos hidropónicos de cultivar plantas datan de la antigüedad en los jardines colgantes de Babilonia, también se tiene registro en China, Egipto y la India” (Restrepo & Velazco, 2020). William Gerike, logró con un éxito la instalación de dispositivos de cultivo al aire libre, el sistema se denomina, sistema hidropónico, a partir del cual se han producido varios métodos de cultivo hidropónico.

Los sistemas hidropónicos se pueden dividir en sistemas puros o sistemas con sustratos, los sistemas hidropónicos puros son sistemas hidropónicos cabe señalar que las raíces de la planta están en contacto directo con la solución nutritiva y en un sistema de sustrato, las raíces de las plantas crecen y se desarrollan en un sustrato inerte y la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato e hidrata las raíces.

1.4.3.2. Sistemas de hidroponía NFT. La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, NFT (Nutrient Film Technique), Se basa en la recirculación continua o periódica de una porción suficiente de la solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo por medio de conductos cerrados que deben ser drenados para asegurar la recirculación de nutrientes (Cais-incap 2009). Allan Cooper en la década de los 60 originó un sistema que constaba de una compleja cadena de pasajes de hormigón, el flujo de la solución nutritiva se mantuvo gracias al funcionamiento de dos bombas.

Al pasar el tiempo el sistema se simplificó al diseñarlo con una sola bomba de refuerzo, aunque esta idea se mantuvo durante mucho tiempo. Se utilizó canales de cemento. esta técnica de cultivo hidropónico produce vegetales frescos y de alta calidad porque sus raíces están en contacto constante con agua y minerales, lo que permite que las plantas alcancen su potencial productivo.

Su funcionamiento desde la parte de control y automatización consiste en tres etapas, la primer etapa corresponde a un sensor en contacto con el cultivo hidropónico y un microcontrolador que controla el sensor, denominado “esclavo”, la segunda etapa consta de un microcontrolador llamado "maestro", que controla al esclavo, El dispositivo también actúa como enlace entre el esclavo y la tercera etapa, que consiste en una interfaz gráfica donde el usuario se conecta y recibe información

sobre el cultivo. En el primer paso, el sensor obtiene información sobre la temperatura de la solución, temperatura ambiente, humedad relativa, flujo de agua a través del cultivo, y luego de obtener la información se envía al microcontrolador esclavo, que en este caso podría ser un Arduino o ESP-32.

Este último está conectado al microcontrolador principal que se comunica mediante el envío de datos al corredor utilizando el protocolo MQTT. Estos valores se muestran al usuario a través de una página web, que también puede realizar acciones en el cultivo como ingresar el tiempo de encendido y tiempo de apagado de la bomba, otra acción es agregar nutrientes o agua a la solución establecida, una vez se tenga las acciones a realizar se envía los comandos al esclavo para realizar la tarea deseada (Restrepo & Velasco 2020).

1.4.3.3. Solución nutritiva. En cultivos tipo NFT, la recirculación de la solución es siempre a través de las raíces en contacto con la planta y la concentración de sales cambia, por lo tanto, debe ser monitoreada y controlada y medida continuamente; La conductividad eléctrica (CE) y el (PH) expresan la conductividad de la concentración de sal que hay en la solución nutritiva, su eficiencia depende de la relación entre la solución y la concentración de sales disueltas (Carrasco, 2015). Por ejemplo, la medición de conductividad se da en milésimo (mS/cm), en este caso el nivel de la lechuga es de 1,3 dS/m y se realiza el mismo proceso con las diferentes plantas como lo es: Tomate, Pimienta, Espinacas, Menta, Apio, Manija, Orégano, Valeriana, Jengibre, Lavanda, Perejil, Ajo etc (Belén A, 2019). En la parte del PH mide la acidez de una solución nutritiva que debe controlarse para mantener la disponibilidad de nutrientes en las soluciones que oscila entre 6,0 y 6,5 para que todos los nutrientes estén disponibles y las plantas puedan absorber los nutrientes que necesitan.

1.4.3.4. Los canales. Los canales de cultivo te permiten atar las plantas, ya que es un sistema hidropónico limpio y permiten que fluya la solución, estos canales suelen ser oscuros y de PVC para reducir la proliferación de algas y la evaporación de la solución, también considera que la solución nutritiva fluirá por la pendiente del canal. El canal debe ser del 2 % de su longitud para asegurar un flujo continuo y evitar estancamientos de agua en ciertos puntos.

1.4.3.5. Moto bomba. La bomba de agua es fundamental en este sistema, ya que se encarga de impulsar la solución nutritiva a través de los canales, existen dos tipos de bombas de accionamiento

eléctrico de operación sumergida o no sumergida, la elección de una bomba debe ser adecuada a las necesidades del cultivo, es de gran importancia dentro de los costos de producción o las futuras ampliaciones del módulo productivo, de manera que al evaluar el tamaño debe ser más conveniente.

Esto se puede considerar, desde un comienzo, la adquisición de una bomba de mayor tamaño, con los consiguientes costos de operación, o simplemente contar posteriormente con otra unidad acorde al incremento de la superficie productiva. La bomba debe localizarse en forma próxima al estanque colector, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones.

1.4.3.6. Estanque colector. Su función es almacenar la solución nutritiva para que pueda ser transportada al canal de cultivo, existen diferentes tipos de colectores, pero se deben elegir en función del tipo de material, tamaño y aislamiento, el volumen del estanque es una función del número de plantas a cultivar y el tipo de corrección química, ya sea corrección manual o automática de la solución nutritiva, también está relacionado con el volumen restante en el estanque para garantizar que la bomba no deje de funcionar.

Si tiene un tanque de volumen pequeño, el volumen de la solución disminuirá rápidamente, por lo que la calibración de la solución será más frecuente, incluso más de una vez al día, lo que hace que el sistema sea prácticamente inútil si cuenta con un gran sumidero de nutriente o solución.

1.4.3.7. Cultivo hidropónico. La hidroponía (del griego HYDOR, agua Ponos, trabajo) se refiere a una técnica de cultivo sin suelo, en la que el suelo se reemplaza por un medio inerte como arcilla expandida, fibra de coco, lana de roca o zeolita. Estos cultivos incluyen una amplia gama de sistemas en los que el agua y los nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas se producen utilizando soluciones nutritivas.

1.5. Metodología

1.5.1. Tipo de investigación

- Pre – Experimental:

La investigación pre- experimental consiste en analizar una única variable, en este caso la variable que se va analizar y controlar es la temperatura del cultivo hidropónico, ya que en estos cultivos es importante tener en cuenta la temperatura de la solución nutritiva, porque la variedad

de plantas que se pueden cultivar manejan una temperatura diferente, en algunos casos las plantas pueden estar a una temperatura de 0°C a 30°C, como están las plantas que necesitan estar a 18°C como, por ejemplo, la lechuga. Teniendo en cuenta estos datos existe la necesidad de controlar esta variable para obtener un buen desarrollo de la planta cultivada

1.5.2. Línea y sublínea del grupo de investigación

- Automatización y control

Los cultivos urbanos, mediante la metodología y se puede promover a uso de cultivos ecológicos hidropónicos, se considera ser más efectivo que los métodos tradicionales, los cuales ocupan más espacio, más costo y dificultad de ser implementados en la ciudad y requieren químicos o tratamiento en el suelo. Mediante el uso de tecnologías de monitoreo se puede establecer un mejor crecimiento de las plantas, además ayudan a disminuir la deforestación.

1.5.3. Hipótesis de investigación

Los cultivos urbanos, mediante la metodología y se puede promover a uso de cultivos ecológicos hidropónicos, se considera ser más efectivo que los métodos tradicionales, los cuales ocupan más espacio, más costo y dificultad de ser implementados en la ciudad y requieren químicos o tratamiento en el suelo. Mediante el uso de tecnologías de monitoreo se puede establecer un mejor crecimiento de las plantas, además ayudan a disminuir la deforestación.

1.5.4. Descripción metodológica

- **Fase 1**

En la primera fase se debe realizar una investigación de las variables relacionadas con hortalizas cultivadas en cultivos hidropónicos automatizados, para proceder con esta fase se tendrá apoyo de las fuentes como repositorios, PDF, artículos y libros, con los cuales se pueda conocer la actuación de los cultivos hidropónicos automatizados y sus variables a monitorear, ya que por medio del control de variables y recirculación de la solución nutritiva constante sobre las raíces de las plantas se obtiene un buen desarrollo del producto deseado.

- **Fase 2**

En la segunda fase, se aborda la fase de diseño y construcción del cultivo hidropónico, así como del sistema de control y monitoreo de variables. Para iniciar esta etapa de manera efectiva, es esencial realizar a cabo una investigación detallada del lugar donde se llevará a cabo la instalación del cultivo hidropónico. Una vez recopilada esta información, se da inicio al proceso de diseño utilizando el software SolidWorks.

Posteriormente, se lleva a cabo una investigación detallada para identificar los sensores más adecuados que se utilizarán para medir las variables relevantes en el entorno del cultivo. Esta fase de selección de sensores se basa en la precisión y confiabilidad requeridas para obtener datos sobre las condiciones del cultivo hidropónico.

Finalmente, se procede a la elaboración del diseño del sistema de monitoreo de variables, integrando de manera correcta los sensores seleccionados. Este sistema se configura para garantizar una supervisión eficiente y en tiempo real de las condiciones que presente el cultivo.

- **Fase 3**

En la tercera y última fase, se procede a la verificación del funcionamiento del sistema a través del seguimiento detallado de las variables mediante una observación técnica y el continuo monitoreo de dichas variables a lo largo de todo el proceso. Para concluir esta etapa de manera, se lleva a cabo una verificación de la calibración de los sensores utilizados para medir las diversas variables del cultivo, este proceso de verificación de la calibración se realiza en colaboración con los laboratorios de la Universidad Mariana, aprovechando su experiencia y recursos especializados. Además, se incorpora una aplicación demostrativa que facilita el monitoreo en tiempo real de las variables del cultivo, proporcionando una herramienta práctica y visual para evaluar el desempeño del sistema.

2. Presentación de resultados

2.1. Procesamiento de la información

El en primer capítulo se tiene la parte investigativa del lugar donde se realizará el cultivo y sus variables, estas investigaciones se realizaron de manera virtual y realizando una visita al Municipio de Nariño el Contadero, donde se encuentran unos cultivos hidropónicos, los cuales se los monitorean de manera manual, se han encontrado algunas dificultades que con la automatización se quiere minimizar los errores manuales. Por otra parte, se pudo investigar más a fondo los nutrientes y las variables que se deben utilizar para que la planta tenga un buen desarrollo durante su crecimiento. Las variables que maneja un cultivo hidropónico son: La conductividad eléctrica, pH, humedad relativa, temperatura de la sustancia nutritiva y nivel de agua que debe haber en cada tubo.

