

PROPUESTA PARA UN SISTEMA SEMIAUTOMATICO DE MONITOREO PARA UN
CULTIVO HIDROPÓNICO DE FRESA MONTERREY EN LA FINCA SAN CAYETANO-
VEREDA LOS MANZANOS-FACATATIVÁ-CUNDINAMARCA

DIEGO ALEJANDRO POVEDA CUELLAR
JHONATAN ALEXANDER ALONSO HUESO

MONOGRAFÍA

HUGO ADRIÁN CAÑÓN CELIS

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA
FACULTAD DE INGENIERIA
FACATATIVÁ



TABLA DE CONTENIDO

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2. JUSTIFICACIÓN	8
3. OBJETIVOS	10
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
4. MARCO REFERENCIAL	11
4.1. ESTADO DEL ARTE	11
4.2. MARCO HISTÓRICO Y GEOGRÁFICO	14
4.2.1. MARCO HISTÓRICO	14
4.2.2. MARCO GEOGRÁFICO	17
4.3. MARCO TEÓRICO.....	19
4.3.1. LA FRESA.....	19
4.3.2. COMPONENTE EDAFOCLIMÁTICO	24
4.3.3. HIDROPONÍA.....	24
4.3.4. EDT	25
4.3.5. Matriz DOFA.....	25
4.3.6. SENSORES	26
4.4. MARCO CONCEPTUAL.....	27
4.4.1. HIDROPONÍA.....	27
4.4.2. INOCUIDAD AGRÍCOLA	27
4.4.3. SUSTRATO.....	27
4.4.4. PH	28
4.4.5. IOT (INTERNET DE LAS COSAS)	28
4.4.6. WSN.....	29
4.4.7. ALGORITMO.....	29
4.4.8. HMI.....	29
4.4.9. CABLE UTP	29
4.4.10. SENSOR.....	29
4.4.11. RELÉ	29
4.4.12. TENSIÓN ELÉCTRICA.....	30
4.4.13. CORRIENTE ELÉCTRICA	30



4.5. MARCO LEGAL.....	30
5. DISEÑO METODOLÓGICO	32
5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	32
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
5.3. POBLACIÓN	32
5.4. MUESTRA.....	32
5.5. ENFOQUE METODOLÓGICO	32
5.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	34
6. PROCEDIMIENTO	37
6.1. REVISIÓN LITERARIA.....	37
6.2. DISEÑO ELECTRÓNICO – ELÉCTRICO.....	40
6.2.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	41
6.2.2 PH.....	42
6.2.3 CONDUCTIVIDAD.....	43
6.2.4 TEMPERATURA DEL AGUA.....	43
6.2.5 TIEMPO - LUMINOSIDAD	44
6.2.6 DISEÑO ELECTRÓNICO – ELÉCTRICO FINAL.....	45
6.3. DISEÑO MECÁNICO.....	48
6.3.1 ESTRUCTURA DEL INVERNADERO	48
6.3.2 BASE DEL CULTIVO.....	54
6.3.3 CUERPO DEL CULTIVO.....	58
6.4. DISEÑO MECATRÓNICO	61
7. CONCLUSIONES.....	68
8. RECOMENDACIONES.....	69
9. BIBLIOGRAFÍA.....	70



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características organolépticas de la fresa	20
Tabla 2 Plagas de la fresa	23
Tabla 3 Enfermedades de la fresa	23
Tabla 4 Normatividad del proyecto	30
Tabla 5 Metodología objetivo específico 1	34
Tabla 6 Metodología objetivo específico 2	35
Tabla 7 Metodología objetivo específico 3	36
Tabla 8 Revisión literaria	37
Tabla 9 Variables	40
Tabla 10 Soportes invernadero	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Línea cronológica de la hidroponía en Colombia.....	15
Figura 2 Ubicación Municipio de Facatativá.....	17
Figura 3 Ubicación finca San Cayetano -Vereda los Manzanos.....	18
Figura 4 Descripción botánica y morfológica.....	20
Figura 5 Etapas del IOT.....	28
Figura 6 Diagrama de circulo de la mecatrónica.....	33
Figura 7 Diagrama electrónico para la variable PH realizado en fritzing.....	42
Figura 8 Diagrama electrónico para la variable conductividad realizado en fritzing.....	43
Figura 9 Diagrama electrónico para la variable de temperatura del agua realizado en fritzing.....	44
Figura 10 Diagrama electrónico para las variables de luminosidad y tiempo realizado en fritzing.....	45
Figura 11 Diagrama electrónico final.....	46
Figura 12 Diagrama de conexiones para los 20 bombillos.....	47
Figura 13 Diagrama de conexiones para los 8 ventiladores.....	47
Figura 14 Plano estructural del invernadero.....	49
Figura 15 Plano base del invernadero.....	50
Figura 16 Plano Parte superior invernadero.....	51
Figura 17 Plano soportes superiores invernadero.....	52
Figura 18 Plano soportes inferiores invernadero.....	53
Figura 19 Plano puerta invernadero.....	54
Figura 20 Plano base del cultivo.....	55
Figura 21 Plano inferior base del cultivo.....	56
Figura 22 Plano superior base del cultivo.....	57
Figura 23 Plano soporte base del cultivo.....	58
Figura 24 Plano cuerpo del cultivo.....	59
Figura 25 Plano elementos del cultivo.....	60
Figura 26 Plano cuerpo del cultivo.....	61
Figura 27 Plano tablero eléctrico.....	62
Figura 28 Plano componentes del tablero eléctrico.....	63
Figura 29 Plano ubicación de ventiladores.....	64
Figura 30 Plano ubicación iluminación.....	65
Figura 31 Plano estructura completa cultivo hidropónico.....	66
Figura 32 Vista isométrica cultivo hidropónico con planta de fresa.....	67

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A lo largo de los años el planeta Tierra ha pasado por innumerables procesos como son los efectos atmosféricos que dan como resultado la variación climática, desgaste continuo de los recursos medioambientales y aumento del costo de los alimentos. Esto conlleva a problemas de consumo en la sostenibilidad y calidad de vida de las familias, obteniendo pobreza y contaminación de los ecosistemas (CIAT, 2009).

Colombia no pasa desapercibido de estos problemas causados por el cambio climático, aunque Colombia es un país que cuenta con una amplia riqueza de territorios aprovechables para realizar actividades agrícolas que no son intervenidas adecuadamente en procesos de conservación de ambientes y ecosistemas. Es preocupante el mal uso que se le da a los suelos, puesto que el país no utiliza eficientemente la diversidad de sus suelos, desperdiciando el potencial del suelo realizando actividades urbanísticas en las áreas de gran productividad, desencadenando problemas de gran magnitud en la calidad de la tierra y la comunidad rural, por el uso que se está dando al recurso y la posibilidad de adquirir beneficios sostenibles (Escalante, 2021).

Actualmente, uno de los principales problemas de la producción agrícola es la acidificación del suelo que se produce por la agricultura intensiva (MADS, 2016), los efectos de los ingredientes en el uso de fertilizantes, la deforestación, entre otras. Por lo tanto, provoca la pérdida de tierras cultivadas reduciendo el crecimiento de las plantas desde la disminución de sus características organolépticas. Como consecuencia afectaría directamente las ganancias de la venta del producto cosechado de las cuales depende el cultivador para su sustento diario. (Beltrano & Gimenez, 2015)

Cundinamarca es uno de los departamentos con más biodiversidad de Colombia (SEMANA, 2018), las actividades de mayor explotación que se presentan es la ganadería y la agricultura tradicional, el uso exhaustivo del suelo genera la continua degradación de los recursos, aumentando en la mayoría de los casos el cambio de la estructura original del suelo. Los problemas que se presentan a menudo se reflejan por una deficiente administración del suelo, derivando en el terreno cultivable la salificación, contaminación, pérdida de nutrientes y fertilidad del suelo (CAR, 2012).

Los cultivos de fresa ocupan un puesto muy importante en la producción agrícola, siendo los principales departamentos cultivadores de fresa a nivel nacional: Cundinamarca (49%), Antioquia (18%), Valle del Cauca (12%), Norte de Santander (8%) y Boyacá (6%) (SIOC, 2019). Los municipios con mayor cultivación de fresa del departamento de Cundinamarca se encuentran ubicados en la Sabana de Bogotá, entre los cuales se destacan Facatativá, Sibaté, Madrid, Soacha, Chocontá y Guasca (Plan de transformación productiva, 2013).



Muchos agricultores desconocen la correcta aplicación y administración de los recursos sobre sus cultivos, realizando malas prácticas agrícolas, afectando los rendimientos del cultivo, propagando plagas y enfermedades sobre la planta (Álvarez, 2017). La utilización de plaguicidas y fertilizantes generan la contaminación del agua, dichas sustancias son absorbidas por la planta obteniendo resultados que pueden repercutir negativamente la salud humana si sobrepasa los umbrales permitidos. De igual manera, teniendo un gran impacto en el cambio climático, generando gases como son el metano y óxido nitroso, los cuales son los principales causantes del efecto invernadero (Harrison, 2002).

El riesgo que genera gran preocupación a los cultivadores del municipio de Facatativá son las variaciones climáticas que se presentan por causas de actividades humanas sobre la tierra o la atmosfera. Este fenómeno conlleva a la pérdida de todo tipo de cultivos, reduciendo el rendimiento y calidad de los productos cosechados, además de disminuir la disposición del recurso potable tanto para los humanos como para los ecosistemas (IPCC, 2001). Esto genera la iniciativa por parte de los productores a buscar opciones para mitigar la incertidumbre que provoca el cambio climático y el desaprovechamiento de los recursos para la producción.

Se evidencia, que los productores de fresa en el municipio de Facatativá, exactamente en la finca San Cayetano, vereda Los Manzanos, hacen uso de métodos de cultivo tradicionales, en los cuales no se mantiene un completo monitoreo y manejo en la aplicación de los recursos esenciales para el crecimiento de la fresa, reduciendo la productividad en la finca. Muchas de estas actividades están relacionadas con la falta de desarrollo y tecnificación de los cultivos, que se dan por el desconocimiento y la dificultad en el acceso a este tipo de tecnologías. Con el fin de solucionar la problemática presentada, se formula la siguiente pregunta problema:

¿Qué sistemas mecatrónicos se pueden desarrollar para mejorar los cultivos de la fresa tipo Monterrey en la Finca San Cayetano-Vereda los Manzanos-Facatativá-Cundinamarca?

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales factores que afectan a los diferentes tipos de producción es la baja fertilidad en cultivos convencionales, que se debe a la acidez generada por cultivo intensivo, fertilización excesiva con altas concentraciones de amonio, deforestación, pérdida de la capa cultivable del suelo debido a la erosión, entre otras (Sicard, 2015). Provocando que los agricultores establezcan el cambio de los cultivos tradicionales a cultivos hidropónicos tecnificados, que se caracterizan por la capacidad de cultivo sin suelo; siendo el agua y soluciones nutritivas esenciales para el desarrollo de la planta sus principales medios de siembra bajo esta técnica.

Hoy en día, este tipo de cultivo no ha sido ampliamente promovido por la falta de énfasis en los cultivos agrícolas a causa de los elevados costos de implementación tecnológica, escaso conocimiento en nuevas metodologías, escaso apoyo económico e inversión social por parte del gobierno, etc. (Rodríguez, Martínez, & Delgado, 2015). De modo que la mayoría de los agricultores siguen aplicando las mismas técnicas y actividades agrícolas de antaño ya que es indispensable satisfacer la creciente demanda de la población. Los impactos de las malas prácticas agrícolas sobre los recursos naturales primordiales como el agua y la fertilización del suelo, los convierten en suelos sobreexplotados, arraigando el desperdicio de recursos y pérdidas significativas de producción, afectando directamente la economía del agricultor.

Por otra parte, campesinos de diferentes distritos no cuentan con un adecuado asesoramiento por expertos en cuanto a la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en sus cultivos, esta labor es realizada por recomendaciones de pobladores cercanos al terreno o distribuidores de este tipo de productos, y aunque sean distribuidos en casi la totalidad del terreno no cumplen con las expectativas del cultivo (Pérez, Pérez, & Turizo, 2019).

En Colombia los cultivos frutícolas se han intensificado, entre las que se destaca la siembra de mango y fresa, escalonándolo al tercer país de Latinoamérica con más cultivos frutales en sus terrenos (SIOC, 2019). La cadena de la fresa fue creada en el 2015 por el ministerio de agricultura (Minagricultura, 2015). Los cultivos de fresa son sembrados en campo abierto, lo que incrementa los costos de manejo agronómico del suelo, la mano de obra para la aplicación de los agroquímicos esenciales para obtener resultados adecuados en la cosecha y la protección en la distribución del producto al consumidor, requiriendo mayor cuidado, atención y trabajo por parte del productor (Torrente & Mesa, 2012). Estos factores se ven reflejados en el rendimiento y calidad del cultivo de fresa, descuidando la temperatura y resistencia a enfermedades, por lo que se debe tener una correcta interacción de estos factores para determinar una mejor adaptación de la fresa.



Los cultivos hidropónicos ofrecen grandes ventajas, facilitando la cosecha, sin contaminación, libre de plagas, ahorro de agua y fertilizantes, garantizando un aumento en la eficiencia, cuidado, rendimiento y productividad comparada con los métodos tradicionalmente empleados, para contrarrestar la carencia de un suelo agrícola cultivable, cuenta con la capacidad de ser aplicada en cualquier parte del mundo, sin dejar de lado las necesidades que requiere la planta como son: temperatura, nutrientes, agua y luz. Además, este cultivo es empleado con sistemas de riego localizado, dentro de áreas confinadas y climatizadas, permitiendo producir cosechas en estaciones desfavorables, monitoreando y gestionando correctamente los recursos, siendo un sistema repetible (Jacto, 2020).

El cultivo se realizará en el municipio de Facatativá Cundinamarca, zona que por sus condiciones agroclimáticas se adecuan cultivos de fresa y de rosas (Buitrago, Quinayas, & Cristancho, 2020). Está ubicado en una zona de Colombia favorable en términos de comercialización del producto, precisamente se encuentra en el occidente de la sabana de Cundinamarca, a 36 Km de Bogotá, la ciudad más grande de Colombia (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2018). Debido a que en la zona de Cundinamarca y en Colombia en general los cultivos de fresa se realizan tradicionalmente en suelo al aire libre donde están expuestos a las condiciones agroclimáticas de manera descontrolada, por lo que se reducen en ocasiones la producción y la calidad de los frutos obtenidos en la cosecha; se desarrollará una propuesta para un sistema mecatrónico que permita el monitoreo y semi-automatización de un cultivo hidropónico de fresa Monterey situado en la localidad de Facatativá analizando las diferentes condiciones que requiere este tipo de cultivo.

La investigación cumple con dos de los tres pilares misionales de la Fundación Universidad Agraria de Colombia (Uniagraria) que consisten en la sustentabilidad ambiental puesto que se implementará una técnica de cultivo que satisfaga las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras, y el otro pilar es el desarrollo regional con enfoque territorial con el fin de plantear la aplicación de esta técnica de cultivo y generar una mejora de productividad en el sector de Facatativá. Para resolver el problema se presentará una propuesta de un sistema semiautomático de monitoreo para un cultivo hidropónico de fresa tipo Monterey en la finca San Cayetano del municipio de Facatativá-Cundinamarca., apoyado en herramientas de gestión de proyectos (Uniagraria, 2016).