2.1.1. Temperatura

Los investigadores encontraron que la solución nutritiva era más efectiva cuando se mantenía entre 65 (18°C) y 85 (29°C) grados Fahrenheit. Los expertos coinciden en que la temperatura ideal del agua para la hidroponía es la misma temperatura que la solución nutritiva. Si el agua añadida a la solución nutritiva está a la misma temperatura que la propia solución nutritiva, las raíces de la planta no sufrirán cambios bruscos de temperatura. En invierno, la temperatura del agua hidropónica y la solución nutritiva se pueden regular con un calentador de acuario. Si las temperaturas de verano aumentan, es posible que deba encontrar un enfriador de acuario (Spengler, s, f).

2.1.2. Humedad relativa

La mayoría de los cultivos hidropónicos requieren un rango de humedad de 3 a 55 %, con un rango objetivo ideal de 40 a 45 %. Ya que un aumento de la humedad por encima del 60 % puede provocar el crecimiento de hongos, moho y otros organismos indeseables. Además, la alta humedad impide que las plantas absorban adecuadamente el dióxido de carbono, lo que impide una fotosíntesis eficiente. En este caso, se puede utilizar un deshumidificador para reducir la humedad a un nivel adecuado (GroHo, 2022).

2.1.3. pH

En condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH de la solución nutritiva en un rango bajo, ya que el nivel de pH óptimo para plantas ornamentales en contenedores es de 5,2 a 6,3 y para las hortalizas es de 5,5 a 6,8. La mayoría de los nutrientes mantienen sus niveles máximos asimilables a un pH de 5,5 a 6,5. Por otro lado, valores de P por debajo de 5,0 provocan principalmente deficiencia de N, K, Ca, Mg, B y por encima de 6,5 reducen la asimilación de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu (Intagri, 2017).

2.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) indica la salinidad de la solución nutritiva, por lo que cuanto mayor sea la CE, mayor será la salinidad. La conductividad se expresa en unidades de decímetro por metro (dS/m) y en la parte de la hidroponía depende del cultivo establecido, teniendo en cuenta que algunas especialidades tienen el valor de este parámetro que suele estar entre 1 y 2 dS/m (Intagri, 2017).

Tabla 3

Fertilizantes nutritivos para lechuga

Fertilizante para 500 litros	Gramos	Fertilizante para 1000 litros	Gramos
Nitrato de potasio	250	Nitrato de potasio	500
Nitrato de calcio	375	Nitrato de calcio	750
Fosfato moniamónico	75	Fosfato moniamónico	150
Sulfato de magnesio	215	Sulfato de magnesio	430
Sulfato de manganeso	1	Sulfato de manganeso	2
Sulfato de Zinc	0,45	Sulfato de Zinc	0,9

Ácido bórico	1,5	Ácido bórico	3
Sulfato de cobre	0,75	Sulfato de cobre	1,5
Molibdato de amonio	0,1	Molibdato de amonio	0,2
Sulfato hierro 10% + eddha	15	Sulfato hierro 10% + eddha	30

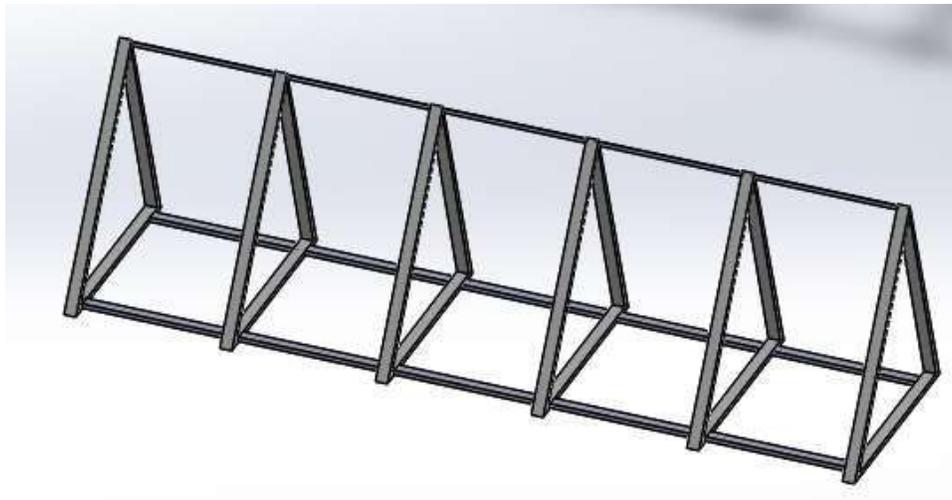
Fuente: AgroTic. 2023

2.2. Diseño y construcción

2.2.1. Diseño de la estructura del cultivo hidropónico

Figura 6

Estructura de cultivo hidropónico

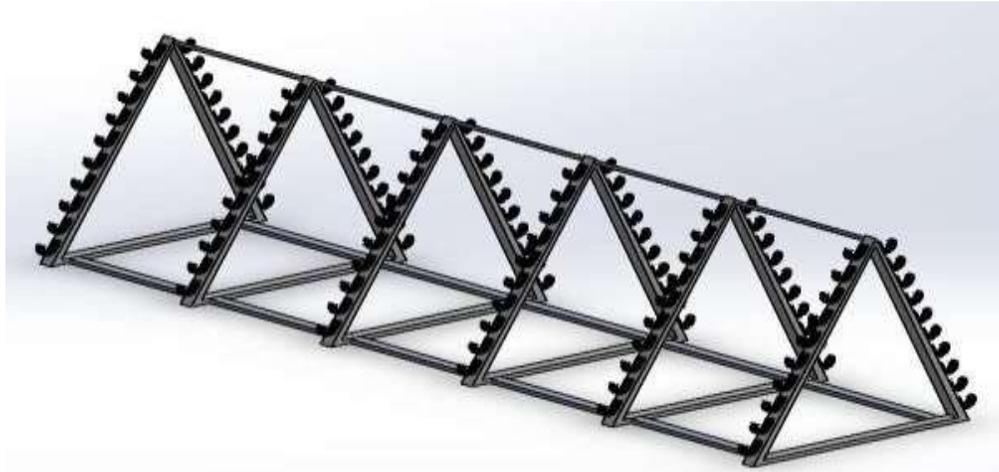


Fuente: El autor.

En la figura 6 se observa la base triangular, la cual tiene medidas como: Su altura es de 2 M, su base es de 2.10 M, su largo es de 6 M y cada uno de sus lados tiene 2.30 M. Cabe resaltar que el ancho de cada parte triangular tiene 2.5 Cm.

Figura 7

Estructura de cultivo hidropónico con soportes para tuberías

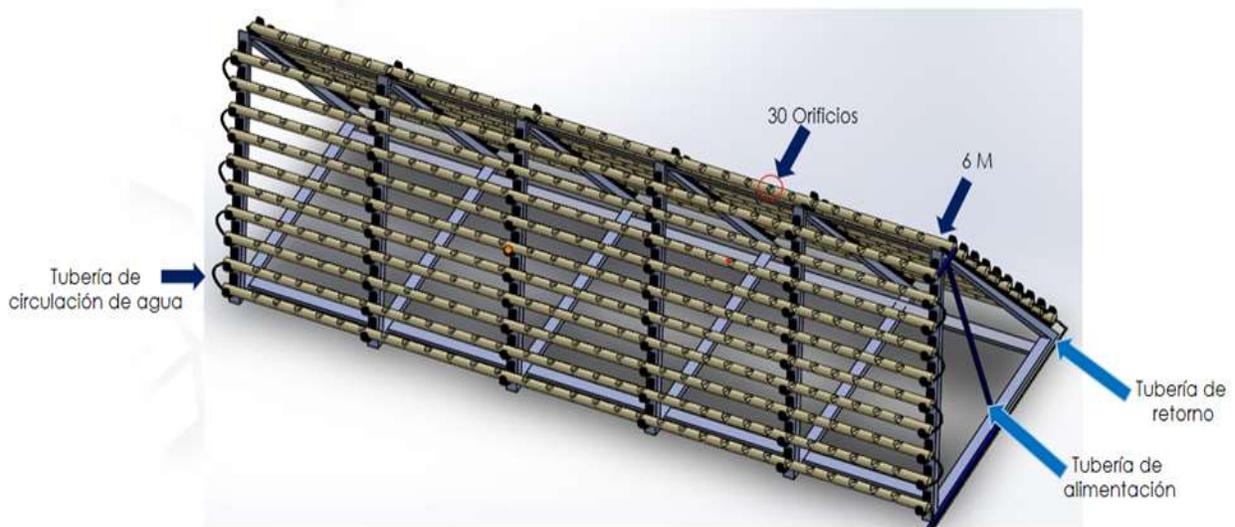


Fuente: El autor.

En la figura 7 se observa la estructura del cultivo hidropónico con los respectivos soportes para cada una de las tuberías, los cuales tienen como medidas: 0.8 mm de diámetro.

Figura 8

Diseño de cultivo hidropónico



Fuente: El autor.

En la figura 8 se observa el diseño del cultivo Hidropónico, donde se visualizan las tuberías las cuales tienen de diámetro 3inch y de largo 6 M, en cada tubería se tienen 30 agujeros los cuales están a una distancia de aproximadamente de 20 cm, y la distancia que tienen entre tubos es de 20

cm, cabe resaltar que el diámetro de cada agujero es de 5 cm. Por otra, parte se tiene la tubería de alimentación nutritiva, la cual se la ubica en la mitad para que la alimentación inicie desde la parte exterior y por medio de las tuberías pequeñas que van conectadas a los finales de cada tubo haya la recirculación de solución nutritiva hasta llegar a la parte inferior, donde se encuentra la tubería de desagüe, esta tubería tiene el retorno hasta el tanque donde está la solución nutritiva

A continuación, se calculará el volumen del tubo de 3 pulgadas y 6 metros de longitud, para encontrar el volumen de un cilindro su fórmula es $V = \pi * r^2 * h$ Datos:

- Diámetro interior = 83.42 mm
- Radio interior = 41.71 mm - h = 6 M

En el caso de encontrar el volumen de las tuberías se debe tener en cuenta el diámetro interior y exterior, el cual se lo encuentra en el “manual técnico tubo sistemas presión PVC” (Pavco,2020). En este caso se trabajará con el diámetro interior, se procede a pasar las unidades a metros y se realiza la operación.

$$V = (\pi)(0.04171)^2(6)$$

$$V = 0.0327 M^3$$

Una vez se encuentra el volumen de la tubería se lo relaciona con el peso, ya que se entiende que 1 litro de agua equivale a 1kg como lo menciona (Castrillón, Torres, 2017), en este caso la tubería tendría aproximadamente 32 litros de solución nutritiva, seguidamente se pasa a encontrar el peso con la siguiente formula:

$$P = d . v . g$$

Dónde: d = Densidad de la

tubería v = Volumen g =

Gravedad

$$P = (1420 \text{ Kg/m}^3) (0.0327\text{m}^3) (9.81\text{m/s}^2)$$

$$P = 0.450 \text{ Kgf}$$

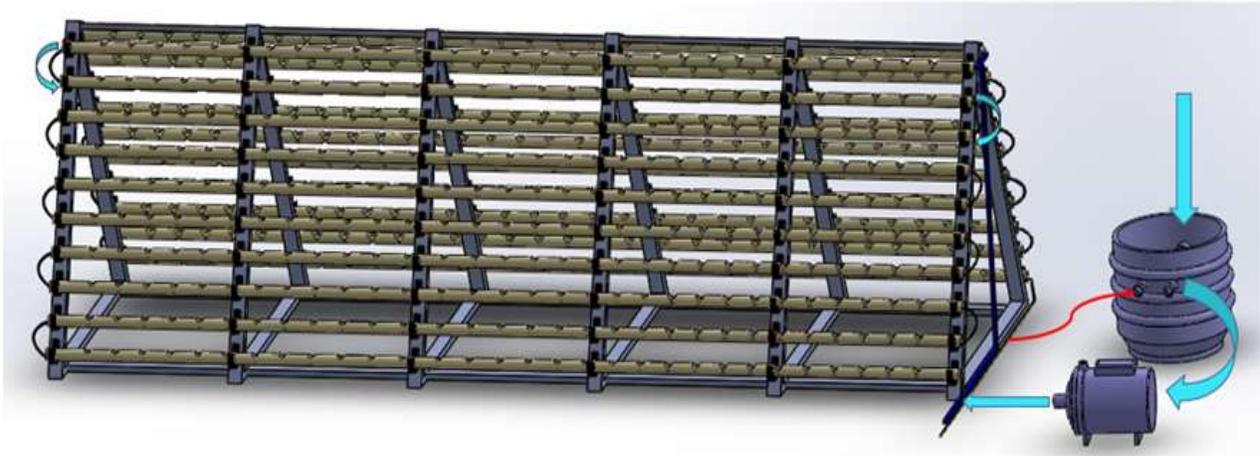
Finalmente se pasa a encontrar la masa de la tubería, que se tiene su densidad y su volumen respectivo, para eso se llevará acabo la siguiente formula: $M = d * v$

$$M = (1420 \text{ Kg/m}^3) (0.0327 \text{ m}^3)$$

$$M = 46.5 \text{ Kg}$$

Figura 9

Circulación de agua



Fuente: El autor.

En la figura 9 se presenta el sistema de suministro de agua para el cultivo, mostrando su ciclo de circulación, una vez que el tanque de agua se ha llenado, se añade la cantidad de nutrientes correspondiente en función del volumen de agua suministrado, continuación, se establece la conexión con la motobomba encargada de abastecer al cultivo, la alimentación del cultivo se realiza a través de la tubería que llega a los tubos superiores y una vez que se ha completado el ciclo de recirculación, el agua alcanza los tubos inferiores, donde se encuentra conectada la tubería de retorno al tanque.

2.2.2. Construcción

Figura 10

Construcción de base



Fuente: El autor.

Figura 11

Base final



Fuente: El autor.

2.2.3. Sensores a usar

- **Sensor de Ph 4502-C**

Un sensor de pH, es un instrumento que se utiliza para medir la acidez o alcalinidad de una solución, también conocido como pH. El pH es una medida de acidez o alcalinidad y se mide en una escala de 0 a 14 (OMEGA, s, f).

Figura 12

Sensor de pH-4502C



Fuente: ElectronicaPTY, 2017

- **Sensor de conductividad eléctrica (EC)**

Los medidores de conductividad se utilizan para medir las soluciones acuosas, lo que permite la evaluación de la calidad del agua, ampliamente utilizado en la acuicultura, el medio ambiente y otros campos. Esta es la segunda versión del sensor, que mejora la precisión y admite voltajes de suministro de 3 a 5 V CC, lo que lo hace compatible con controladores de 3,3 V CC (Sigma, 2018).

Figura 13

Sensor de EC (TDS Meter V1.0)



Fuente: Electrostore, 2019

- **Sensor de temperatura termocupla Max6675**

Este es un módulo de sensor de termopar basado en el chip MAX6675. El chip MAX6675 es un módulo convertidor analógico a digital diseñado específicamente para termopares o sondas K.

El chip MAX6675 es un módulo convertidor analógico a digital diseñado específicamente para termopares o convertidor de sondas K, que le permite conectar fácilmente termopares a cualquier microcontrolador a través de una interfaz SPI unidireccional. Este pequeño circuito contiene la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir el voltaje producido por el termopar en un voltaje digital, lo que hace que conectar el termopar al microcontrolador sea muy fácil (Ardobot,2020).

Figura 14

Termocupla MAX6675



Fuente: Hetpro, 2020

- **Sensor de nivel de líquido con flotador vertical P52**

Este sensor de nivel de líquido es un interruptor de flotador en ángulo recto que se utiliza para detectar el nivel de líquido en el tanque. Este tipo de sensor tiene alta precisión, alto rendimiento y alta estabilidad, por lo que suele usarse para controlar bombas, indicadores, alarmas u otros equipos.

Se puede transformar fácilmente desde generalmente abierto hasta el cierre generalmente invirtiendo en una posición flotante. Dado que la potencia se puede llevar al contacto es muy baja, se recomienda usar un relé o interfaz de alimentación si se conecta a un dispositivo que consume más de esta potencia. No se recomienda el uso de este sensor en líquidos que contengan mercurio.

Figura 15

Sensor de nivel de líquido vertical P52



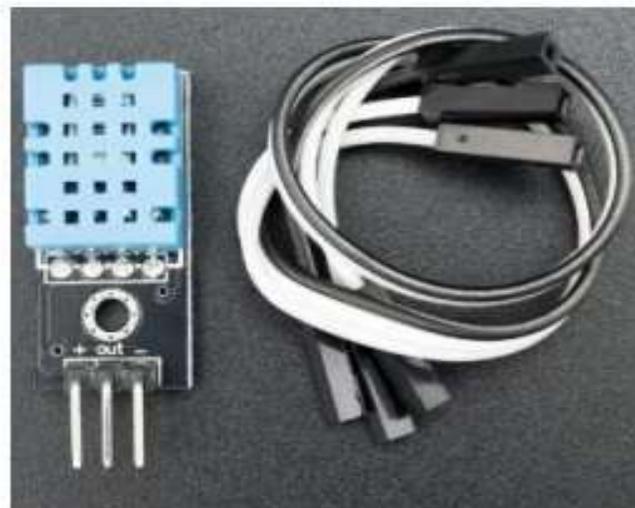
Fuente: Vistronica, 2020

- **Sensor de humedad DHT11**

Para medir la humedad relativa se utiliza un sensor DHT11, que tiene un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circulante, que muestra los datos en forma de señal digital (Restrepo & Velasco 2020).

Figura 16

Sensor de humedad DHT11



Fuente: Moviltronics, 2022

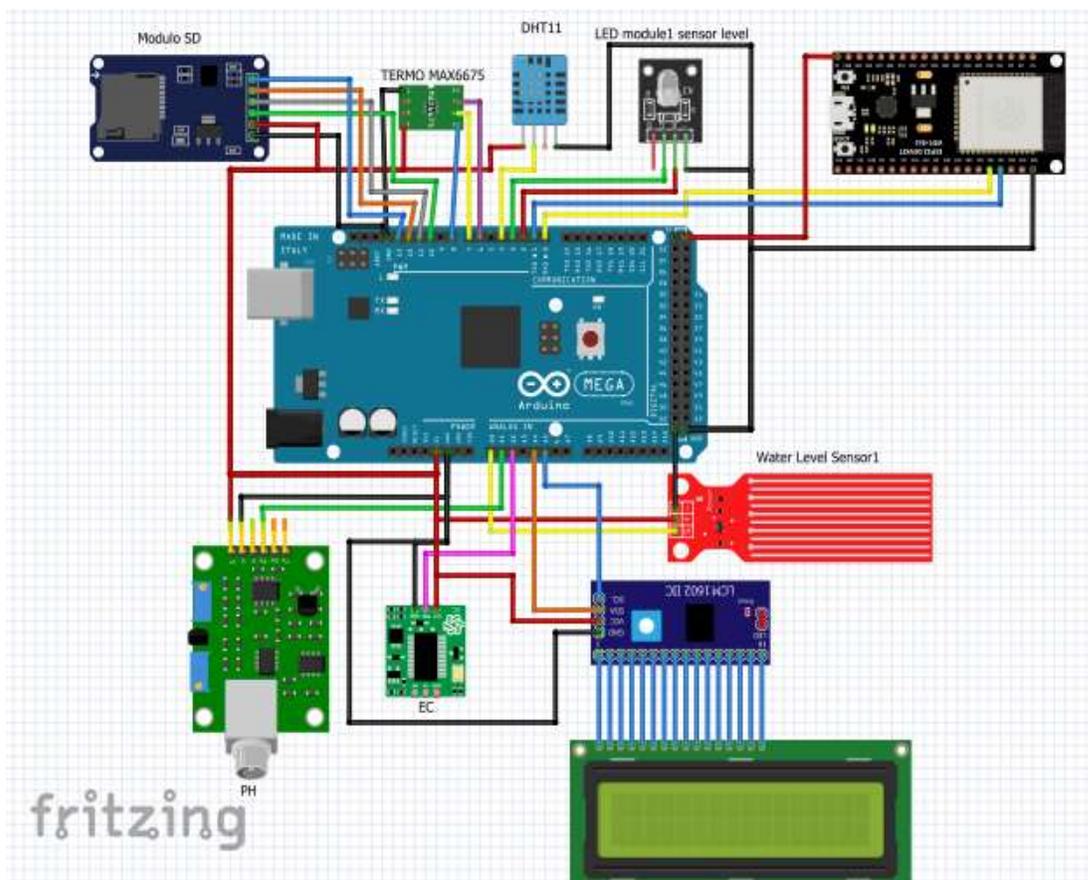
2.2.4. Diseño del sistema de monitoreo y control

En esta etapa se propone el diseño del sistema de monitoreo y control que permita supervisar y regular las variables necesarias para el óptimo crecimiento del cultivo. Este sistema garantizará un monitoreo continuo a lo largo de los 30 días de desarrollo de la planta, asegurando así su correcto desarrollo y rendimiento.