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema semiautomático de monitoreo para un cultivo hidropónico de fresa tipo Monterrey en la finca San Cayetano del municipio de Facatativá-Cundinamarca, apoyado en herramientas de gestión de proyectos.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Caracterizar las condiciones de producción de fresa tipo Monterrey bajo la técnica de hidroponía en el municipio de Facatativá, apoyado en herramientas de gestión de proyectos.

Desarrollar conceptualmente un diseño de un sistema mecatrónico que permita el monitoreo de un cultivo hidropónico semiautomático bajo las condiciones caracterizadas.

Realizar una propuesta técnica del sistema mecatrónico semiautomático que atienda al cultivo hidropónico de fresas.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ESTADO DEL ARTE

Chanon Garzón y María Pérez de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá Colombia (Riascos & Osorio, 2019), desarrollaron un plan de negocio para la aplicación de cultivos hidropónicos en la ciudad de Bogotá, en el cual se analizó las estrategias de mercado para aumentar las posibilidades de empleo y calidad de vida para los campesinos. Donde se evidencia una viabilidad en aplicar este tipo de herramientas, beneficiando a largo plazo los cultivos, indicando que, aunque se requiere una inversión inicial elevada, reduce ampliamente los costos de producción.

Por otra parte, Sebastián Espinosa y Andrés López de la Fundación Universitaria del área Andina Colombia (Espinosa & López, 2021), establecen igualmente un modelo de negocios para cultivos hidropónicos de fresa aplicado en Pereira, exactamente en el eje cafetero, eliminando plagas y enfermedades, sustituyendo el suelo por sustratos que mejoran la absorción de los nutrientes de la fresa. Por medio de encuestas realizadas para la comunidad se obtiene que la idea de negocio es viable por un 79%, con resultados positivos de rendimiento y costo en el mercado.

Una investigación más, para determinar la factibilidad económica en la implementación de cultivos hidropónicos de lechuga en el municipio de Cota Cundinamarca, llevado a cabo en la Universidad Panamericana – Compensar de Bogotá Colombia (Lara, Puerto, Murillo, & Giraldo, 2016), del que se afirma la ventaja de comercio que cuenta el municipio, con grandes almacenes de cadena y centrales de abastos. Con el desarrollo de la técnica hidropónica le otorga al producto enormes probabilidades de éxito en el mercado, produciendo más lechuga en menos tiempo, aumentando la venta durante climas desfavorables, beneficiando la economía, reduciendo costos de producción y sin generar ningún impacto negativo al ambiente.

Una investigación realizada en la Universidad Técnica de Ambato en Cevallos Ecuador por Mario Flores (Barona, 2018), realiza una evaluación para el desarrollo de la producción hidropónica de fresa con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. El tipo de combinación integrado en la investigación fue de tipo factorial (A x B) por medio de DBCA (Diseño de Bloques Completamente al Azar) aplicando 4 tipos de sustratos: cascarilla de arroz, cascajo, keckill y fibra de coco; donde se tuvo en cuenta el volumen radicular, volumen foliar y rendimiento como variables. El tratamiento con mejores resultados de adaptación y producción del cultivo de la fresa fue el S2M1, es decir una solución nutritiva (N 264, P 175.2, K 528, Ca 384, Mg 144 ppm) en combinación de sustrato (Cascarilla 30% + Cascajo 10% + Fibra de coco 40% + Kekkilla 20%), obteniendo mejores variables en volumen radicular (12,8 cc), volumen foliar (55,53 cc) y rendimiento (5013,6 Kg/ha. /semana). Adicionalmente, se evidencia reducción en la aplicación del recurso hídrico, aprovechando sin desperdicios de este recurso.

En otra investigación, Luis Rea de la Universidad Técnica de Babahoyo Ecuador (Otuna, 2012), expone el análisis sobre el rendimiento de fresas tipo Camino Real bajo técnica de

semi-hidroponía, determinando el comportamiento de la planta con cinco diferentes tratamientos de sustratos: T1 (Pomina + Cascarilla + Humus), T2 (Pomina + Turba + Humus), T3 (Pomina + Cascarilla + Bagazo de caña), T4 (Arena de río + Turba + Bagazo de caña) y T5 (Tierra). Se aplicó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cada tratamiento, del cual el sustrato que tuvo mejor comportamiento agronómico en el desarrollo y producción de fresa fue “Arena de río + Turba + Bagazo de caña” correspondiente al tratamiento cuatro (T4) y, además, se obtiene un aumento en la relación costo/beneficio del 2,68 comparado con el tratamiento que solo se aplicó tierra (T5) alcanzando un 0,20 de relación costo/beneficio.

Determinar el régimen nutricional en hidroponía es vital para el crecimiento, rendimiento y calidad de la fresa, por esa razón en la investigación hecha en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos México (Casbis, Torres, Rodríguez, Nava, & Taketa, 2020), se evaluaron 27 regímenes nutricionales con la combinación de tres concentraciones para tres fases: fase vegetativa con concentraciones de 10, 12 y 14 $meq L^{-1}$ de nitrato (NO_3^-), para la fase reproductiva 0.75, 1 y 1.25 $meq L^{-1}$ de fosfato de dihidrógeno ($H_2PO_4^-$) y la fase de fructificación concentraciones de 5, 7 y 9 $meq L^{-1}$ de potasio (K^+). Cada tratamiento tuvo resultados significativos en las características de la fresa, pero el régimen nutricional que representó mayor incremento y rendimiento del fruto fue la que tuvo concentraciones de 10 $meq L^{-1}$ de Nitrato (NO_3^-), 1 $meq L^{-1}$ de Fosfato de Dihidrógeno ($H_2PO_4^-$) y 7 $meq L^{-1}$ de Potasio (K^+).

Se desarrolló una automatización en la producción de forraje verde y abono realizada en un cultivo hidropónico de una granja cunícola en el municipio de Mutiscua Colombia, obtenida de la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la información (RISTI) (Cañas & Jaimes, 2020), implementando dos sistemas embebidos de código abierto asequibles exactamente Arduino y Raspberry pi, reemplazando la mano de obra en actividades repetitivas, controlando variables para que todo el sistema funcione adecuadamente en la granja. Lo que permite obtener beneficios en la aplicación del agua y químicos, suministrando la cantidad que necesita el hidropónico.

En Manta Ecuador, se desarrolló otra investigación con el uso de sistemas embebidos *open source* aplicado a un cultivo hidropónico de fresa para evaluar la retención humedad bajo diferentes combinaciones de sustratos tales como: fibra de coco, fibra de coco + cascarilla de arroz + arena, cascarilla de arroz + arena y fibra de coco + compost de pino (Cabezas, Alulema, Naranjo, Ramos, & Mariño, 2019). Se suministra por medio de actuadores (válvulas solenoides) un sistema on/off el riego automático con una placa Arduino MEGA 2560, para el monitoreo y recopilación de la información obtenida se implementa una Raspberry Pi3, dicha información es suministrada por una red de sensores de humedad inalámbricos ubicados sobre cuatro parcelas. Se determina que el sustrato que mayor conserva humedad es la mezcla entre arena + cascarilla de arroz, lo que quiere decir, que prolonga el tiempo para el próximo riego, reduciendo el consumo desmedido del agua.

En los cultivos hidropónicos es importante la identificación de los factores que garanticen la calidad del agua, como se evidencia en la investigación hecha por María Salas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD en Casanare Colombia (Salas, 2020), indicando que este recurso hídrico es fundamental para el rendimiento del cultivo y con este

tipo de cultivo garantiza el uso adecuado del agua, reduciendo su consumo, aumenta las características organolépticas de la planta, enriqueciéndola de nutrientes y total inocuidad.

La revista mexicana de Ciencias Agrícolas, se menciona un caso realizado en Salinas de Hidalgo, México (Chávez, Gonzáles, Pérez, & Herrera, 2020), sobre el rendimiento y calidad de fresa cultivada con hidropónicos piramidales, reflejando incremento en la cantidad de hojas, frutos y rendimiento en el estrato alto de la pirámide. En cambio, el estrato intermedio y bajo presentaron baja productividad por la sombra generada por el estrato superior a cada uno, afectando la densidad y el desarrollo adecuado de la planta.

Se desarrolló una evaluación y comparación del comportamiento agronómico de dos tipos de fresa (Albión y Monterey) sembradas al aire libre y en macro túneles ubicados en la Sabana de Bogotá, a cargo de María González y Diana González de la Universidad Militar “Nueva Granada” (González & González, 2013). Ellas mencionan que se tomaron 10 plantas de cada variedad, evaluando el estado fenológico y rendimiento de la fresa, destacando la fresa Monterey con superioridad con los resultados obtenidos, en términos de producción, obtuvo un 401.4 g/planta bajo macro túnel y 307.3 g/planta a libre exposición y comparado en rendimiento obtuvo un 403.2 g/planta superando a la variedad Albión con 305.5 g/planta. Se puede decir, que la fresa Monterrey en ambos ambientes presenta un creciente rendimiento y desarrollo.

Un ingeniero especialista de la Universidad Nacional, aplico un cultivo hidropónico en plantaciones de fresa por medio de un filtro agro tropical, capaz de manejar el sabor y color. Se puede concluir que los hidropónicos generan grandes ventajas, acortando tiempo de producción al tener ambientes controlados y nutriciones balanceadas, aumentando el desempeño de la planta. La eficiencia que se obtiene de un cultivo hidropónico vertical de fresas tiene mayor número de frutos que el sistema tradicional empleado por agricultores, en un estudio realizado por Félix Hidalgo de Ecuador en donde compara la eficiencia de los cultivos obtiene que en una superficie aproximada de 10 m² obtuvo 170 unidades para fresas cultivadas en hidroponía a 141 en el sistema tradicional de los agricultores (Ruiz, 2017)

La información que se maneja en los cultivos hidropónicos es de vital importancia, ya que depende de los datos obtenidos para lograr la calidad de la producción y se lleva a cabo usando sensores con tecnología IOT (*Internet of Things*) como se planteó en el proyecto de Luzmila Estrada, egresada de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Bogotá Colombia (Estrada, 2020). Se implementó una red de sensores inalámbricos (WSN) para analizar los datos del comportamiento de un cultivo de fresa ubicado en el municipio de Facatativá Cundinamarca, para la obtención de la información suministrada por los sensores se integró Internet de las Cosas (IOT), tomando los datos de la temperatura, humedad, conductividad y pH, para analizar los factores que afectan la calidad del fruto. Se logra demostrar la optimización del agua, fertilizante y nutrientes, ya que los sensores se encargan de evaluar la cantidad necesaria para el crecimiento de la fresa, adicionando, que el uso del Internet de las Cosas le otorga al agricultor, la facilidad de obtener las necesidades que requiere la planta, mejorando calidad y costo del producto.



Otro ejemplo claro de aplicación IOT, es el trabajo que se hizo en la Fundación Universitaria Unipanamericana-Compensar en Bogotá Colombia (Silva, Ramírez, Gómez, & Díaz, 2020), donde se implementó un sistema de seguridad con alerta adaptado a un cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) de lechuga mediante el uso del Internet de las Cosas. Consiste en alertar al cultivador cuando se presente alguna anomalía en el monitoreo de las variables más relevantes del cultivo, temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica, para tomar medidas que mantengan las condiciones óptimas. Cabe resaltar la adaptabilidad de los cultivos hidropónicos en lugares de poco espacio y libre de agentes contaminantes, beneficiando al agricultor estar al tanto del estado en el que se encuentra el cultivo y cumplir con las necesidades que surjan.

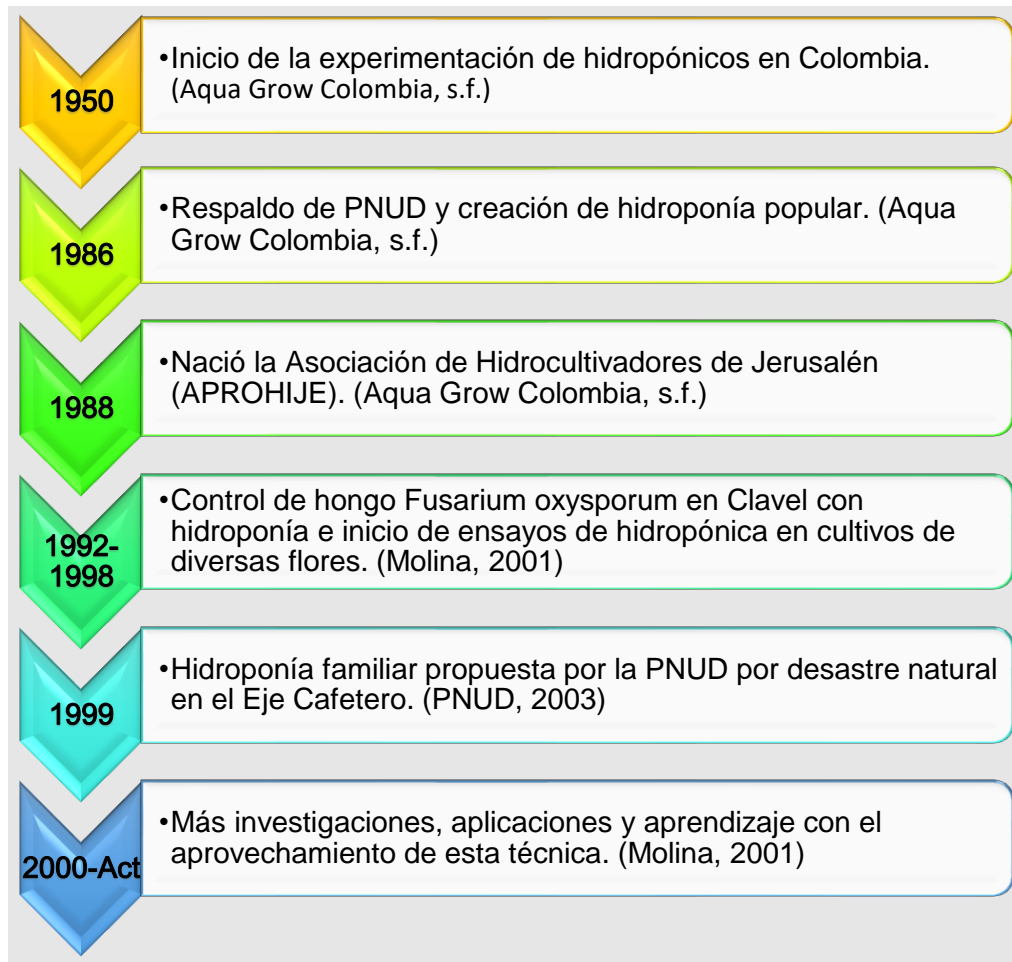
Una investigación hecha en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por María del Pilar Cadena Ardila (Ardila, 2017) sobre la factibilidad de un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* D) mediante sistema hidropónico con la técnica NFT en invernadero, favoreciendo todas las condiciones agroclimáticas y técnicas que puedan garantizar el control de manera más eficiente el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de fresas en la localidad de Facatativá. Se implementaron las buenas prácticas agrícolas (BPA) y de protección al medio ambiente, con la aplicación de prácticas amigables y sostenibles con el ecosistema. Como resultado se considera que es viable aplicar hidroponía en el cultivo de fresa por las condiciones agroclimáticas del municipio de Facatativá y con las buenas prácticas agrícolas (BPA) que den cumplimiento a los requerimientos para cultivar fresas con mayor rendimiento, productividad e inocuidad.