Para llevar a cabo este diseño de control, es fundamental considerar detalladamente la selección de los sensores a utilizar, con el fin de lograr un control efectivo y preciso de las variables involucradas.

Figura 17

Diseño electrónico de monitoreo



Fuente: El autor.

En la figura 16, se observa la conexión de cada uno de los sensores seleccionados para realizar el monitoreo de las variables. Además, se destacan dos microprocesadores que se encargarán de recopilar los datos proporcionados por cada sensor, en este caso el arduino mega hará la lectura de los datos que arroje cada uno de los sensores y el ESP32 se conectará por los puertos serial del arduino para recibir los datos y reflejarlos en la LCD.

Figura 18

Muestra de datos LCD



Fuente: El autor.

Además, se ha integrado el módulo SD para conservar los datos recopilados durante el ciclo de cultivo. Este componente se encarga de preservar la información proveniente de los distintos sensores utilizados. Su función es almacenar los datos de las variables relevantes durante el proceso de riego. Se tiene programado realizar 8 riegos diarios cada hora y media. La razón fundamental detrás de la recopilación y almacenamiento de estos datos es conocer la información de manera detallada para un monitoreo y una gestión precisa del suministro de nutrientes, contribuyendo así al éxito y salud óptima del cultivo.

Figura 19

Almacenamiento de datos SD

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Fecha: 10/10/2023	Hora: 08:30:40	ph:4.92		
EC: 224				
T: 20				
H: 47				
TA:18				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 10:00:15	ph:5.87		
EC: 225				
T: 22				
H: 44				
TA: 24				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 11:30:29	ph:6.30		
EC: 324				
T: 19				
H: 47				
TA: 25				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 13:00:10	ph:4.93		
EC: 335				
T: 20				
H: 40				
TA:28				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 14:30:20	ph:6.58		
EC: 332				
T: 24				
H: 45				
TA: 29				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 16:00:32	ph:4.35		
EC: 431				
T: 21				
H: 51				
TA: 24				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 17:30:40	ph:4.66		
EC: 312				
T: 20				
H: 49				
TA: 24				
Fecha: 10/10/2023	Hora: 19:00:20	ph:5.69		
EC: 325				
T: 19				
H: 50				
TA: 21				

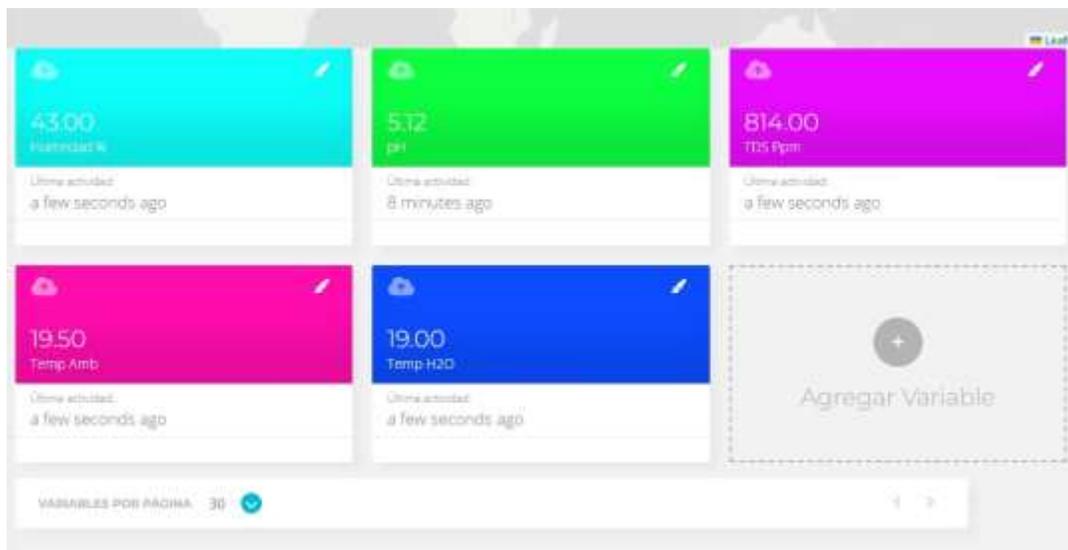
Fuente: El autor.

En la Figura 19, se presenta de forma detallada el valor inicial de cada variable al comenzar los riegos programados. Una vez adquirida esta información, es posible analizar que las variables han permanecido dentro del rango adecuado, asegurando que las raíces de las plantas no experimenten fracturas y que se fomente un desarrollo saludable.

Por otra parte, se llevó a cabo un monitoreo IOT mediante la plataforma Ubidots, esta plataforma permite la recopilación, visualización y análisis de los datos provenientes de los sensores conectados, posteriormente se lleva a cabo la monitorización de variables a lo largo del periodo de siembra, seguido por un análisis integral de los valores, tanto monitoreo IOT como control manual de la motobomba.

Figura 20

Monitoreo de variables Ubidots



Fuente: El autor.

En la Figura 20, se presenta el panel de control que permite la monitorización detallada de cada variable. Se ha habilitado una sección en el panel para visualizar el historial de valores de cada variable, con el propósito de analizar su comportamiento a lo largo del día. Es importante tener en cuenta que no siempre se realizará una supervisión en tiempo real de las variables. Por esta razón, se ha implementado la funcionalidad de acceso a la nube de cada variable directamente desde el panel, proporcionando así una herramienta accesible y eficiente para revisar el historial de datos cuando sea necesario.

Además, se cuenta con el control manual de la motobomba, como se mencionó anteriormente, no siempre es posible estar supervisando o ajustando la motobomba en cada intervalo de riego, por esta razón, con el apoyo de la fundación Funandino se implementó un sistema de control manual que permite al usuario programarla para llevar a cabo los riegos de manera automatizada, facilitando así su funcionamiento en momentos en los que no se puede estar presente para manejarla manualmente.

Para efectuar la conexión de este cronómetro, se inicia conectándolo al interruptor termomagnético, el cual dispone de conexiones de fase y neutro. Respetando estas conexiones, se procede a la vinculación con el cronómetro, conectando la fase y neutro a las entradas correspondientes del cronómetro, específicamente a los terminales 1 y 2. Una vez completada esta conexión, se procede a enlazar el cronómetro con la motobomba, tomando el neutro y conectándolo a la motobomba. Posteriormente, se toma la fase y se conecta a los terminales 7 y 8 del cronómetro como se observa en la figura 22.

Figura 21

Control manual de motobomba

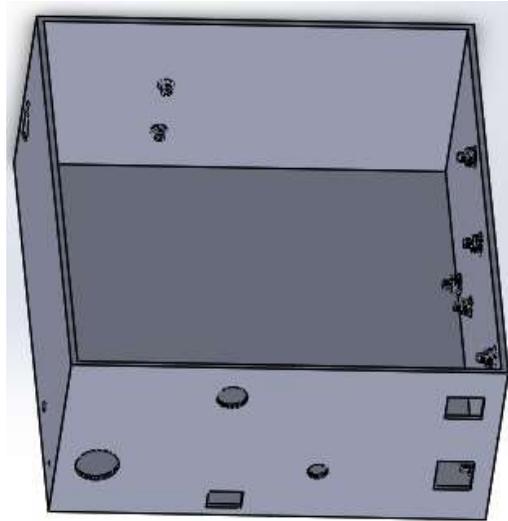


Fuente: El autor.

Para concluir esta fase, se ha diseñado el prototipo de la caja de monitoreo en SolidWorks, que cumple con las dimensiones requeridas para ubicar los componentes electrónicos del sistema de monitoreo indicado.

Figura 22

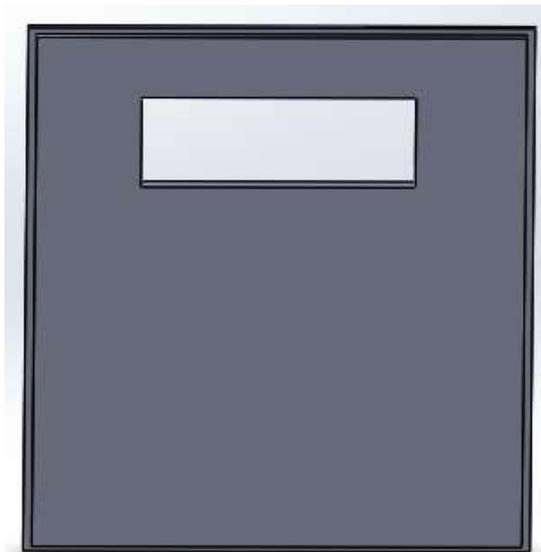
Caja de monitoreo



Fuente: El autor.

Figura 23

Tapa de caja de monitoreo



Fuente: El autor.

Figura 24

Sistema de monitoreo final



Fuente: El autor.

Figura 25

Sistema de monitoreo funcional



Fuente: El autor.

Además, se incorporó una cámara en una parte central del invernadero con una altura adecuada para realizar un monitoreo del cultivo. Este seguimiento permite observar el desarrollo diario de las plantas durante sus 30 días de proceso.

Figura 26

Monitoreo por cámara



Fuente: El autor.

Teniendo los inconvenientes relacionados con la pérdida de agua en el sistema de cultivo hidropónico, se ha considerado la posibilidad de coordinar con un técnico una nivelación láser como se lo puede observar en la figura 26, ya que una mala nivelación dificulta el flujo adecuado del agua a través de los tubos, lo que, en algunas ocasiones, resulta en fracturas en las raíces de las plantas.

Figura 27

Nivelación laser



Fuente: El autor.

Finalmente, se instaló un suministro de luz UV-A como se observa en la figura 27, la cual ayudará a la observación de la floración de la lechuga, esta fuente de luz UV provoca reacciones fisiológicas que acelerar el proceso de desarrollo de las plantas en un menor tiempo estipulado, el uso de esta luz es de aproximadamente 15 a 30 minutos, ya que es importante tener en cuenta que el exceso de luz puede causar quemaduras en las hojas de la planta, una vez se haya realizado el su uso se debe hacer un análisis detallado para descargar cualquier daño y asegurar que las plantas se encuentran en óptimas condiciones (Pedrini, 2023).

Figura 28

Luz UV-A



Fuente: El autor.