4.2. MARCO HISTÓRICO Y GEOGRÁFICO

4.2.1. MARCO HISTÓRICO

Los procedimientos de producción agrícola representan un papel importante en las condiciones de vida de la humanidad, pero estos mismos procedimientos han variado durante el transcurso de la historia por medio del desarrollo de diferentes herramientas y métodos que mejoran significativamente el empleo de estas labores.

Figura 1 Línea cronológica de la hidroponía en Colombia



Fuente: Elaboración propia a partir de diferentes fuentes

En Colombia, los cultivos hidropónicos se empezaron a conocer en el departamento de Cundinamarca en 1950, desarrollando sus primeras practicas durante esa época, promoviendo el avance en las actividades agroindustriales en la nación. Llegados a los años ochenta, precisamente en 1986, gracias al apoyo de diferentes empresas, incluido el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se le dio más fuerza a la hidroponía en el país, transformando las técnicas hidropónicas, surgiendo la Hidroponía Popular, que consiste en facilitar la comprensión y trabajos físicos de las personas que desconozcan esta técnica, permitiendo aprovechar correctamente los recursos para garantizar con éxito la producción de una plantación en espacios reducidos de las viviendas, lo que conlleva al aumento de los ingresos y la seguridad alimenticia (Aqua Grow Colombia, s.f.).

Durante el año 1988, en la Ciudad Bolívar de Bogotá se creó la Asociación de Hidrocultivadores de Jerusalén (APROHIJE), constituida por cientos de plantaciones

hidropónicas limpias y libre de contaminantes dentro de las viviendas familiares, que con el paso de los años comenzó la comercialización de sus cosechas en mercados de alto poder económico (Aqua Grow Colombia, s.f.).

A partir de 1992, se presentó un gran problema en los cultivos de Clavel con la presencia del *Fusarium oxysporum*, hongo que provoca gran cantidad de enfermedades en diferente tipo de plantaciones, pero fue contrarrestado con el desarrollo de las técnicas hidropónicas, lo que sirvió como base para aplicaciones en cultivos de flores. Hasta 1998, se habían realizado ensayos solamente en cultivos de hortalizas, pero a inicios de ese año comenzaron a experimentar en cultivos de Rosa, Hortensia, Orquídeas y entre otras más, obteniendo excelentes resultados, aunque significativos (Molina, 2001).

A comienzos de 1999, ocurrió un terremoto, este fenómeno natural afectó la estructura productiva, social, económica y política del país, pero la zona que sufrió más daño fue en el Eje Cafetero. Razón por la cual la Alcaldía de Armenia y varias instituciones locales como el FOREC (Fondo para la Reconstrucción del Eje Cafetero) propusieron metodologías y proyectos para atender la problemática. Entre esas propuestas, el proyecto que destacó fue el de la Hidroponía Familiar, con el respaldo de la PNUD que brindó asistencia técnica para cumplir con el desarrollo y promover el uso de diferentes alternativas que pueden aplicarse para mejorar las condiciones de vida en la zona cafetera, con el fin de proporcionar a las familias de escasos recursos algunos ingresos extras (PNUD, 2003).

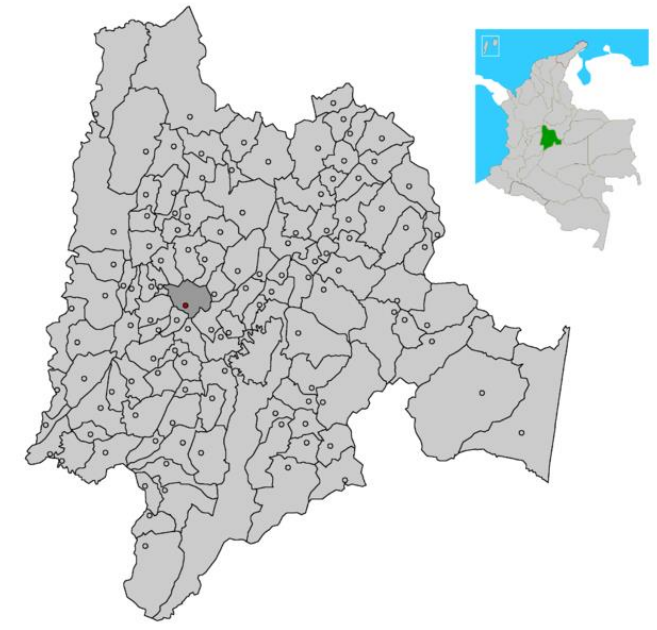
El proyecto de Hidroponía Familiar se fundamenta en la producción de alimentos con inocuidad e insumos reducidos, adaptados a espacios libres del hogar o de la comunidad, con el propósito de compartir y beneficiar la mayoría de las poblaciones urbanas más necesitadas (Tabares, 2003).

Entre los 2000 hasta la actualidad se han ido desarrollando nuevas aplicaciones de la técnica hidropónica, viéndola como una de las grandes ramas de la ciencia agronómica y segura de la alimentación, generando ingresos para cientos de personas colombianas que producen alimentos y flores hidropónicas. Por ejemplo: En el 2009, se presenta el uso de cultivos hidropónicos de lechuga en Cali, obteniendo productos saludables y de buen costo (Telepacífico, 2009). Otro proyecto se presentó en Medellín, entre 2010 y 2015, con la aplicación de hidroponía y acuaponía en terrazas, la cual redujo la inseguridad alimenticia del sector 5%, observando una mejora rentable (Zapata, 2018). Cada día más, los cultivadores se preocupan por la calidad y costo de sus productos, que gracias al desarrollo de nuevos proyectos y apoyo de personas que entregan los conocimientos de la técnica, han garantizado que la producción casera de cualquier plantación esté libre de pesticidas y residuos contaminantes (Molina, 2001).

4.2.2. MARCO GEOGRÁFICO

El trabajo de investigación se lleva a cabo en el municipio de Facatativá Cundinamarca. Ubicado geográficamente en el extremo occidental de la Sabana de Bogotá D.C. a 36 Km de la ciudad capital. Limita por el norte con el Municipio de Sasaima, la Vega, y San Francisco; por el Sur, con Zipacón y Bojacá; por el Oriente con Madrid y el Rosal; por el Occidente, con Anolaima y Albán. (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2018)

Figura 2 Ubicación Municipio de Facatativá



Fuente: Alcaldía de Facatativá, (2018)

4.2.2.1. Habitantes

Facatativá cuenta con total de 136.041 habitantes, distribuidos por sexo con una cantidad de 66.527 hombres y 69.514 mujeres, entre los cuales el 67,7% se destacan con edades entre 15 a 59 años, edades de 0 a 14 años con un 22,3% y 9,9% para edades superiores a los 59 años. (DANE, 2018)

4.2.2.2. Vías

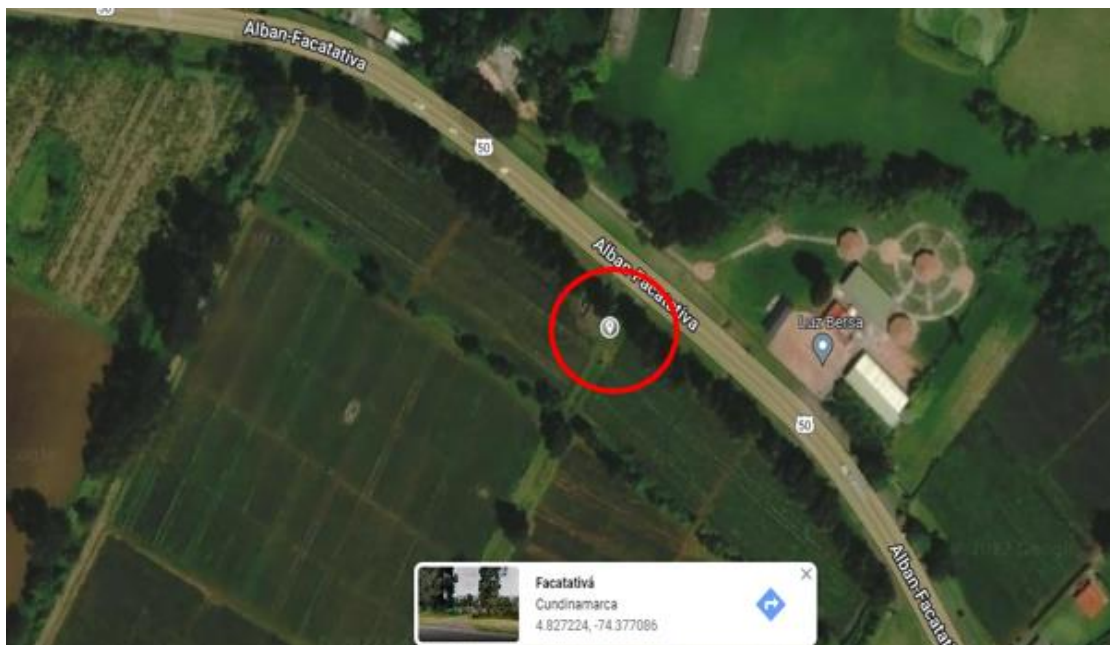
- Aéreas: Facatativá está localizada aproximadamente a 29 Km del Aeropuerto Internacional El Dorado de Bogotá, recorrido que tarda entre 40-45 minutos. Gracias a la cercanía del terminal aéreo más importante del país, le otorga al municipio tener conexiones nacionales e internacionales (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2018).

- Terrestres: La vía panamericana conecta a Facatativá con Bogotá a 36 km y otros municipios como son Albán (10 Km), Madrid (12 Km), Mosquera (15 Km), Funza (16 Km), Guayabal de Síquima (36 Km), Villeta (55 Km), Guaduas (82 Km) y más departamentos del norte del país. Otra de la vía es de El Rosal – Calle 80 que comunica a Facatativá nuevamente con Bogotá y los municipios de Subachoque (28 Km), Tenjo (34 Km), Chía (46 Km), La Vega (53 Km) y Zipaquirá (69 Km) (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2018).

4.2.2.3. Ubicación de investigación

La finca donde se realizó la investigación se encuentra en la vereda Los Manzanos al occidente del poblado por la vía principal hacia Albán, rodeada de pastizales y algunas fincas. A 3,4 Km desde el centro de Facatativá y con una duración de 8 min en Auto.

Figura 3 Ubicación finca San Cayetano -Vereda los Manzanos



Fuente: Google Maps, (2020)

4.2.2.4. Clima

Facatativá se encuentra cerca al Valle del Río Magdalena o pie de monte, sintiendo la influencia de las montañas por los aumentos de lluvia que se deben a la velocidad del viento, presentando un clima de bosque húmedo montano bajo. Esta zona se caracteriza por presentar temperaturas entre los 12°C y 18°C, con precipitaciones anuales de 1.000 y



2.000 mm, altitudes entre los 2.000 y 3.000 m s.n.m. En promedio la temperatura del municipio esta por los 14°C, se pueden presentar temperaturas máximas de 22°C y mínimas de hasta 6°C (Alcaldía Municipal de Facatativá, 2018).

4.2.2.5. Economía

La economía del municipio de Facatativá en la que se desarrolla y genera el empleo de la población se basa fundamentalmente de la agricultura, ganadería, floricultura y la industria que han aumentado durante el transcurso de los años. En la agricultura se destacan los cultivos de fresa y hortalizas, puesto que otorgan una gran productividad en el sector por sus suelos fértiles y climas idóneos. Otro cultivo importante es la variedad de flores que se exportan a mercados europeos, siendo Estados Unidos el principal cliente de este tipo de producto. Garantizando la oportunidad de empleo en la industria de las flores, donde más del 70% son mujeres.

Por la riqueza de nutrientes del suelo se da la producción de pastos para el alimento de ganaderías lecheras, dando un complemento en la oferta productora de alimentos. Por otro lado, la industria del municipio de Facatativá, encontramos grandes industrias como Alpina, Yanbal y entre otras de menos escala, que se ven beneficiadas al estar posicionada cerca de la ciudad de Bogotá **Fuente especificada no válida.**

4.3. MARCO TEÓRICO

4.3.1. LA FRESA

Las fresas o fragaria *Bulgaria sp* es una fruta esencial para el desarrollo de la investigación puesto que es el producto que se está aplicando, por ese motivo es esencial conocer la descripción de las condiciones agroclimáticas y más aspectos agronómicos.

4.3.1.1. Descripción botánica y morfológica

Es una especie hortícola, es considerada herbácea, se caracteriza porque las hojas y otros órganos de la planta se forman en la parte leñosa de la corona, además se considera una planta de vida corta. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

Figura 4 Descripción botánica y morfológica



Fuente: Muñoz & Navarrete, (2010)

4.3.1.2. Propiedades fisicoquímicas

El peso de la fresa varía según la variedad, llegando a estar en un rango de entre 6,65 y 16,53 gramos y una concentración de azúcar que oscila entre 6,7 y 7,28 grados Brix.

4.3.1.3. Características organolépticas

La fresa cuenta con una textura suave y firme, su sabor se establece por el balance en su concentración de azúcar y acidez, esos grados de concentración son diferentes según la variedad de azúcares y ácidos. Los colores naturales de la fresa se caracterizan por un estado maduro color rojizo, solo en dos tipos de fresa varía el color al llegar al estado maduro obteniendo un color blanco, aunque en su pulpa es de color blanco también puede variar a un rojizo según la variedad (Camara de comercio de Bogotá, 2015).

Tabla 1 Características organolépticas de la fresa

Componente	Contenido en 100g	Componente	Contenido en 100g
Kilocalorías	32	Magnesio	12mg
Agua	89,9%	Vitamina A	5µcg
Proteínas	0,7mg	Vitamina C	60mg
Grasa	0,5mg	Vitamina E	0,23mg
Carbohidratos	6,9%	Fósforo	27mg
Fibra	1,4g	Fenoles totales	58-210 mg
Potasio	190mg	Antocianinas totales	55-145 mg

Fuente: Cámara de comercio de Bogotá, (2015)

4.3.1.4. Ciclo fenológico del cultivo

En Colombia es posible empezar el cultivo de la fresa en cualquier época del año. Sin embargo, se recomienda al inicio de la época de lluvias (Cortes, 2011) para asegurar la adaptación del cultivo y garantizar el desarrollo inicial. La cosecha se lleva a cabo en época de sequía (Camara de comercio de Bogotá, 2015).