2.2.5. Verificación del funcionamiento del sistema mediante el seguimiento continuo del cultivo de hortalizas

Para verificar el funcionamiento del sistema de control y monitoreo, se ha decidido implementar una codificación que permitirá medir los valores en ocho ocasiones diarias. Esto se debe a que la motobomba se activa ocho veces al día para llevar a cabo la recirculación de la sustancia nutritiva.

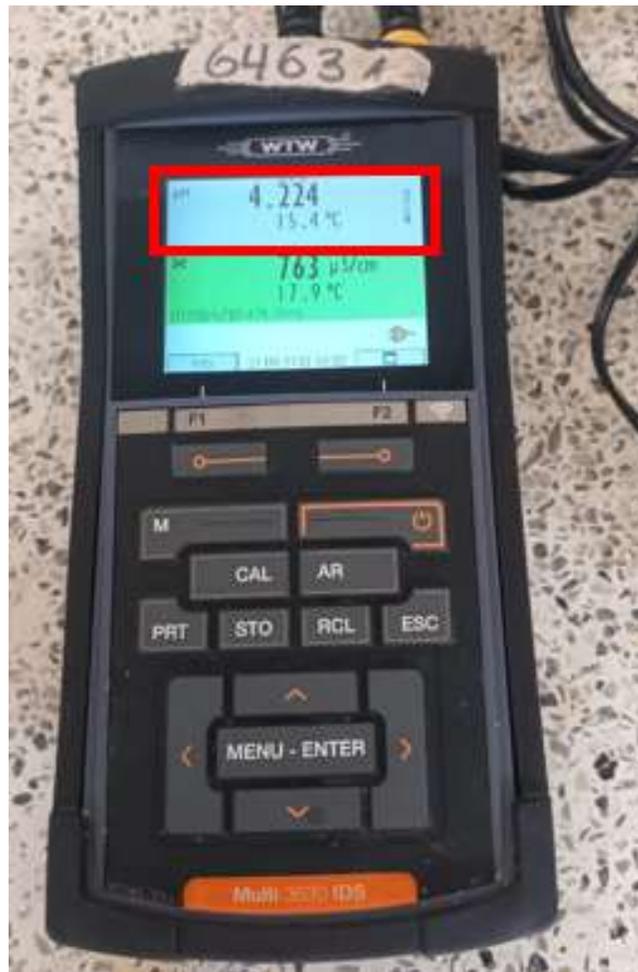
El objetivo de esta fase consiste en minimizar los errores derivados de la intervención manual. En este sentido, se llevó a cabo una comparación detallada entre los datos registrados manualmente y los datos recopilados de manera automatizada. Una vez finalizado el período de desarrollo de las

plantas, se recopilaron datos correspondientes a un lapso de 30 días, los cuales serán utilizados para llevar a cabo una comparación detallada de las variables.

Para poder realizar un buen seguimiento de dichas variables se realizó una calibración en los laboratorios de la Universidad Mariana de los sensores con los que se realizará las mediciones de cada variable.

Figura 29

Calibrador patrón de pH y Temp H₂O



Fuente: El autor.

En la Figura 29, se muestra el calibrador patrón utilizado para medir el pH y la temperatura del agua, este patrón fue calibrado empleando dos tampones: uno a pH 4 a 15°C y otro a pH 7 a 15°C. Posteriormente, se procedió a calibrar los sensores utilizados para medir estas variables en el

cultivo. Seguidamente, se calibró el sensor de pH para garantizar mediciones necesarias una vez instalado en el sistema de cultivo hidropónico.

Figura 30

Calibración de sensores del prototipo pH y Temp H2O



Fuente: El autor.

Como se observa en la Figura 30, se presenta el proceso de calibración del sensor de pH y temperatura del agua, los cuales se encargan de realizar las mediciones detalladas en el cultivo, después de verificar ambas informaciones, se confirma que los sensores están listos para ser instalados en el cultivo, ya que su calibración concuerda de manera consistente con el calibrador patrón.

Figura 31

Calibrador patrón de Hum%



Fuente: El autor.

En la Figura 31, se presenta el calibrador de humedad relativa, el cual fue sometido a diversas pruebas para facilitar la posterior calibración del sensor de humedad destinado a ser instalado en el cultivo, las pruebas consistieron en la creación de ambientes específicos, de manera que el sensor del prototipo coincida con el calibrador patrón.

Figura 32

Calibración de sensores del prototipo Hum% y Temp ambiente

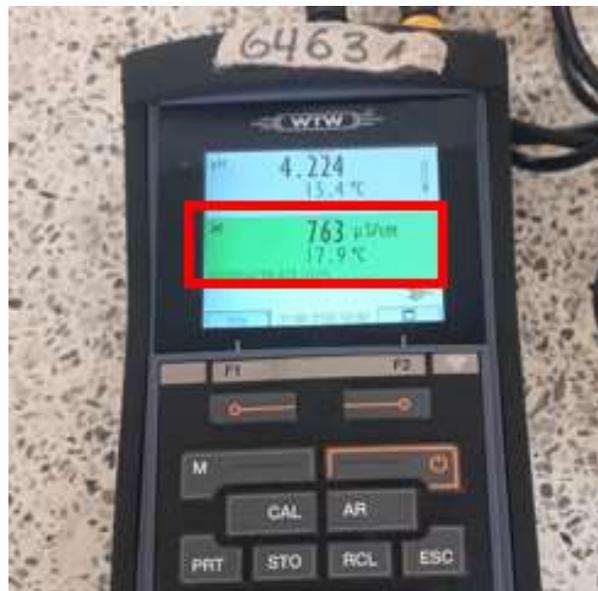


Fuente: El autor.

En la Figura 32, se evidencia la correspondencia de los valores de humedad relativa con el patrón de calibración, después una serie de pruebas se logró un resultado exitoso, validando la calibración del sensor para ser instalado en el cultivo y medir con precisión la obtención de humedad relativa.

Figura 33

Calibrador patrón de EC



Fuente: El autor.

En la Figura 33, se muestra el calibrador patrón de conductividad eléctrica, el cual se sometió a un proceso de calibración utilizando diversas sustancias con el fin de calibrar el sensor del prototipo, este calibrador mide la conductividad en microsiemens por centímetro (uS/cm). En este caso, se llevó a cabo una conversión que establece que 1 uS/cm es equivalente a 0,64 ppm, Por consiguiente, al multiplicar 0,64 por 763, se obtiene un valor de 488 ppm.

Figura 34

Calibración de sensor de EC del prototipo



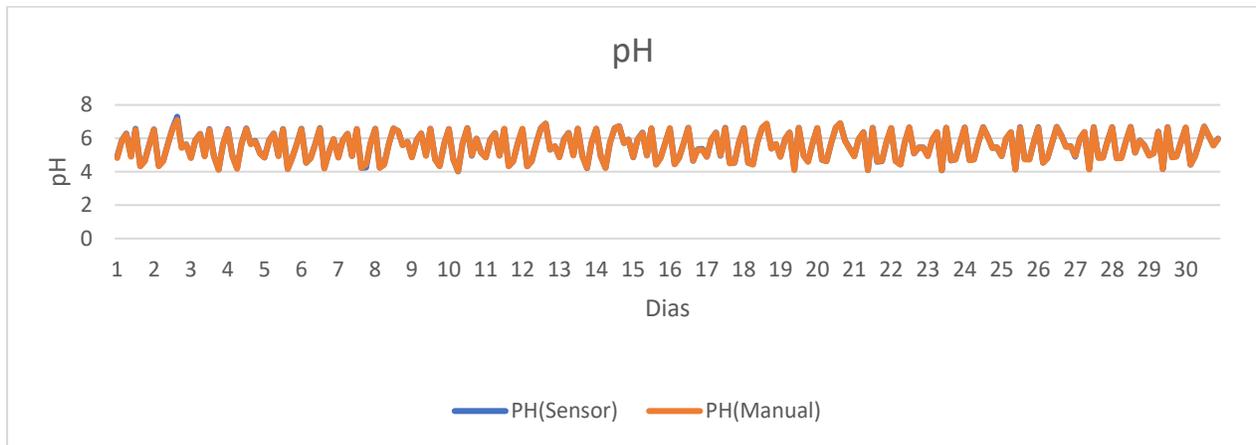
Fuente: El autor.

En la Figura 34, se presenta el sensor de conductividad eléctrica del prototipo, el cual se sometió a diferentes pruebas para su calibración, después de llevar a cabo los procedimientos necesarios, se pudo confirmar la calibración del sensor para su instalación en el cultivo hidropónico, permitiendo así la lectura precisa de las variables pertinentes.

Una vez completada la calibración de los sensores destinados al cultivo hidropónico, se procede con a la instalación para llevar a cabo la captura de datos de las variables relevantes. Al finalizar el ciclo de cultivo, se realiza una comparación de los datos obtenidos por los sensores instalados, tanto los manuales como los que se monitorean de forma remota.

Figura 35

Sensor pH



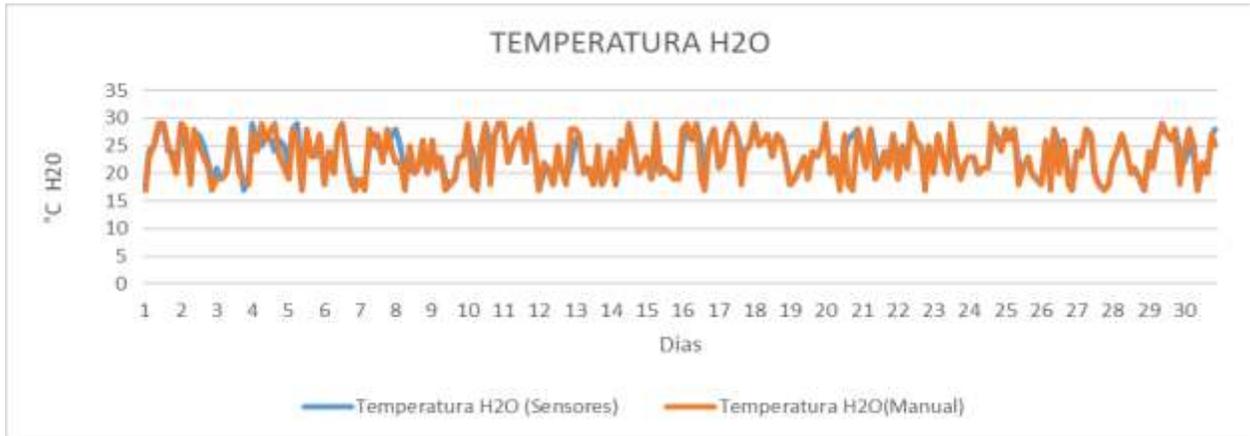
Fuente: El autor.