4.3.1.5. Variedades

4.3.1.5.1. Camarosa:

Es la variedad más cultivada a nivel mundial (alrededor del 60% de la producción mundial). De fácil adaptación climatológica, se cultiva desde regiones subtropicales húmedas (Florida y Argentina), pasando por regiones mediterráneas (España, Portugal, Marruecos, Chile, el sur de Italia y el sur de California), hasta regiones templadas (Nueva Zelanda y la costa central de California). Al agricultor colombiano le gusta por su alta productividad y su buena resistencia postcosecha. Sensible a Antracnosis. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.2. Ventana:

Es una variedad de día corto y se produce en zonas frías (mayores a 2800 msnm). Presenta mayor productividad y mejor calidad de fruta comparado con la variedad Camarosa. Su fruto es grande, firme, resistente y con color, tanto interno como externo, más claro que variedad Camarosa. No se deforman fácilmente a problemas sanitarios como ácaros. Sensibilidad a enfermedades del suelo. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.3. Camino Real:

Variedad de día corto. Sus rendimientos medios son superiores a los de Camarosa y su porcentaje de fruta de segunda calidad considerablemente más bajo. Las plantas son pequeñas, compactas y fáciles de manejar, su fruta es grande, firme y con color interno y externo más oscuro que Camarosa. Ha tenido buena aceptación entre los agricultores nacionales, pero su manejo es un poco más exigente, especialmente en sus estados iniciales, tolerante a problemas de hongos como Phytophthora, Verticilium y Antracnosis, pero susceptible a Botrytis sp. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.4. Palomar:

Es la variedad temprana con más calidad organoléptica del mercado. La producción por planta es un poco inferior a Ventana, pero al ser menor tamaño y más compacto se pueden sembrar más plantas por hectárea incrementando la producción por superficie. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)



4.3.1.5.5. Albión:

Se caracteriza por la alta calidad de su fruto, tanto en tamaño como el sabor y firmeza. Es de muy fácil colección y es resistente a las actividades postcosecha. En Colombia, actualmente es la variedad de mayor crecimiento en área sembrada y se destaca por su adaptabilidad a zonas entre 2500 – 2800 msnm. Resistente a Phytophthora, Verticillium y Antracnosis. Es una de las variedades preferidas por los agricultores por sus producciones constantes durante la cosecha. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.6. San Andreas:

Es una variedad de día neutro moderado. Su fruto es de excelente calidad y sabor, con poca necesidad de frío en vivero, resistente a enfermedades. Es más precoz que la variedad Camarosa, con curva de producción estable durante todo el ciclo. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.7. Monterrey:

Es similar a la variedad San Andreas en las características de producción. Sus principales diferencias son el sabor y el vigor de la planta. La variedad Monterrey es muy dulce, por la falta de acidez. La planta es más vigorosa que la variedad Albión. La fruta de esta variedad es llamativa para el consumidor en general, pero especialmente para el consumidor asiático en Japón. Corea y China. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.5.8. Portola:

Es la variedad más productiva. Es ligeramente más temprana que la variedad Albión en producir fruto. La fruta es tolerante a la lluvia y es de tamaño similar a la variedad Albión, pero de color más claro. El sabor de la fruta es excelente y especialmente consistente y firme durante la cosecha. Es altamente resistente a las enfermedades, por lo que no requiere mayores cuidados fitosanitarios. La producción en el vivero es excepcional. (Camara de comercio de Bogotá, 2015)

4.3.1.6. Plagas y enfermedades

4.3.1.6.1. Plagas

Tabla 2 Plagas de la fresa

Clasificación	Nombre común	Nombre científico
Plagas de la raíz	Complejo de Hongos de suelo	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora fragariae</i> y <i>Verticillium alboatrum</i>
	Chizas	<i>Phyllophaga spp.</i> , <i>Cyclocephala spp</i> y <i>Anolama spp.</i>
Plagas de follaje y/o frutos	Ácaro blanco	<i>Steneotarsonemus pallidus</i>
	Trips	<i>Frankliniella spp</i>
	Mosca Blanca	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>
	Babosas	<i>Milax gagates</i>
	Trozador	<i>Spodoptera sp</i>
	Áfidos	<i>Aphis sp</i>
	Arañita roja	<i>Tetranychus sp</i>
	Mosca de la fruta	<i>Anastrepha sp</i>

Fuente: Cámara de comercio de Bogotá, (2015)

4.3.1.6.2. Enfermedades

Tabla 3 Enfermedades de la fresa

Nombre común	Agente causal
Pudrición del fruto	<i>Botrytis cinérea</i>
Viruela	<i>Mycosphaerella fragariae</i>
Antracnosis	<i>Colletotrichum sp</i>
Mancha Angular	<i>Xanthomonas sp</i>

Fuente: Cámara de comercio de Bogotá, (2015)

4.3.2. COMPONENTE EDAFOCLIMÁTICO

El término “Edafoclimático” se refiere a Suelo y Clima, por esto en el modelo se investiga para definir el grado de aptitud de los suelos para la agricultura. Variables tales como la altitud, las pendientes, las texturas del suelo, la ubicación geográfica, las características físicas, químicas y biológicas del suelo, etc., las cuales permiten hacer agricultura, pero también determinar las áreas que se deben destinar a conservación y protección.

De esta manera se localiza y se priorizan las zonas de cultivos, entregando información al señor Gobernador, los alcaldes Municipales, las comunidades y demás tomadores de decisiones, con los resultados de cuáles son los lugares aptos y con vocación de suelo para realizar inversión. Igualmente, en el componente climático, se identifican las áreas que cumplen con los requerimientos para la siembra y producción de las líneas productivas que tradicionalmente se han desarrollado en el municipio y las nuevas que sean de interés para fomentar. (Cauca, s.f.)

4.3.3. HIDROPONÍA

4.3.3.1. Tipos de cultivos hidropónicos

La hidroponía es una técnica de cultivo sin la necesidad de un suelo, por lo que se encuentran las siguientes formas de realizar ésta:

4.3.3.1.1. Técnica de película nutritiva (NFT)

Este tipo de técnica, las raíces de las plantas están sometidas continuamente a una película de solución nutritiva. Las plantas son ubicadas en orificios de plantación a lo largo de canales con determinado grado de inclinación, con la capacidad de permitir un flujo de agua con la ayuda de la gravedad y mantener un método de recirculación constante sobre la planta. (Sela, 2021)

4.3.3.1.2. Cultivo de aguas profundas

En este método, las raíces son colocadas directamente sobre soluciones nutritivas y con el uso de una bomba de aire se realiza la adición de oxígeno sobre el agua con el objetivo de tener un óptimo desarrollo. (Sela, 2021)

4.3.3.1.3. Flujo y refluo

Por medio de macetas, las plantas son colocadas en una bandeja de cultivo, las cuales son inundadas temporalmente con solución nutritiva. La solución nutritiva fluye hasta las raíces por medio de agujeros en las macetas y el agua es drenada de las bandejas de vuelta al depósito y así permite ser reutilizada. (Sela, 2021)

4.3.3.1.4. Sistemas de mecha

Es un sistema simple y versátil, en el que se aplica cuerdas de nylon fibroso alrededor de la planta y entre la solución nutritiva, recibiendo directamente sobre las plantas la solución mediante las cuerdas o mechas. (Sela, 2021)

4.3.3.1.5. Sistemas de goteo hidropónico

En este sistema, la solución nutritiva es suministrada a las plantas por medio de riego por goteo. La solución nutritiva es aplicada por goteo en la raíz de la planta y con la ayuda de drenajes en la parte inferior del recipiente de la planta se recircula el agua y nutrientes, generando un ahorro en los suministros. (Sela, 2021)

4.3.3.1.6. Aeroponía

Es una técnica en la que las raíces se encuentran suspendidas en el aire y con el uso de aspersores es aplicada solución nutritiva en determinados intervalos de tiempo. Es una técnica eficiente, pero al estar las plantas sin un medio es altamente probable que se sequen las raíces. (Sela, 2021)

4.3.4. EDT

La estructura de desglose o descomposición de trabajo o EDT es la representación gráfica de un proyecto, subdividida en actividades organizadas jerárquicamente basado en requerimientos determinados para cumplir con la entrega del proyecto en su totalidad, contemplando la correcta planeación y control del trabajo. Es una herramienta eficiente para tener claridad en el alcance del proyecto, garantizando que se realicen todos los pasos necesarios, así mismo disminuyendo la complejidad de los mismos. Además, es crucial para evitar gastos y costos no planificados que sobrepasen el presupuesto estipulado por los miembros del trabajo. (EALDE, 2020)

4.3.5. Matriz DOFA

Las siglas DOFA, dan significado a debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. Es una herramienta administrativa de análisis que aplican las organizaciones empresariales permitiendo conocer las características internas y los riesgos provenientes del exterior, basado en ese diagnóstico, da aval al planeamiento de una mejor estrategia y aplicarlas en el mercado. (Raeburn, 2021)

En cuanto a las siglas del DOFA, podemos determinar que:

- Debilidades: Son los aspectos en los que la empresa se encuentra en desventaja.
- Oportunidades: Son los espacios del mercado que no se han tenido en cuenta y que pueden dar lugar al progreso de la compañía.
- Fortalezas: Son los aspectos en los que la empresa tiene una clara ventaja en comparación a sus rivales.

- Amenazas: Son los posibles obstáculos que se pueden encontrar en la compañía y que proceden no solo de las opiniones de los clientes sino también de las regulaciones del gobierno e incluso de las fluctuaciones del mercado.

4.3.6. SENSORES

4.3.5.1. Tipo de sensores

Existen diferentes tipos de sensores que varían según su aplicación, entre los más comunes se encuentran:

4.3.5.1.1. Sensor de PH

Los medidores de pH miden la acidez o alcalinidad una solución en una escala del 0 al 14, cuando las sustancias se encuentren entre 7 y 0, el nivel de acidez es mayor, cuando se encuentran entre 7 y 14, contienen mayor grado de alcalinidad, por ultimo las que solo midan 7, representa que se encuentra en neutro. El sensor de pH proporciona medidas rápidas y precisas. Son implementados normalmente en piscinas, acuarios y en jardines, aunque también es posible en determinar el pH de otros líquidos. (Kalstein, 2021) (Kalstein, 2021)

4.3.5.1.2. Sensor de humedad

Es un aparato de lectura preciso, aplicado en ambientes cerrados para controlar las partículas de agua que se encuentran en el aire, transformando esas medidas en señales eléctricas, con intensidades entre los 4 y 20 mA. Los sensores de humedad proporcionan una gran durabilidad, también son muy asequibles, fáciles de calibrar y además tienen la capacidad de medir temperatura. (EDS Robotics, 2022)

4.3.5.1.3. Sensor de luz visible

Se trata de dispositivos electrónicos que responden a el cambio en la intensidad de luz, permitiendo conocer el grado de iluminación de un entorno y dan respuesta de acuerdo con la intensidad. Son muy usados gracias al ahorro energético y económico que generan. (EDS Robotics, 2022) (EDS Robotics, 2022)

4.3.5.1.4. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura están compuestos realmente por resistencias, cuyo valor asciende o disminuye con la temperatura, transformando el valor de la temperatura en una señal eléctrica para que pueda ser leída o interpretada con facilidad. (EDS Robotics, 2022) (EDS Robotics, 2022)

4.3.5.1.5. Sensor de nivel de agua

Son instrumentos que por medio de una señal que activa una alarma en el momento que el líquido dentro del tanque alcance el nivel establecido. Gracias a este tipo de sensores es de gran facilidad controlar y automatizar en tiempo real los procesos de llenado dentro de

cualquier recipiente que contenga un líquido. (Domótica Integrada, 2018) (Domótica Integrada, 2018)

4.3.5.1.6. Sensor de proximidad

Son transductores que detectan la presencia de objetos sin la necesidad de entrar en contacto con ellos, permitiendo medir la distancia a la que se encuentran los objetos con respecto a un plano. Existen diferentes tipos de sensores de proximidad que varían según el principio físico, además de que las características de detección dependen de la tecnología del sensor y medio de transmisión. (EDS Robotics, 2022)

4.3.5.1.7. Sensor de color

Se encargan de convertir la luz en frecuencia, con la finalidad de detectar los colores de determinados objetos sobre una superficie, calculando las coordenadas cromáticas a partir de su radiación reflejada. Se manejan a nivel industrial con tareas de pintura, control de calidad, etiqueta de superficies, técnicas de impresión y entre muchas más aplicaciones. (Psicología y mente, 2019)

4.4. MARCO CONCEPTUAL

4.4.1. HIDROPONÍA

Es una serie de técnicas que se elaboran bajo un ambiente que prescinde de suelo, con la capacidad de cultivar hortalizas libre de contaminantes, con mayor rendimiento, densidad, calidad, tiempo en el proceso del cultivo, productividad y aprovechamiento de espacios gracias a la correcta utilización y suministro de los recursos nutritivos, hídricos y lumínicos, sin menospreciar las variables importantes para el crecimiento de la planta como es la temperatura, humedad, agua y nutrientes, manteniendo controladas las necesidades de la planta permitiendo obtener más ventajas en la cosecha (Beltrano & Gimenez, 2015).

4.4.2. INOCUIDAD AGRÍCOLA

Se define como un pilar fundamental de las BPA (Buenas Prácticas Agrícolas), en cual garantiza la producción de alimentos agrícolas libre de contaminantes, sustancias químicas, microorganismos parasitarios y factores peligrosos que afecten la salud del consumidor, del productor o del ambiente en que se cultiva (ICA, s.f.).

4.4.3. SUSTRATO

Es cualquier material o medio sólido, ya sea orgánico, inorgánico o inerte para cultivar plantas en contenedores, que permite el soporte y desarrollo sostenible de la planta, además con las condiciones adecuadas las raíces pueden absorber los nutrientes suministrados según la composición del sustrato (Agroproductores, s.f.).

4.4.4. PH

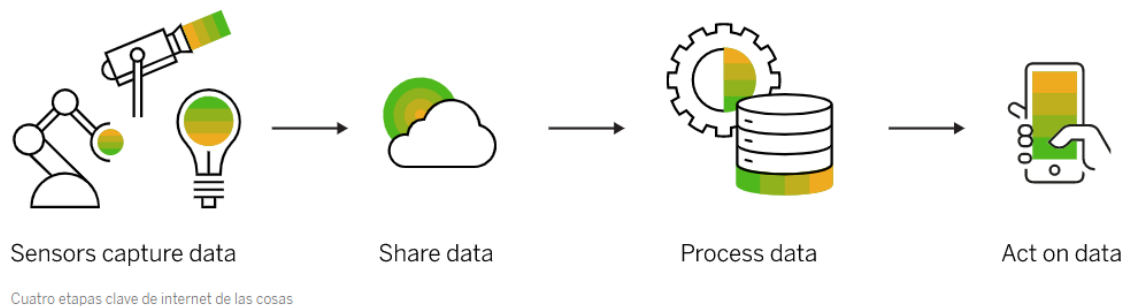
Representa los iones de hidrogeno presentes en los componentes del suelo, indicando si el suelo mantiene condiciones acidas, neutras o alcalinas. Este factor es de gran importancia para un adecuado crecimiento de las plantas y aprovechamiento de los nutrientes del suelo. (FAO, 2021)

4.4.5. IOT (INTERNET DE LAS COSAS)

Es un proceso que permite la conexión de dispositivos y objetos mediante una red de internet inalámbrica, especialmente dispositivos que permitan el intercambiando y obtención de datos clave en tiempo real con la finalidad de mejorar la eficiencia, la experiencia en el manejo de la información con el usuario o automatizar una acción generando una interacción máquina a máquina (M2M). (SAP Insights, 2022)

Para el desarrollo del internet de las cosas se divide en cuatro etapas:

Figura 5 Etapas del IOT



Fuente: SAP, (2022)

1. Captura de datos: Con el uso de sensores, los dispositivos de IOT recopilan los datos de su entorno tanto de forma sencilla como compleja.
2. Compartir datos: Es posible el envío de datos a un sistema de almacenamiento en la nube público o privado mediante conexiones de red inalámbricas disponibles.
3. Procesar datos: Se procede a programar el software para realizar alguna función con los datos recopilados.



4. Actúe a partir de los datos: Se analizan los datos brindados por el programa tomando decisiones y acciones para el desarrollo requerido o que se desea plantear.

4.4.6. WSN

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es un conjunto de sensores o transductores comunicados entre sí, posicionados en diferentes ubicaciones con la finalidad de registrar, monitorear y recopilar la información obtenida de las condiciones del ambiente que los rodea. Entre las condiciones ambientales normalmente monitoreadas se destacan temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, concentraciones químicas, grados de contaminación, intensidad lumínica, sonora y eléctrica (The astrology page, 2022).

4.4.7. ALGORITMO

Es una sucesión de ordenes finitas y organizadas a través del cual se realizan un conjunto de procedimientos para el procesamiento de información, obtención de soluciones a problemas determinados o para la ejecución de alguna acción (UDE, s.f.).

4.4.8. HMI

La Interfaz Hombre-Máquina se define como un panel de control que permite realizar la comunicación e interacción entre la maquina procesadora y el operario. Se especializan en mostrar gráficamente la información y estado en tiempo real del proceso, otorgándole al usuario el control y coordinación de cada proceso industrial (Autycom, 2019).

4.4.9. CABLE UTP

Es un tipo de cable que cuenta con un par de conductores eléctricos aislados hechos en material de cobre y trenzados entre sí en forma helicoidal, identificados cada uno con un color diferente, permitiendo minimizar los problemas de interferencia en la comunicación generadas por fuentes eléctricas externas y ondas electromagnéticas (VidaBytes, 2022).

4.4.10. SENSOR

Es un dispositivo que permite detectar estímulos externos en un entorno y responder a alguna salida en otro sistema, permitiendo medir las variables o magnitudes físicas y convertirlas en señales eléctricas medibles por microcontroladores (Leon, 2021).

4.4.11. RELÉ

Está compuesto de una bobina que cuando se activa genera un campo electromagnético trabajando como un interruptor, permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e interrumpe el paso cuando está abierto (MecatrónicaLATAM, 2021).

4.4.12. TENSIÓN ELÉCTRICA

Es una magnitud física que por medio de una fuerza ejercida de una fuente de energía que circula a través de un circuito eléctrico, impulsa y desplaza los electrones por un lazo conductor. También es denominado “Diferencia de Potencial” o “Voltaje”, la unidad de medida es el “Voltio” y es representado con la letra “V” (Planas, Energía solar, 2021).

4.4.13. CORRIENTE ELÉCTRICA

Es un fenómeno físico causado por el flujo de carga eléctrica realizado por el movimiento de electrones que orbitan el núcleo de los átomos que componen un material conductor y semiconductor durante un tiempo determinado influenciados de un diferencial de potencia y con la capacidad de crear campos electromagnéticos. La corriente eléctrica se expresa en C/s (culombios por segundo) y se mide en Amperios (A) (Planas, Energía solar, 2019).

4.5. MARCO LEGAL

Tabla 4 Normatividad del proyecto

LEY	DESCRIPCIÓN
Ley 842 de 2003 Artículo 2	<i>“Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones.”</i> (MinEducación, 2003)
Condicionabilidad de la PAC (RD 1078/2014)	Son las prácticas agrarias y medioambientales que debes cumplir a cambio de aceptar las ayudas directas de la PAC. los requisitos de la condicionalidad que deben tener en cuenta son: <ul style="list-style-type: none"> • Prohibición de quemar rastrojos, salvo autorizaciones expresas. • Mantener las terrazas de retención de los campos en buen estado • En zonas de cultivos herbáceos de secano no se puede arar con vertedera desde la fecha de la cosecha hasta el 1 de septiembre, excepto para sembrar cultivos secundarios.



Ley 607 de 2000 Artículo 1	Por medio de la cual se modifica la creación, funcionamiento y operación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria, UMATA, y se reglamenta la asistencia técnica directa rural en consonancia con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.
Ley 590 de 2000 Artículo 32	<i>“Se crearán, apoyarán e impulsarán proyectos que otorguen las herramientas necesarias para la capacitación y asesoría técnica, que requiera el desarrollo de los Cultivos Hidropónicos, como garantía de seguridad alimentaria para las mujeres y los hombres mayores de 50 años que no perciban ningún ingreso o protección del Estado, en el área urbana y rural.” (MinCiencias, 2000)</i>
Resolución 18 de 2012 Artículo 9	<i>“Esta disciplina estudia los efectos de corriente eléctrica, potencialmente peligrosa, que puede producir lesiones en el organismo, así como el tipo de accidentes que causa. Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo humano pueden ocasionar desde una simple molestia hasta la muerte, dependiendo del tipo de contacto.” (RETIE, 2012)</i>
Ley 79 de 1986	Conservación y preservación del agua. (Minambiente, 2010)
Decreto 1594 de 1984 Artículo 32	<i>“Se entiende por uso agrícola del agua, su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, que el Ministerio de Salud o la EMAR establezcan.” (IDEAM, 1984)</i>

Fuente: Elaboración propia

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se va a desarrollar es de tipo no experimental ya que se busca entregar una propuesta para analizar e interactuar con los cultivos hidropónicos de fresa en la localidad de Facatativá, realizando información solo documental a las plantas de fresa y así recolectar información sobre las condiciones y características en las que trabaja para realizar el sistema semiautomático de monitoreo para un cultivo hidropónico de fresa monterrey en la finca san Cayetano-vereda los Manzanos-Facatativá-Cundinamarca. (Sampieri, 2018)

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es aplicada bajo un enfoque mixto, puesto que es sometido a un enfoque cuantitativo aumentando la productividad y un enfoque cualitativo en el mejoramiento de la calidad de la fresa y los requerimientos nutricionales que necesitan para crecer óptimamente en la finca Cayetano Vereda los Manzanos del municipio de Facatativá Cundinamarca, y para esto se realizan diferentes tipos de procesos con el fin de garantizar que se cumplan estas variables. (Sampieri, 2018)

5.3. POBLACIÓN

Se tomaría como población de muestra a los cultivadores de fresas ubicados en el municipio de Facatativá dado que en este municipio este tipo de fresa se adecua a las condiciones de la zona. Se piensa hacer en el municipio de Facatativá dado que es el segundo municipio después de Sibaté que se destaca por ser productor de Fresa en Cundinamarca además de que Cundinamarca es el mayor departamento productor de Fresa en Colombia (SIPSA, 2018). Pero además de esto Facatativá no cuenta con tecnología de punta y se utilizan de manera excesiva los agroquímicos, y por no tener una buena práctica agrícola abusan de los recursos como el suelo y el agua (ARDILA, 2017).

5.4. MUESTRA

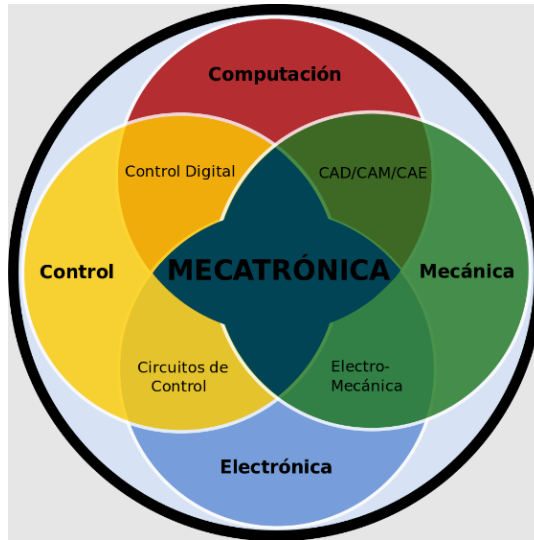
Se toma como muestra la finca San Cayetano ubicada en la vereda los Manzanos del municipio de Facatativá Cundinamarca. Donde se analizará un cultivo de 20-40 plantas de fresa bajo la técnica de hidroponía comparado a la técnica tradicional ubicado en la finca Cayetano Vereda los Manzanos del municipio de Facatativá Cundinamarca.

5.5. ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque a tener en cuenta en la realización del proyecto, la base se centraliza en los saberes, conocimientos y aplicaciones de la Ingeniería Mecatrónica donde esta es una derivación de las disciplinas como Ingeniería de electrónica-eléctrica, Ingeniería de Control, Ingeniería de Informática e Ingeniería Mecánica (Macas, 2017). Se tendrán en cuenta para

la realización del proyecto. Teniendo en cuenta lo anterior para la realización del proyecto se planea un diseño metodológico de 4 fases: Investigación, Diseño Mecánico, Diseño Electrónico-Eléctrico y Validación del proyecto.

Figura 6 Diagrama de círculo de la mecatrónica



Fuente: (Garcia, 2012)

5.6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

A continuación, se procede a describir las actividades que se realizarán para llevar a cabo la investigación:

Tabla 5 Metodología objetivo específico 1

OBJETIVO: Caracterizar las condiciones de producción de fresa tipo Monterrey bajo la técnica de hidroponía en el municipio de Facatativá, apoyado en herramientas de gestión de proyectos.			
FASE		METODOLOGIA	
A	Recolección de información.	A1	Consultar bases de datos, antecedentes, artículos científicos, entre otras, acerca de los cultivos hidropónicos en general y de fresas.
		A2	Revisar literatura acerca de sistemas automáticos de cultivos hidropónicos en general y de fresa.
B	Caracterización del sistema.	B1	Identificar las estrategias para la(s) problemáticas planteadas.
		B2	Determinar las variables en las cuales se presenta mayor problema en un cultivo hidropónico.
		B3	Realizar un DOFA respecto a los cultivos hidropónicos.
RESULTADOS ESPERADOS			
Obtener información para la propuesta de un sistema semiautomático para un cultivo de fresas tipo Monterrey.			

Fuente: Elaboración propia

Figura 7 DOFA de los cultivos hidropónicos



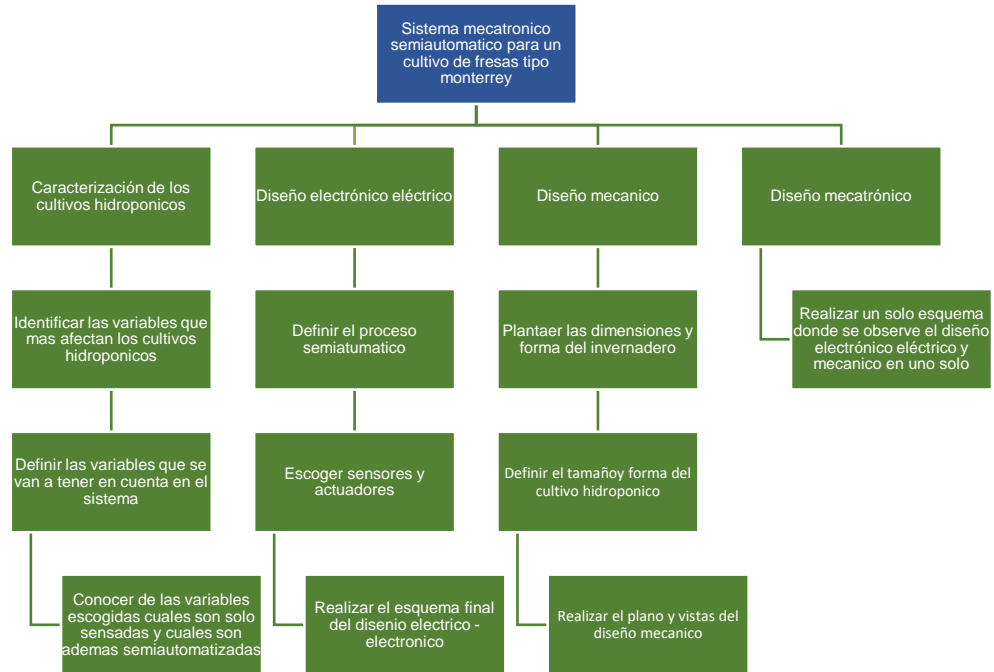
Fuente: Elaboración propia en creately

Tabla 6 Metodología objetivo específico 2

FASE		METODOLOGIA	
A	Selección de componentes de medición de las variables.	A1	Realizar un EDT para la realización del sistema mecatrónico.
		A2	Analizar los requerimientos de funcionamiento de los componentes.
		A3	Determinar la cantidad necesaria de actuadores y sensores que se aplicaran en el circuito eléctrico.
B	Diseño preliminar del sistema mecatrónico.	B1	Trazar una posible conexión de los componentes del circuito.
		B2	Diseñar un bosquejo mecánico estructural.
RESULTADOS ESPERADOS			
Diseño conceptual del sistema mecatrónico para el monitoreo de un cultivo hidropónico semiautomático.			

Fuente: Elaboración propia

Figura 8 EDT de la elaboración del sistema mecatrónico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Metodología objetivo específico 3

OBJETIVO:			
Realizar una propuesta técnica del sistema mecatrónico semiautomático que atienda al cultivo hidropónico de fresas.			
FASE		METODOLOGIA	
A	Propuesta del diseño técnico del sistema eléctrico y mecánico.	A1	Elaboración de los planos eléctricos y mecánicos propuestos.
B	Diseño final del sistema mecatrónico.	B1	Unificar la propuesta de los planos eléctricos y mecánicos al modelo mecatrónico.
RESULTADOS ESPERADOS			
Propuesta técnica del sistema mecatrónico semiautomático de un cultivo hidropónico de fresas.			

Fuente: Elaboración propia

6. PROCEDIMIENTO

6.1. REVISIÓN LITERARIA

Se inicia principalmente con la búsqueda documental sobre la aplicación de cultivos hidropónicos automatizados y enfocado a las plantaciones de fresa, indicando la diferencia que tiene el desarrollo de plantaciones agrícolas realizadas con métodos de cultivo tradicionales, con el propósito de obtener las ventajas que brinda la hidroponía y las variables que mayor se tiene en cuenta para el monitoreo de las plantas de fresa.