La Figura 35, que representa los niveles de pH, se observa claramente que el sensor de uso manual exhibe un margen de error mínimo en comparación con el sensor automatizado, Sin embargo, se presenta una variación significativa en el día 3, donde el margen de error es notable, indicando que el pH supera el límite establecido para el cultivo, teniendo en cuenta este hallazgo, se tomó la medida de bajar el pH para evitar posibles daños a las hojas de las plantas.

Al comparar el rendimiento entre el sensor manual LIUIC Digital pH Meter y el monitorizado pH-4502C, se observa un margen de error mínimo, en la cual se enfatiza la importancia de calibrar los sensores manuales, ya que pueden no proporcionar lecturas precisas de las variables.

Figura 36

Temperatura H2O

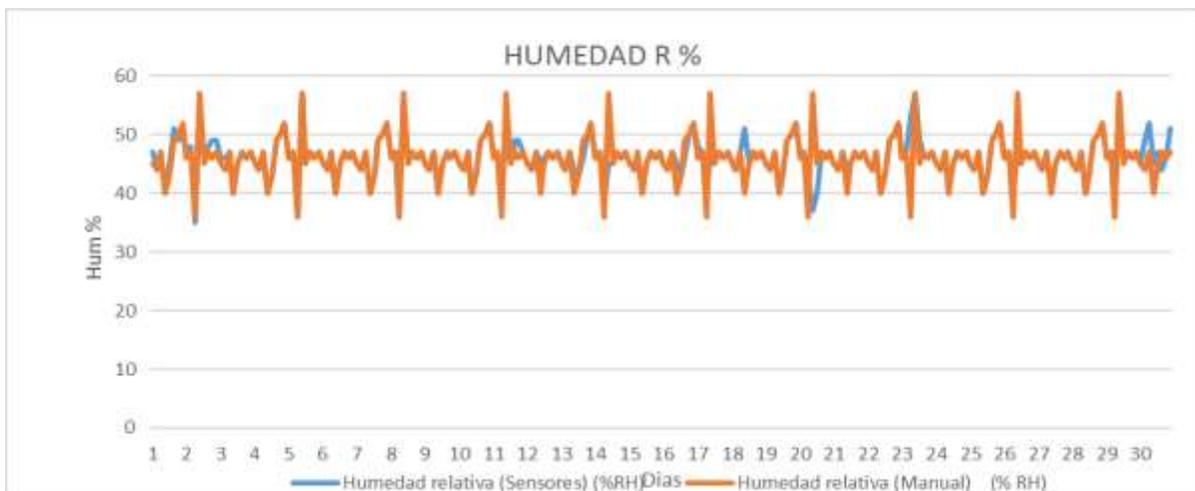


Fuente: El autor.

En la Figura 36, se realiza una comparación de los datos de temperatura del agua (H2O), medidos tanto por el sensor termohigrómetro digital Htc2, con sonda de temperatura y humedad, como por el sensor de termocupla max6675. Al concluir el ciclo de cultivo, se efectúa un análisis comparativo de los datos, donde se evidencia claramente que el manual del sensor exhibe errores continuos a lo largo de un período de 6 días. Tras revisar el manual del sensor, se descubrió que estaba descalibrado, lo que llevó a la necesidad de reemplazarlo para mantener un monitoreo preciso de las variables durante el ciclo de cultivo.

Figura 37

Humedad relativa



Fuente: El autor.

En la Figura 37, se representa los datos de humedad relativa, se muestran las lecturas de dos sensores: el termohigrómetro digital Htc2 y el sensor DHT11, donde ambos sensores registraron datos a lo largo del ciclo de cultivo. Se observa que los datos del sensor manual muestran un desfase respecto a los datos de los sensores automatizados. Tras una revisión detallada al sensor manual, se identificó la necesidad de reemplazarlo, ya que su falta de precisión en la captura de datos podría propiciar el desarrollo de enfermedades en las raíces de las plantas, como la formación de moho.

Finalmente se realiza la comparación de los sensores de conductividad eléctrica la cual indicara la cantidad de nutrientes que tiene la sustancia que recircula sobre el cultivo durante las semanas de cultivo.

Figura 38

Conductividad eléctrica



Fuente: El autor.

En la Figura 38, se presentan los datos de conductividad eléctrica obtenidos a través de dos sensores: el sensor manual, medidor de conductividad eléctrica y probador de agua digital, y el sensor automatizado, conductímetro TDS Meter. Ambos sensores realizaron mediciones a lo largo de las 5 semanas del ciclo de cultivo, como se puede apreciar en la gráfica, se analiza un rango de error mínimo en el proceso de medición, lo cual asegura que los sensores operaron de manera adecuada, ya que sus valores son prácticamente precisos.

Finalmente, se ha elaborado una tabla de comparación entre el cultivo que fue monitorizado y aquel al cual se le hizo un seguimiento de manera manual.

Tabla 4

Cultivo automatizado



Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Peso	Peso	Peso	Peso	Peso
100 gr	210 gr	370 gr	690 gr	1500 gr

Fuente: El autor.

Tabla 5

Cultivo con seguimiento manual



Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
peso	peso	peso	peso	peso	peso
100 gr	190 gr	298 gr	372 gr	560 gr	1200 gr

Fuente: El autor.

En las tablas 4 y 5 se puede observar los resultados de los dos cultivos, destacando el impacto de la implementación de un sistema de monitoreo y control de variables en uno de ellos. El cultivo optimizado mediante este sistema se desarrolló en un periodo de 5 semanas, subrayando los beneficios de aplicar este enfoque junto con los actuadores mencionados anteriormente.

Teniendo en cuenta, el cultivo que fue monitoreado manualmente requirió de 6 semanas para completar su ciclo, lo cual, es importante señalar que, en el cultivo automatizado, se evidencia un desarrollo más rápido de las plantas y un mayor peso, lo que sugiere claramente los beneficios sustanciales de la automatización en un cultivo hidropónico.

Esta eficiencia se traduce no solo en un ahorro de una semana en el ciclo de cultivo, sino también en la posibilidad de dedicar ese tiempo a otra siembra, al analizar los resultados indican que la implementación de sistemas automatizados en el cultivo hidropónico no solo acelera el proceso de crecimiento de las plantas, sino que también mejora significativamente su rendimiento, demostrando así la viabilidad y ventajas de la automatización en la agricultura.

Esto resalta los beneficios que el cultivo puede ofrecer a las mujeres rurales, brindándoles la ventaja de ahorrar una semana en el proceso, esta eficiencia les permite iniciar la siembra de sus productos más rápidamente, abriendo así oportunidades para emprender de manera más amplia y efectiva.

3. Conclusiones

En el sistema de cultivo tubular, la nivelación láser se presenta como la opción más eficiente para garantizar el flujo adecuado de la solución nutritiva, permitiendo así que las raíces de las plantas absorban los nutrientes de manera óptima

En un entorno controlado y supervisado, la planta experimenta un desarrollo óptimo en términos de peso y tiempo durante su ciclo de cultivo

La mejora en el monitoreo de las plantas ha llevado a la producción de un producto de alta calidad en un tiempo reducido. Esto ha facilitado la integración de mujeres rurales en empresas, fortaleciendo sus vínculos comerciales y generando apoyo en diversas compañías para continuar mejorando la producción de manera progresiva.

Considerando el proceso de monitoreo, se destaca la importancia de la calibración precisa de los sensores, ya que la obtención incorrecta de los valores de las variables puede provocar alteraciones significativas en el desarrollo de las plantas. Este hallazgo opta la necesidad de una atención detallada a la precisión de los sensores de monitoreo, asegurando que los datos recopilados sean confiables y conduzcan a decisiones acertadas en el cultivo.

Concluyendo los beneficios de la automatización en el cultivo hidropónico, es importante destacar la ampliación de oportunidades en el ámbito de la comercialización para el fortalecimiento económico de la mujer rural, ya que la posibilidad de establecer acuerdos con empresas ha permitido expandir la comercialización de los productos. Además, es gracias a la colaboración con el programa de ingeniería mecatrónica se ha facilitado la vinculación del proyecto con Prometeus, estableciendo un convenio directo que potencia aún más las opciones de comercialización. Este enfoque integral no solo mejora la eficiencia en la producción, sino que también promueve el crecimiento económico sostenible en las mujeres rurales.

4. Recomendaciones

Fomentar la integración perfecta de tecnologías avanzadas, como la nivelación láser y los sistemas de monitoreo automatizados, para mejorar la eficiencia del cultivo hidropónico e invertir en tecnología que puede generar mejores resultados y una mayor productividad y economía de la mujer rural.

Implementar un sistema sólido para monitorear y evaluar el impacto de los proyectos hidropónicos en el empoderamiento económico de las mujeres rurales y implementar las evaluaciones periódicas, las cuales ayudarán a perfeccionar las estrategias y abordar cualquier desafío que pueda surgir con el tiempo.

Referencias Bibliográficas

- Admin. (14 noviembre, 2013). El Cultivo Hidropónico: ¿Qué Es Y Cómo Funciona? SCRATS Sindicato Central De Regantes Del Acueducto Tajo-Segura: Obtenido de <http://www.trasvasetajosegura.com/el-cultivo-hidroponico-que-es-y-como-funciona/>
- Aquino G, et al (2019) Hidroponía NFT Automatizada. Obtenido de: <http://servicios.fpune.edu.py:8080/jspui/handle/123456789/1007>
- Alipio et al (22 diciembre, 2011). Sobre el diseño de la granja hidropónica con técnica de película de nutrientes para la agricultura inteligente: Obtenido de <https://scihub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1881836617303294?via%3Dihub>
- Amy Lizbeth J. Rico (2020). Sistema automatizado de monitoreo y control de pH para cultivos hidropónicos en condiciones de invernadero: Obtenido de <https://www.medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2020.523.528>
- Ardobot (2020) sensor de temperatura termocupla Max6675. Obtenido de: <https://www.ardobot.co/sensor-de-temperatura-termocupla-max6675.html>
- Blanco L, Del Pilar M, Martínez E. (Diciembre 2014). México D. F. México: CIECAS – IPN: Análisis cuantitativo sobre el estado del arte de la hidroponía. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/7042>
- Basterrechea M. (7 Agosto, 2014). Hidroponía casera. Obtenida de <https://www.hidroponiacasera.net/como-funciona-el-sistema-nft/>
- Beltrano J, Giménez D. (2015). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>