Tabla 8 Revisión literaria

AÑO	AUTOR	TITULO	DESCRIPCIÓN
2017	Jonathan Capera, Brayan Sierra, Thomas Blenkey, Steven Quintana, Leonardo Forero, Daniel Ávila	Análisis temático de principios de automatización en el desarrollo de cultivos hidropónicos	En el artículo se presenta la hidroponía como una herramienta alternativa para el desarrollo de la agricultura sin dependencia de un suelo y las variaciones del clima. Eliminando las problemáticas que posee los cultivos tradicionales a cielo abierto, teniendo en cuenta los factores de crecimiento de las plantas como son temperatura, humedad, cantidad de nutrientes, intensidad lumínica y control de plagas; mejorando el espacio, recursos necesarios para los cultivos, aumento del crecimiento y calidad de las especies vegetales en menor tiempo y reducción los gastos de mantenimiento. Haciendo énfasis en la automatización de esta herramienta, mejorando las condiciones requeridas, donde se controla las variables que afectan el cultivo dentro de un ambiente climatizado, tales como la luz, pH, humedad y

			temperatura principalmente, mediante dispositivos electrónicos programados para regular las variables. (Quintana, Forero, & Blenkey, 2017)
2020	Gesto, Esteban; Hallar, Karim; González, Leonardo; Sofia, Osiris; Birgi, Jorge Alberto; Laguia, Daniel; Gargaglione, Verónica Beatriz; Peri, Pablo Luis; Araujo Prado, César	Avances en el desarrollo de un sistema de Monitoreo y Control de un Módulo de Producción de Cultivos Hidropónicos para regiones de latitudes elevadas	Se menciona que, en latitudes elevadas, los cultivos hidropónicos compensan la baja fertilidad del suelo y las fuertes condiciones climáticas para la producción agrícola. El monitoreo y control de las variables de temperatura ambiente, humedad y energía por medio de actuadores como lo son sistemas de aire acondicionado, calefactores, ventiladores, iluminación ambiente y bombas de circulación, aumentan la calidad de los cultivos y simplifica las labores humanas que interceden en los cultivos. (Gesto, y otros, 2020)
2017	Rubio Mena Carsten	Automatización de un cultivo hidropónico nft para el Control de temperatura, riego y mezcla de la solución Nutritiva, ubicada en la zona urbana de quito	En este documento habla que algunas empresas buscan un crecimiento rápido de sus cultivos por lo que recurren a la aplicación de químicos que aceleren el desarrollo de las plantas, pero destaca que los cultivos hidropónicos son la solución para el crecimiento de frutas, hortalizas y vegetales en poco tiempo, sin la necesidad de estar expuestas a la contaminación de químicos aplicados en la tierra, donde hay un control en la mezcla de solución nutritiva y agua. Se compara el crecimiento realizado en cultivos hidropónicos normales con cultivos hidropónicos

			automatizado, observando un mayor crecimiento de las plantas en los cultivos automatizados. (Carsten, 2017)
2018	Juan Alberto Alvarado Chávez	Producción de fresa en sistemas hidropónicos bajo Condiciones de invernadero	En esta investigación hacen ilusión a que los cultivos tradicionales de fresa no desarrollan las mejores condiciones para una producción potencial, dándole la posibilidad de aumentar el rendimiento hasta un 75% utilizando herramientas tecnológicas como lo son los cultivos hidropónicos. Evalúan el comportamiento bajo el sistema hidropónico piramidal y vertical, demostrando que el sistema vertical es más productivo ya que las plantaciones con elevación alta desarrollan mejores características organolépticas. (Chavez, 2022)

Fuente: Elaboración propia a partir de diferentes fuentes

De la revisión literaria se puede concluir que los cultivos hidropónicos de fresa resuelven los grandes problemas que se desarrollan en las técnicas de cultivo tradicional, manifestando las grandes ventajas en espacio, producción y recursos que tiene la aplicación de estos cultivos aumentando, pero para lograr obtener un mayor potencial de sus ventajas es necesario controlar y monitorear las variables que mayor preocupación se dan para el adecuado crecimiento de las plantas de fresa, como son temperatura ambiente, humedad y pH, obteniendo un rendimiento del 75% de los cultivos no automatizados.

Aquellas ventajas de los cultivos hidropónicos con respecto a los cultivos tradicionales encontradas en las revisiones, serán de utilidad en el presente trabajo para la elaboración del análisis DOFA herramienta fundamental para establecer las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los cultivos hidropónicos y tomar decisiones estratégicas para el desarrollo de la propuesta. Las variables que se plantean en los documentos revisados ayudaran principalmente en la determinación de los requerimientos necesarios que deben ser controlados y monitoreados para un completo desarrollo del fruto. Además, la determinación de las variables nos da abal al desarrollo de los diseños eléctricos y estructurales que cumple con los objetivos de la propuesta.

6.2. DISEÑO ELECTRÓNICO – ELÉCTRICO

Para elegir el mejor sistema mecatrónico que se adapte a nuestro cultivo hidropónico primero se debe conocer que variables se van a monitorear y cuáles van a ser semiautomatizadas para definir los respectivos sensores y actuadores que dependen del sentido de estos mismos. Las variables para este sistema son:

- Temperatura del ambiente
- Humedad relativa
- Temperatura del agua
- PH
- Conductividad
- Tiempo
- Luminosidad

La siguiente tabla muestra la variable, acción mecatrónica, actuadores que dependen de este sentido y la función de los actuadores respecto al sentido de la variable.

Tabla 9 Variables

Variables	Función Mecatrónica	Actuadores	Función en el sistema
Temperatura del ambiente	Monitoreo - Semiautomatización	Bomba de agua 110 VAC/220 VAC Resistencia de calor 110 VAC/220 VAC y ventiladores 110 VAC/220 VAC	Mostrar y Mantener la temperatura ambiente en un rango establecido
Humedad relativa	Monitoreo - Semiautomatización	N.A.	Mostrar la Humedad Relativa
PH	Monitoreo	N.A.	Mostrar el PH de la solución que pasa por el cultivo
Conductividad	Monitoreo	N.A.	Mostrar la cantidad de sales disueltas en la solución que pasa por el cultivo
Temperatura del agua	Monitoreo - Semiautomatización	Bomba de agua 110 VAC/220 VAC	Mostrar y Mantener la temperatura de la solución que pasa por el

			cultivo en un rango establecido
Tiempo	Monitoreo - Semiautomatización	Bombillos LED 110 VAC/220 VAC (20)	Mostrar y Mantener las luces encendidas por hora real establecida
Luminosidad	Monitoreo - Semiautomatización		Mostrar y Mantener las luces encendidas por la luminosidad del ambiente

Fuente: Elaboración propia

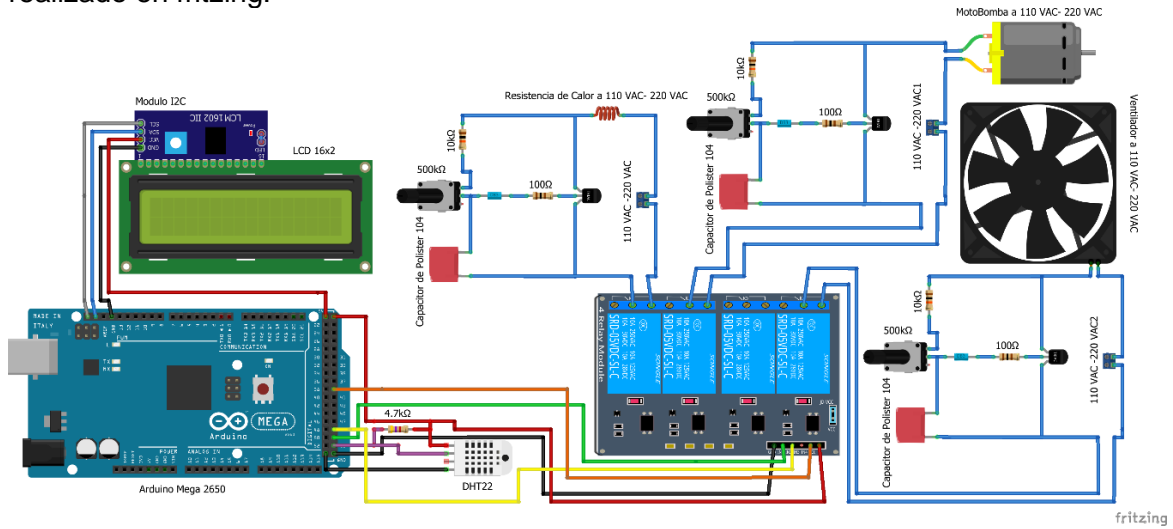
Teniendo en cuenta la tabla se definen primero los circuitos a usar por separado para cada variable y los respectivos sensores a usar. En cada esquema se usará una pantalla LCD 16X2 que nos va a mostrar los valores censados, conectada por medio de un módulo I2C a nuestra placa embebida Arduino, la cual servirá para la programación de los actuadores respecto al censado.

6.2.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Para este circuito además de la pantalla LCD 16X2 y el módulo I2C se tiene el sensor DHT22 que censara la temperatura y la humedad del ambiente, dependiendo de los resultados obtenidos por este, por medio de una señal que manda la placa embebida al módulo de relés prendera o apagara la motobomba de agua y/o un ventilador y/o una resistencia de calor a 110 VAC/220 VAC los tres, además de ello se tiene un potenciómetro por cada actuador que permite regular la intensidad de cada uno de ellos de forma manual.

EL funcionamiento de este circuito es mantener la temperatura en un rango determinado (RDAM), cuando la temperatura sea inferior a RDAM se deben prender nuestros 3 actuadores hasta regular la temperatura dentro de RDAM. La resistencia calentara el agua que está en un reservorio para ser distribuida con la motobomba de agua por medio de tubos de cobre o aluminio (que permiten la fácil transferencia de calor al ambiente). El ventilador se encargará de esparcir ese aire caliente en el ambiente del invernadero. La humedad relativa solo será censada y mostrada en la pantalla LCD.

Figura 7 Diagrama electrónico para las variables de temperatura y humedad del ambiente realizado en fritzing.

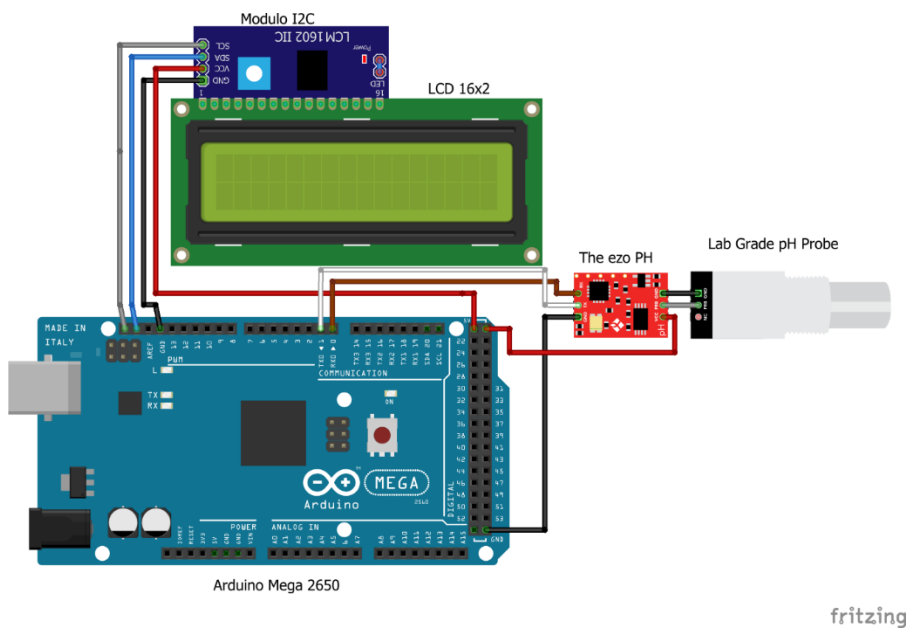


Fuente: Elaboración propia

6.2.2 PH

Para este circuito además de la pantalla LCD 16X2 y el módulo I2C se tiene el sensor The EZO PH que censará la acidez de la solución que pasa por el cultivo por medio de una PH Probe Lab Grade, la cual solo será mostrada en la pantalla LCD.

Figura 7 Diagrama electrónico para la variable PH realizado en fritzing

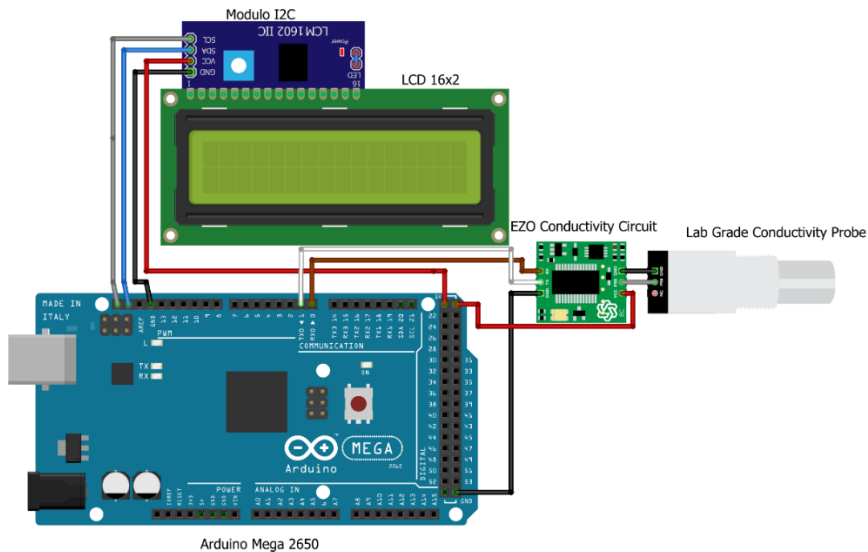


Fuente: Elaboración propia

6.2.3 CONDUCTIVIDAD

Para este circuito además de la pantalla LCD 16X2 y el módulo I2C se tiene el sensor The EZO Conductivity que censará la acidez de la solución que pasa por el cultivo por medio de una Conductivity Probe Lab Grade, la cual solo será mostrada en la pantalla LCD.

Figura 8 Diagrama electrónico para la variable conductividad realizado en fritzing



fritzing

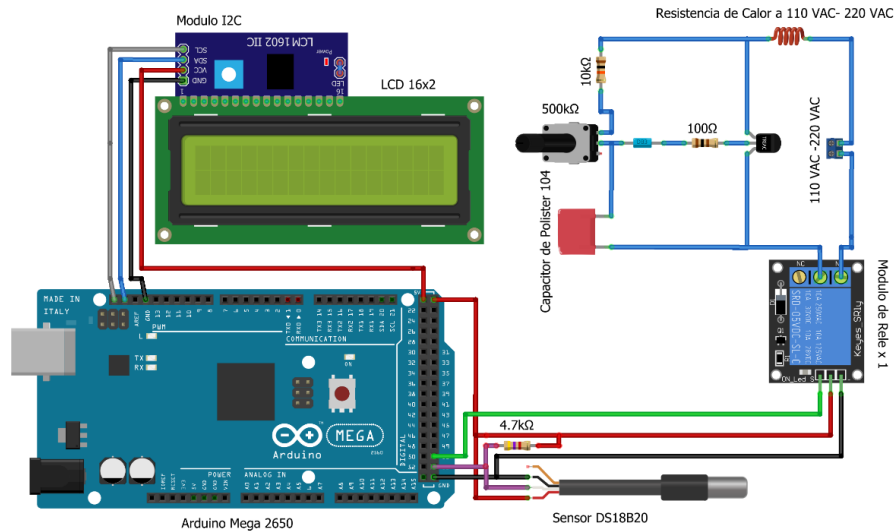
Fuente: Elaboración propia

6.2.4 TEMPERATURA DEL AGUA

Para este circuito además de la pantalla LCD 16X2 y el módulo I2C se tiene el sensor DS18B20 que censará la temperatura del agua, dependiendo de los resultados obtenidos por este, por medio de una señal que manda la placa embebida al módulo de relé que prendera o apagará una resistencia de calor a 110 VAC/220 VAC, además de ello se tiene un potenciómetro que permite regular la intensidad la resistencia de calor.

EL funcionamiento de este circuito es mantener la temperatura en un rango determinado (RDAG), cuando la temperatura sea inferior a RDAG se debe prender la resistencia de calor hasta regular la temperatura dentro de RDAG. La resistencia calentará el agua de la solución a distribuir por el cultivo que está en un reservorio para ser distribuida con la motobomba de agua por medio de tubos de PVC). La motobomba no se muestra en este diagrama se verá en el esquemático final y su función en el sistema.

Figura 9 Diagrama electrónico para la variable de temperatura del agua realizado en fritzing.



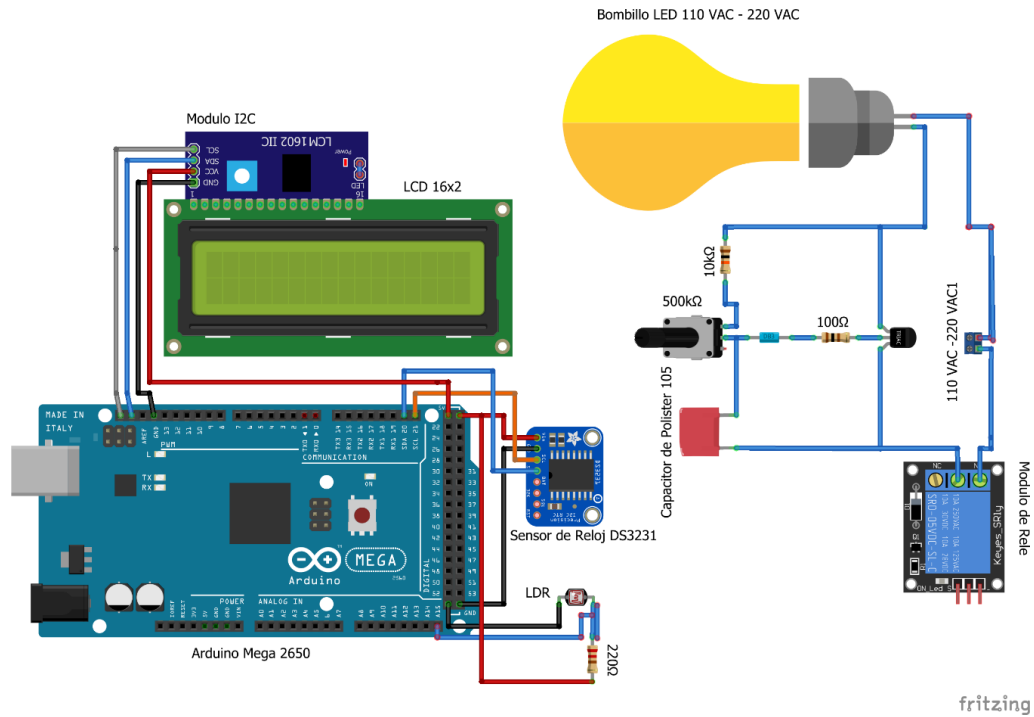
fritzing

Fuente: Elaboración propia

6.2.5 TIEMPO - LUMINOSIDAD

Para este circuito además de la pantalla LCD 16X2 y el módulo I2C se tiene el sensor de reloj DS3231 que ayudara a poder tener el tiempo real para prender el bombillo led de una hora determinada a otra o por un tiempo determinada además de ella tiene un sensor de luz que ayudara a prender los bombillos led si la luminosidad es muy baja y estos están apagados por el sensor de reloj.

Figura 10 Diagrama electrónico para las variables de luminosidad y tiempo realizado en fritzing

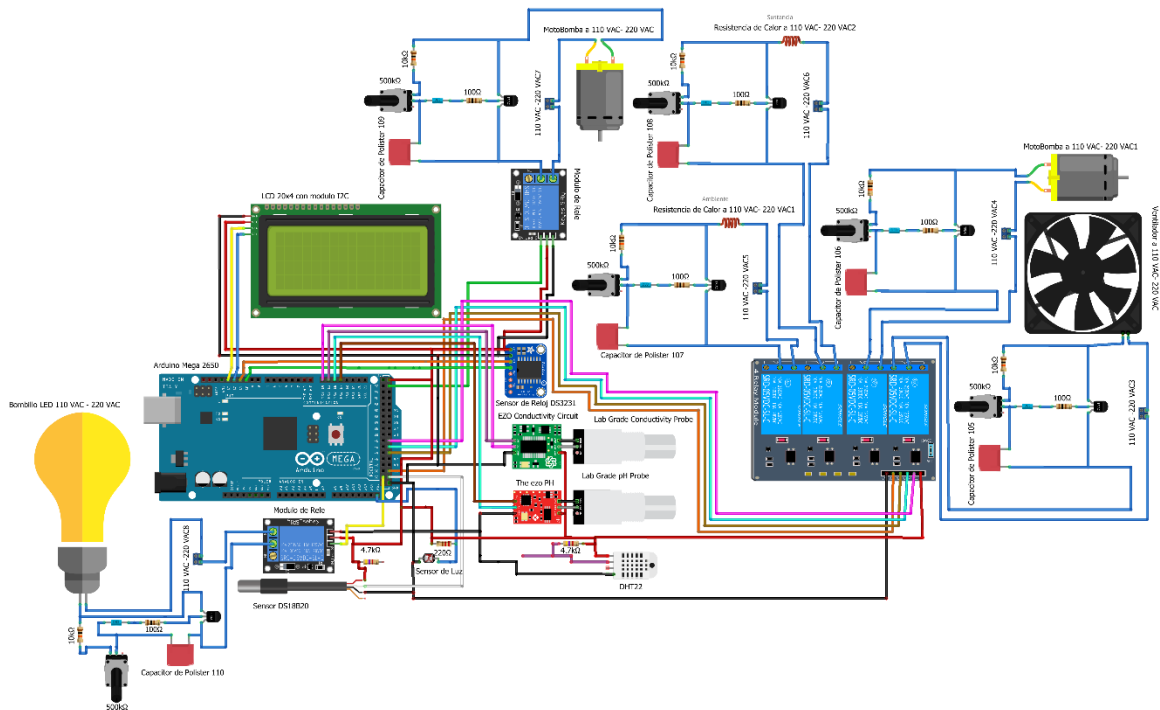


Fuente: Elaboración propia

6.2.6 DISEÑO ELECTRÓNICO – ELÉCTRICO FINAL

Luego de ello se procede a hacer la unión de cada circuito en uno solo el cual sera nuestro esquema electronico para el sistema mecatronico. El cual seria el siguiente:

Figura 11 Diagrama electrónico final

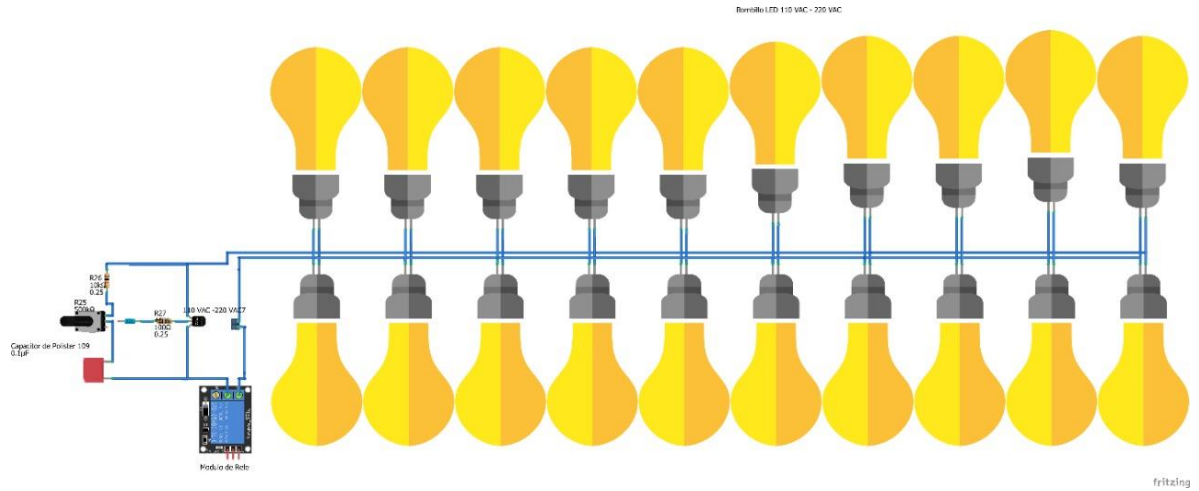


fritzing

Fuente: Elaboración propia

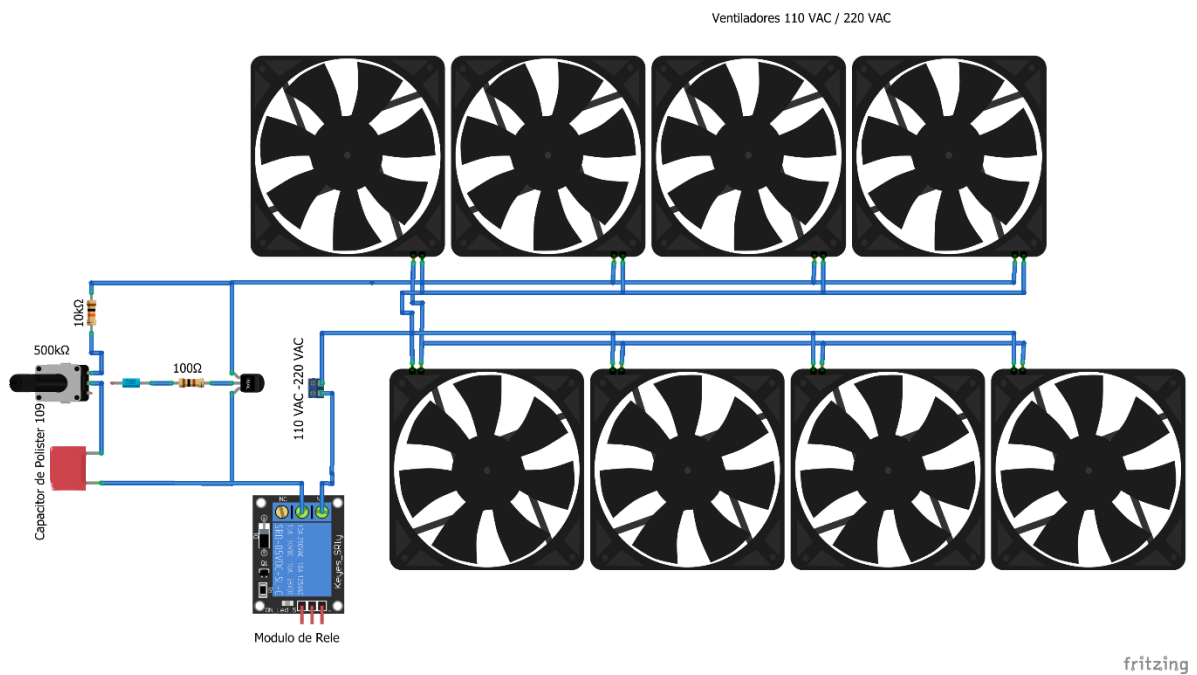
A diferencia de los bocetos de los circuitos por separado se observa una pantalla LCD de 20x4, se hace el cambio ya que esta nos permite visualizar todas las variables censadas de forma inmediata. Y se agregó una motobomba de agua de 110 VAC/ 220 AC que mantiene la oxigenación de la solución que pasa por los cultivos. Mantiene la circulación constante. Para el sistema se va a usar 20 bombillos led y 8 ventiladores donde la conexión de ellos será la siguiente:

Figura 12 Diagrama de conexiones para los 20 bombillos



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Diagrama de conexiones para los 8 ventiladores



Fuente: Elaboración propia

6.3. DISEÑO MECÁNICO

Una vez identificadas las variables a monitorear y completado el diseño electrónico del cultivo, se parte a desarrollar la estructura del sistema mecatrónico, distribuyendo de la mejor forma cada sensor y actuador para así suplir los requerimientos del sistema.

El diseño estructural o mecánico se realizó teniendo en cuenta 5 estructuras fundamentales:

- Estructura del Invernadero
- Base del cultivo
- Cuerpo del cultivo
- Componentes eléctricos
- Estructura final cultivo hidropónico

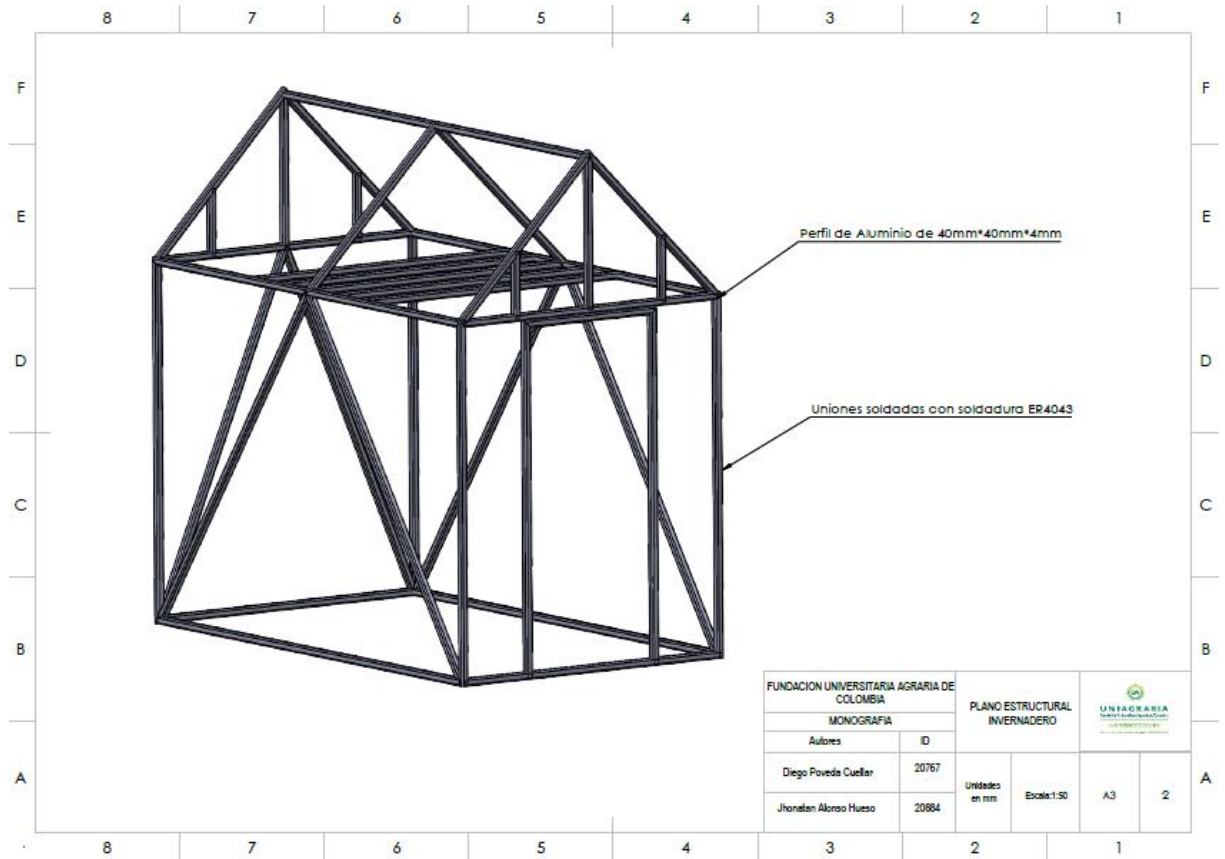
Con el diseño del invernadero, base del cultivo y cuerpo del cultivo, se unifican todas para obtener la estructura final del cultivo hidropónico. Partiendo de la estructura se da procedencia a la elaboración de los planos con sus respectivas medidas, uniones, materiales y componentes.

6.3.1 ESTRUCTURA DEL INVERNADERO

Como se indica, inicialmente se lleva a cabo la estructuración del invernadero, tomando decisiones sobre las dimensiones, material y la forma, con la finalidad de dar el espacio necesario para el sistema hidropónico. Se toma la decisión de realizar la estructura en perfiles de aluminio de 40 mm*40 mm*4 mm, por ser un material con un peso menor al acero y su costo de adquisición. Cada unión del perfil se hace con soldadura ER4043, otorgándole una gran firmeza.

La forma que mejor se adapta al invernadero fue el estilo Dos Aguas (DA), los cuales tienen una forma cuadrada en sus caras laterales y una forma triangular en la parte superior. Además de incluir perfiles de apoyo para aumentar su estabilidad.