- Brenes P, et al (2014) Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT. Obtenido de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castrillón, Torres (2017) Fundamentos de ingeniería. Obtenido de: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=OEzaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=articulos+que+me+soportan+esto+1+litro+de+agua+equivale+a+1kg&ots=DFFCaJkHTf&sig=6DKnZba8sQ2dhXNsgVtr5PG6wiY#v=onepage&q&f=false>
- Cambra et al, (25 de abril 2018). Sistema Inteligente de Control de Bicarbonato en Riego para la Agricultura Hidropónica de Precisión: Obtenido de <https://www.mdpi.com/14248220/18/5/1333>
- Cho et al, (2017). Un sistema integrado para la gestión automatizada de soluciones de nutrientes hidropónicos: Obtenido de <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?AID=48337&t=3&dabs=Y&redir=&redirType>
- Collazos H. (2010). Bogotá D.C. Colombia. Revista de investigación Agraria y ambiental. Artículos de Investigación. obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/904>
- ElectronicaPTY, (2017) Aprende con electronicaPTY. Obtenido de: <http://www.electronicapty.com/images/stories/virtuemart/product/M%C3%B3dulo%20Sensor%20Detector%20PH%20con%20Electrodo%20para%20Arduino.jpg>
- Electrostore, (2019) Módulos sensor análogo de conductividad tds. Obtenido de: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/agua/modulos-sensor-analogo-de-conductividad-tds/>
- Fernández M. (s.f.). Área de Experimentación y Demostración Agroganadera. Sistema de riego localizado. Obtenido de <http://serida.org/pdfs/6003.pdf> ysmorenob .pdf
- Flores F (2020) Sistema automatizado para la regularización de ph de un sistema de fertirrigación de cultivos hidropónicos mediante controlador lógico programable. Obtenido de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0df5929f-9576-48cb-8224-aa0ee8db99c0/content>

- GroHo (2022). Humedad en el cultivo. España. Obtenido de: <https://www.groho.es/post/como-controlar-l-humedad#:~:text=El%20rango%20de%20humedad%20requerido,otros%20crecimientos%20biol%C3%B3gicos%20no%20deseados>.
- Hetpro, (2020) MAX6675 con Arduino y Termopar tipo K. Obtenido de: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/termopar-tipo-k-max6675-alarma/>
- Intagri (2017). La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protegida. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Lei Shu (10 junio 2021). Diseño e implementación de un sistema de soporte de información de tiempo de cosecha y monitoreo de fresas hidropónicas basado en Nano AI-Cloud e IoTEdge: Obtenido de <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/12/1400/htm>
- Moviltronics, (2022) Sensor Temperatura y humedad Digital DHT11. Obtenido de: <https://moviltronics.com/tienda/sensor-dht11/>
- MGAP. (s.f). Hidroponía Simplificada. Cartillas de capacitación ¿Qué es la Hidroponía? Obtenido de <http://www2.mgap.gub.uy/BibliotecasdelMGAP/BibliotecaCentral/Boletines/B6Publicaciones/Hidroponia.pdf>
- Muhammad E. et al (2020). Diseño, construcción y prueba de banco de pruebas de cultivo hidropónico vertical interior automatizado basado en IoT en Qatar: Obtenido de <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/19/5637>
- Nunsys.(s.f.). Automatización y control industrial. Obtenido de <https://www.nunsys.com/producto-automatizacion-industrial/>
- Omega (2018) medidores de PH. Obtenido de: <https://mx.omega.com/prodinfo/medidores-depH.html>
- Peña P, Veselovschi P.(Junio, 2019). Bogotá D.C. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. La Agricultura Urbana como herramienta para el bienestar de las personas mayores del Centro de Protección Social Bosque Popular de Bogotá. Obtenido de https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2247/DQAspa2019La_agricultura_urbana_como_herramienta_para_el_bienestar_de_las_personas_mayores;jsessionid=5ED4CF62907571AD5B4C64FEB229030C?sequence=1

Padma Nyoman et al (2017). Hommons: Sistema de gestión y monitorización hidropónica para una granja NFT basada en IOT usando tecnología: Obtenido de <https://scihub.se/https://ieeexplore.ieee.org/document/8089268>

Pedrini N, et al (2020) Los conidios de *Metarhizium robertsii* y *M. acridum* producidos en un medio suplementado con riboflavina tienen una mayor tolerancia a los rayos UV-A y genes de fotoprotección y fotoreactivación regulados positivamente. Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10526-019-09990-w>

Restrepo L, Valasco S (2020) Automatización de la técnica de hidroponía NFT en invernadero, con monitoreo web. Obtenido de: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/288ae67f-c6d5-42b1-89c8/content#:~:text=Al%20automatizar%20cultivos%20hidrop%C3%B3nicos%20y,de%20hidropon%C3%ADa%20se%20unen%20para>

Rico Amy (3 septiembre 2021). Monitoreo de la temperatura del depósito hidropónico y control de la temperatura en el invernadero condición: Obtenido de <https://www.ijrte.org/wpcontent/uploads/papers/v8i3/C6205098319.pdf>

Savvas, D. (18 junio 2002). Reposición automatizada de efluentes de invernadero reciclados con nutrientes en hidroponía mediante dos modelos alternativos: Obtenido de <https://scihub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511002901066?via=ihub>

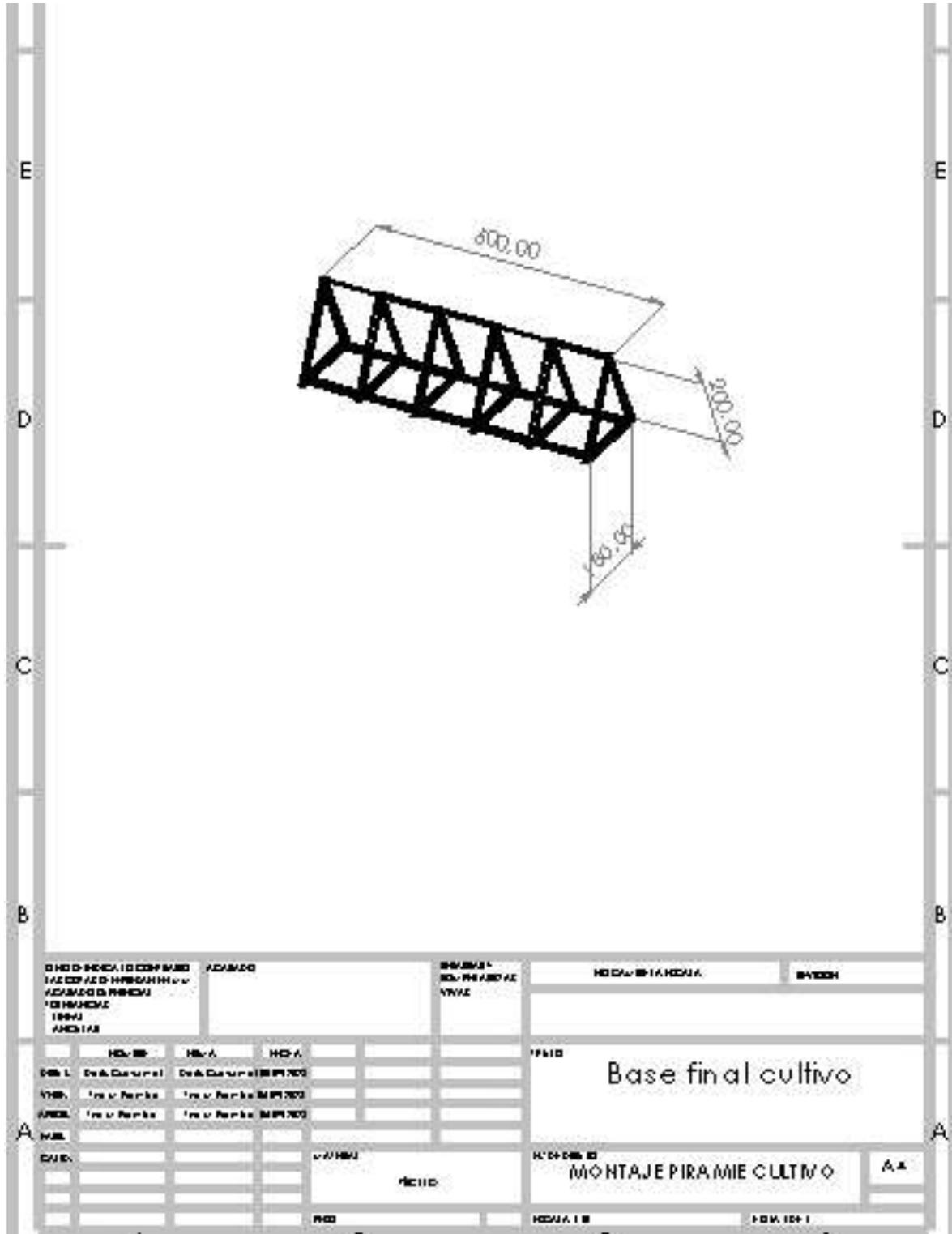
Sáez j. (3 Julio, 2000). Chapingo, México. Utilización de sustratos en viveros. Red de Revistas Científicas de América Latina. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317307.pdf>

Spengler (s, f). Temperatura del agua hidropónica. Obtenido de: <https://www.diversegarden.com/special/containers/hydroponic-watertemperature.htm>

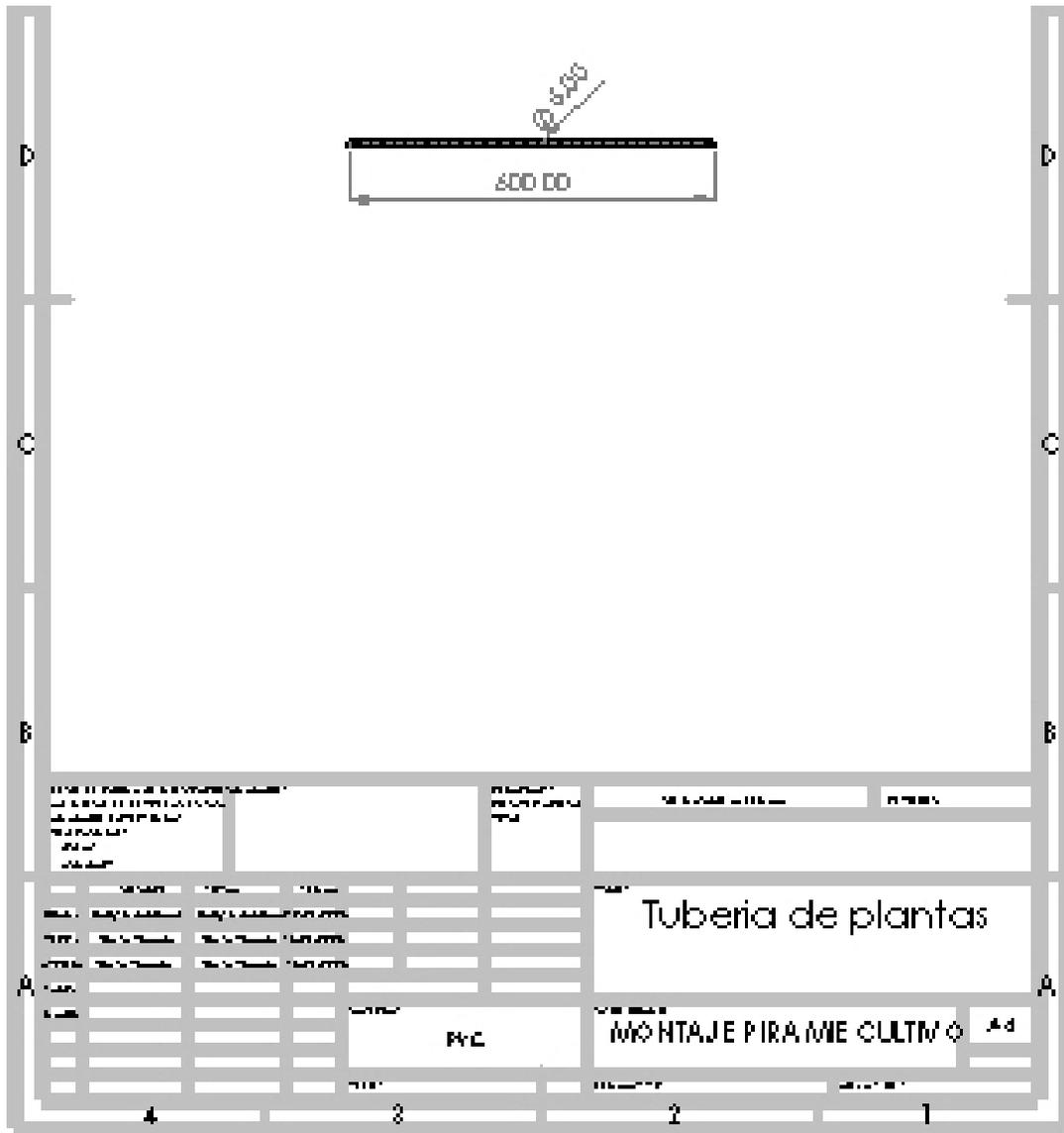
Vistronica, (2020) Tienda virtual de electrónica. Obtenido de: <https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-nivel-de-liquido-con-flotador-vertical-p52-0-110v-baja-presion-detail.html>

Anexos

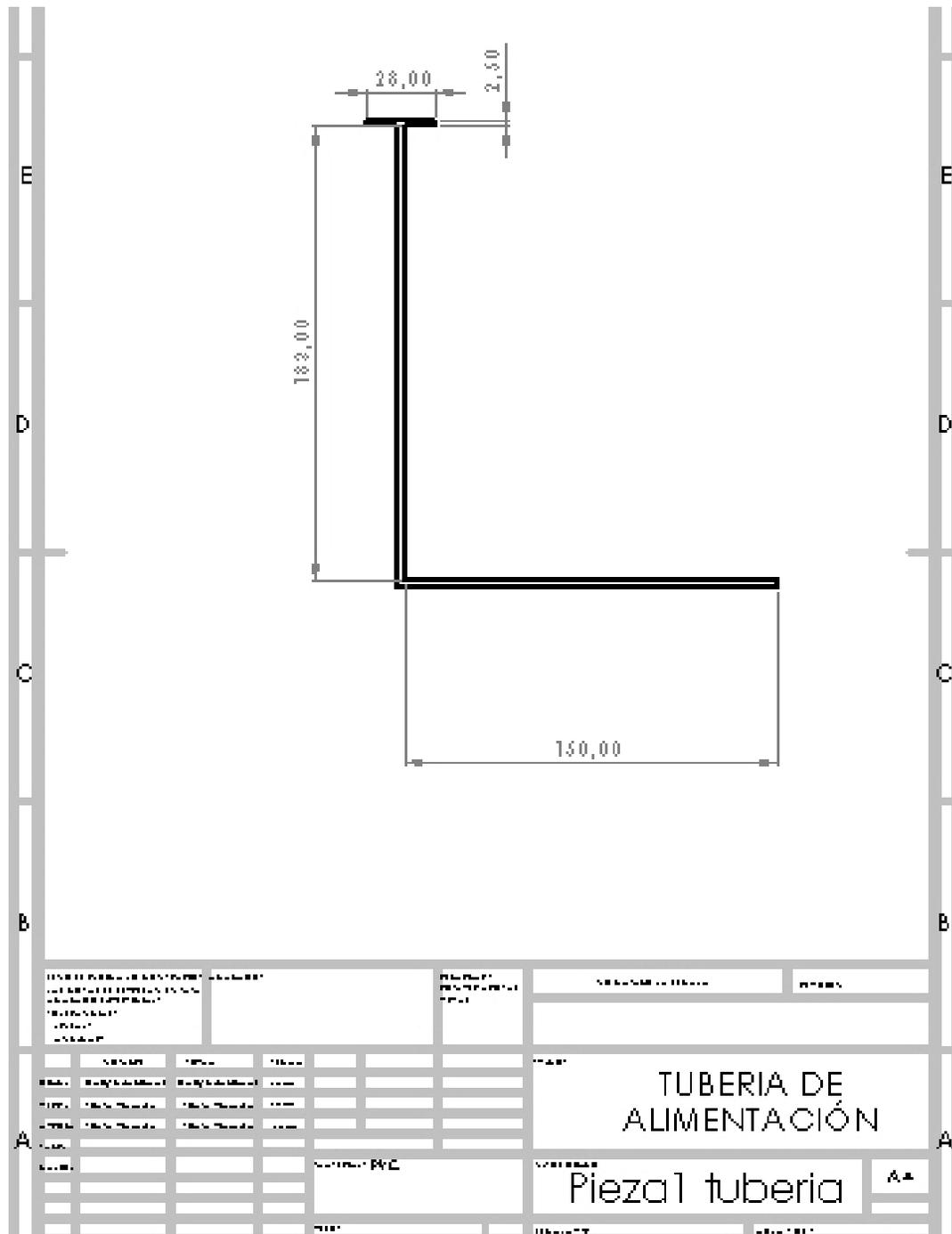
ANEXO 1.
PLANO DE BASE DE CULTIVO.



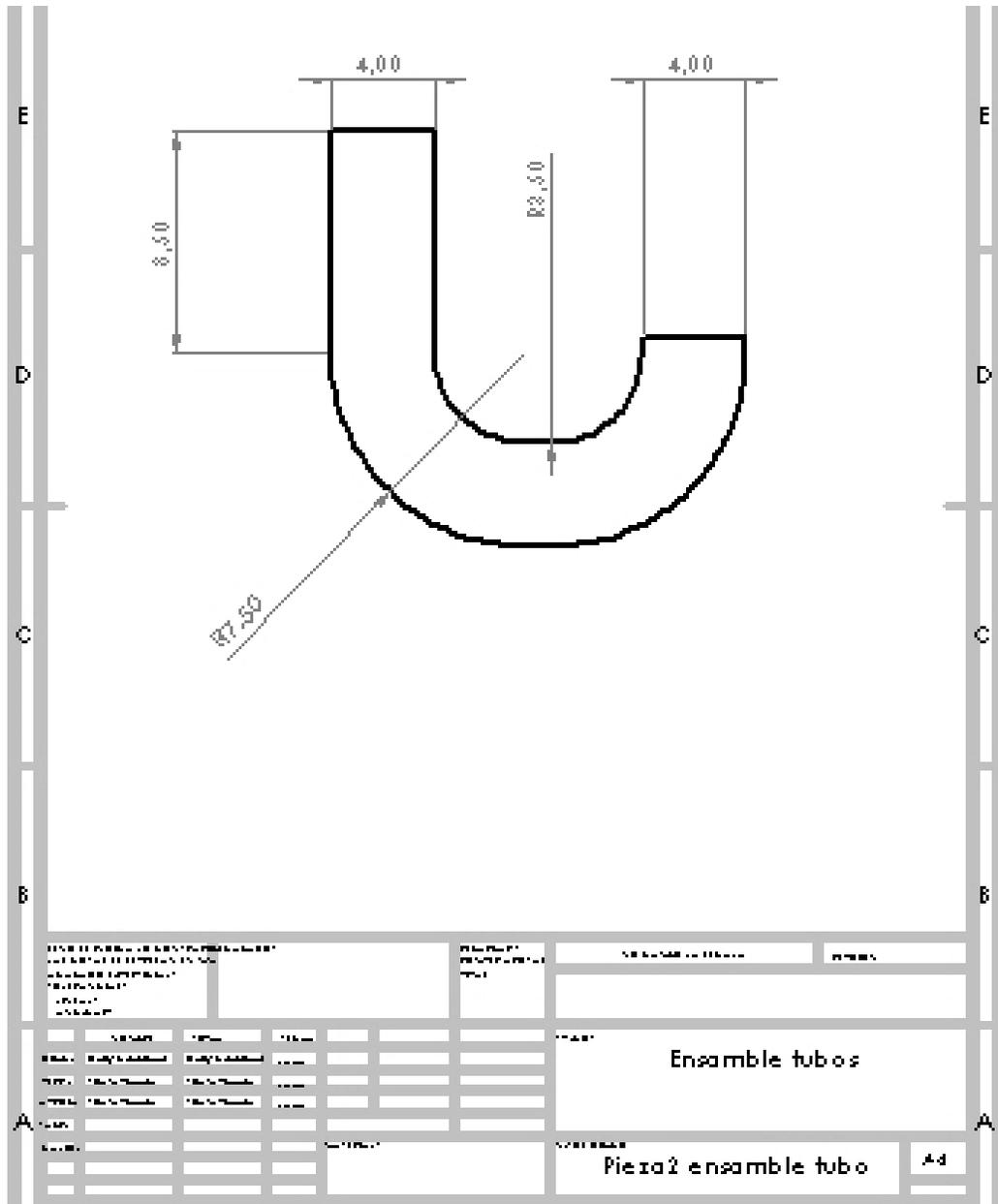
ANEXO 2.
PLANO DE TUBERÍA DE PLANTAS.



ANEXO 4.
PLANO DE TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.



ANEXO 5.
PLANO DE ENSAMBLE DE TUBERÍAS.



ANEXO 6.
DISEÑO DE PCB PARA REPARTIR VOLTAJES.