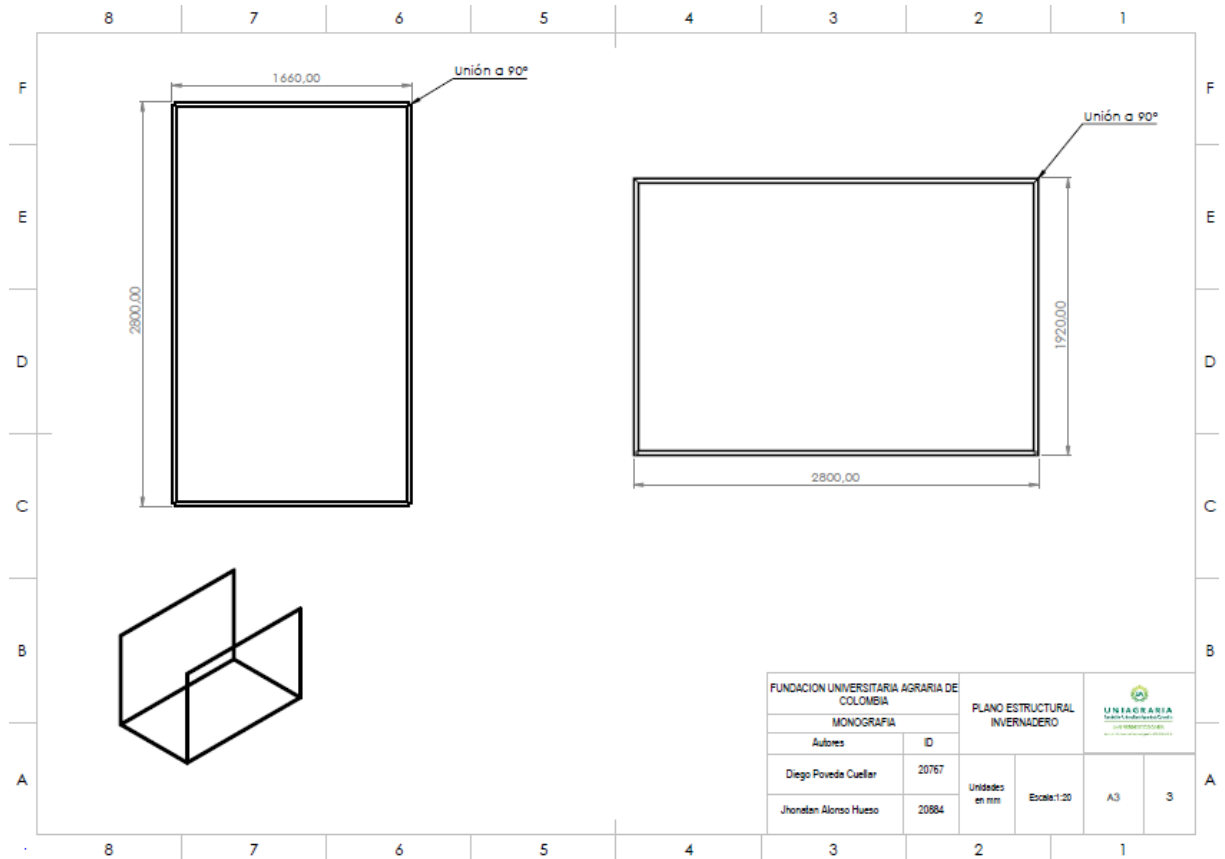
Figura 14 Plano estructural del invernadero



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Cuando se escoge el material y la forma, se da continuación a las medidas tanto de la parte inferior y superior. En la parte inferior se da una altura de 1920 mm, de ancho 1660 mm y de largo 2800 mm. Cada unión es soldada a un ángulo de 90°.

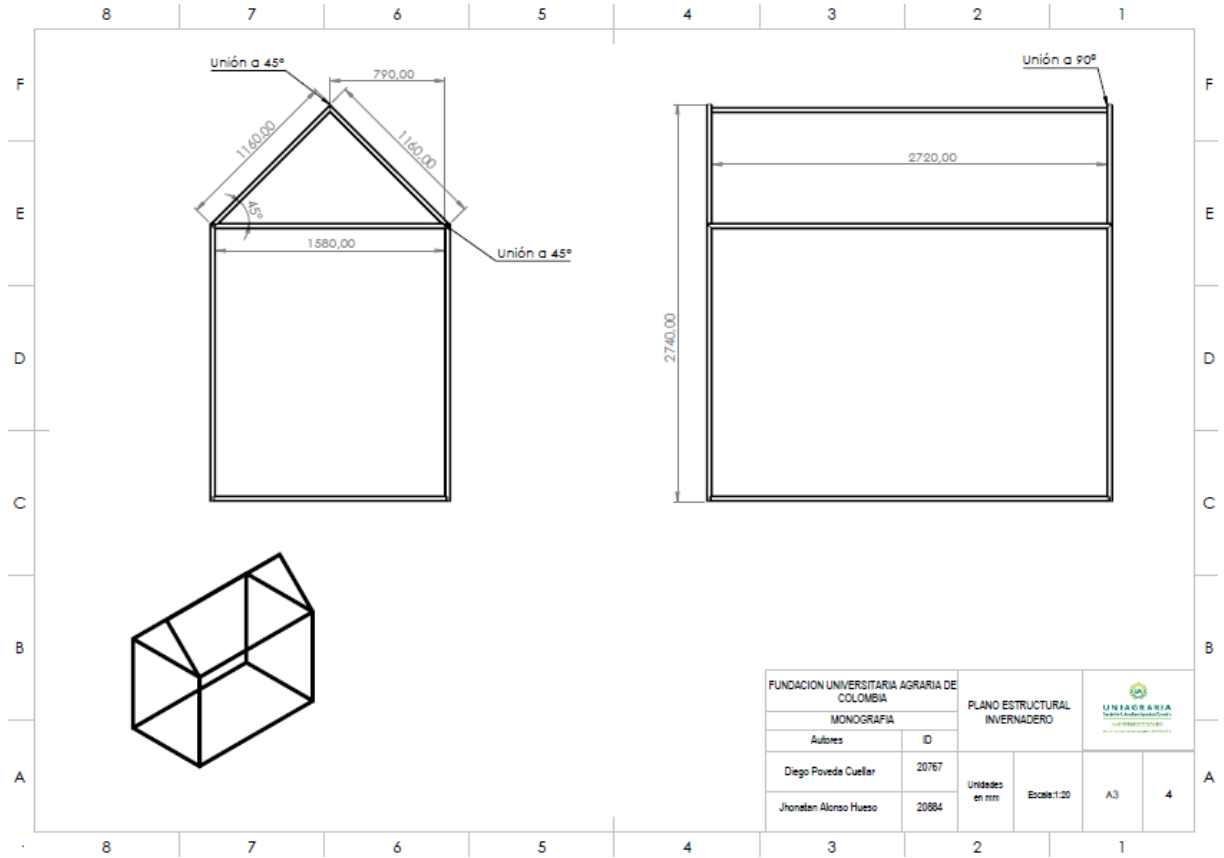
Figura 15 Plano base del invernadero



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

En la parte superior del invernadero con forma triangular se da una base de 1580 mm, por ser un triángulo isósceles ambos los lados son de 1160 mm y sus ángulos son de 45°. Las uniones que se aplican son de 45°.

Figura 16 Plano Parte superior invernadero



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Teniendo la parte inferior y superior soldada se implementan los soportes que le darán mayor rigidez a la estructura. En la parte superior se implementan 13 perfiles en total:

Tabla 10 Soportes invernadero

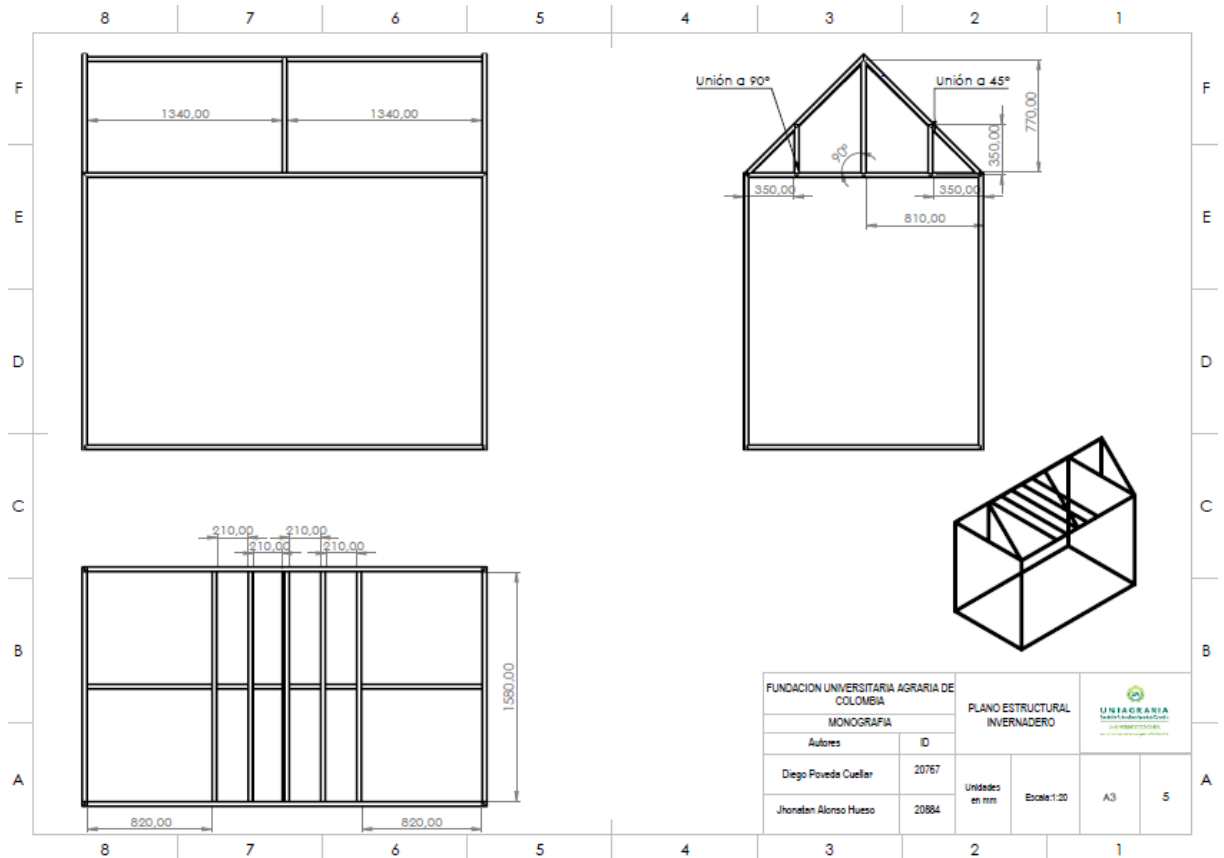
N° PERFILES	MEDIDAS
4	350 mm
5	1580 mm
2	770 mm
2	1160 mm

Fuente: Elaboración propia

Se ubican seis perfiles, de los cuales tres están en la parte frontal y trasera del invernadero, en cada extremo del borde se ubican dos perfiles de 350 mm a una distancia de 350 mm, dos perfiles de 770 mm de alto se ubican en la mitad del triángulo con una distancia de 810 mm y formando un ángulo de 90°. En la parte lateral se encuentran dos perfiles de 770 mm centrados a una distancia desde el borde de 1340 mm. Por último en la parte superior se

colocan cinco perfiles de 1580 mm perpendiculares cada uno separado a 210 mm entre ellos y a 820 mm desde cada extremo. De igual forma se aclara la unión a 45° de los perfiles inclinados y uniones de 90° a los perfiles perpendiculares.

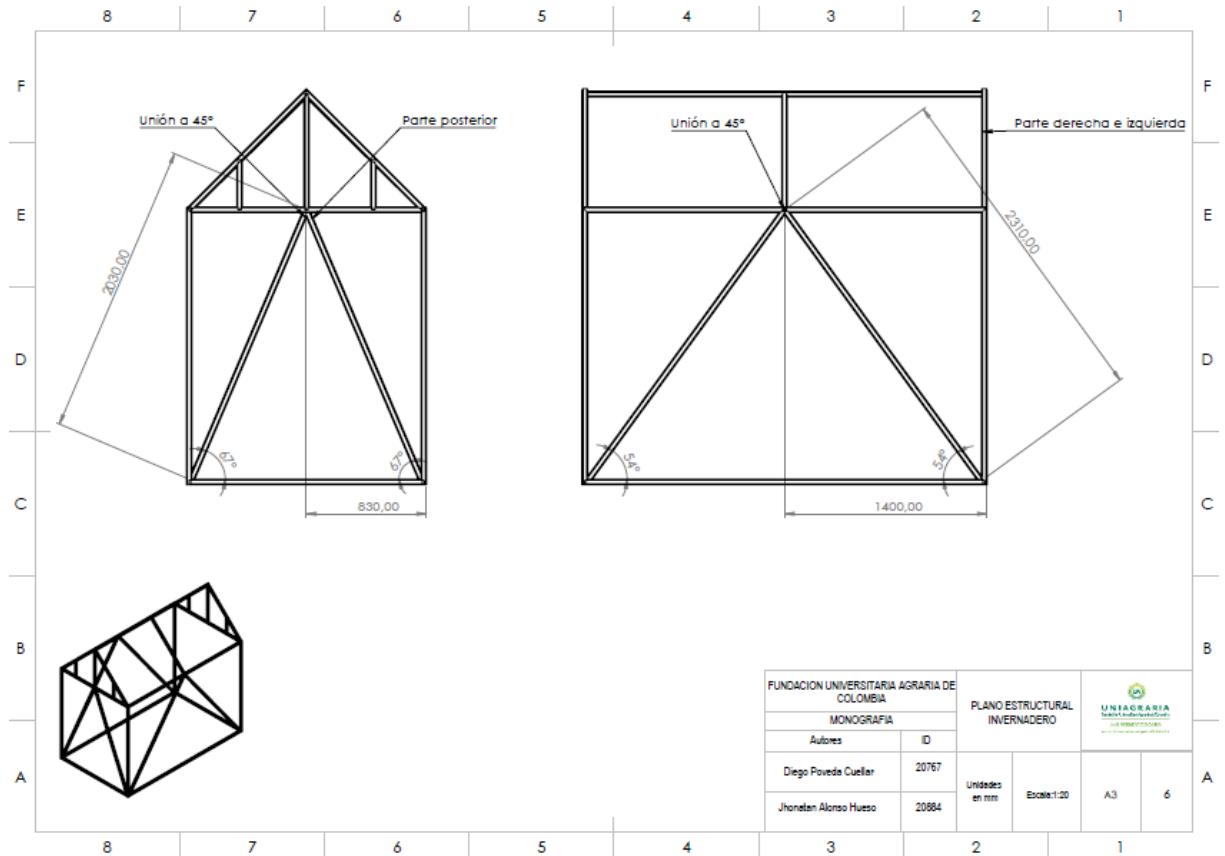
Figura 17 Plano soportes superiores invernadero



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

En la parte inferior se implementan 6 perfiles en total, unidos igualmente en forma de triángulo isósceles, cada perfil es de 2310 mm, se ubican dos de ellos en la parte trasera, desde los bordes inferiores con un ángulo de 67° a 830 mm o hasta la mitad del perfil superior y los cuatro perfiles faltantes se ubican en ambas caras laterales con un ángulo de 54° a 1400 mm del perfil superior.

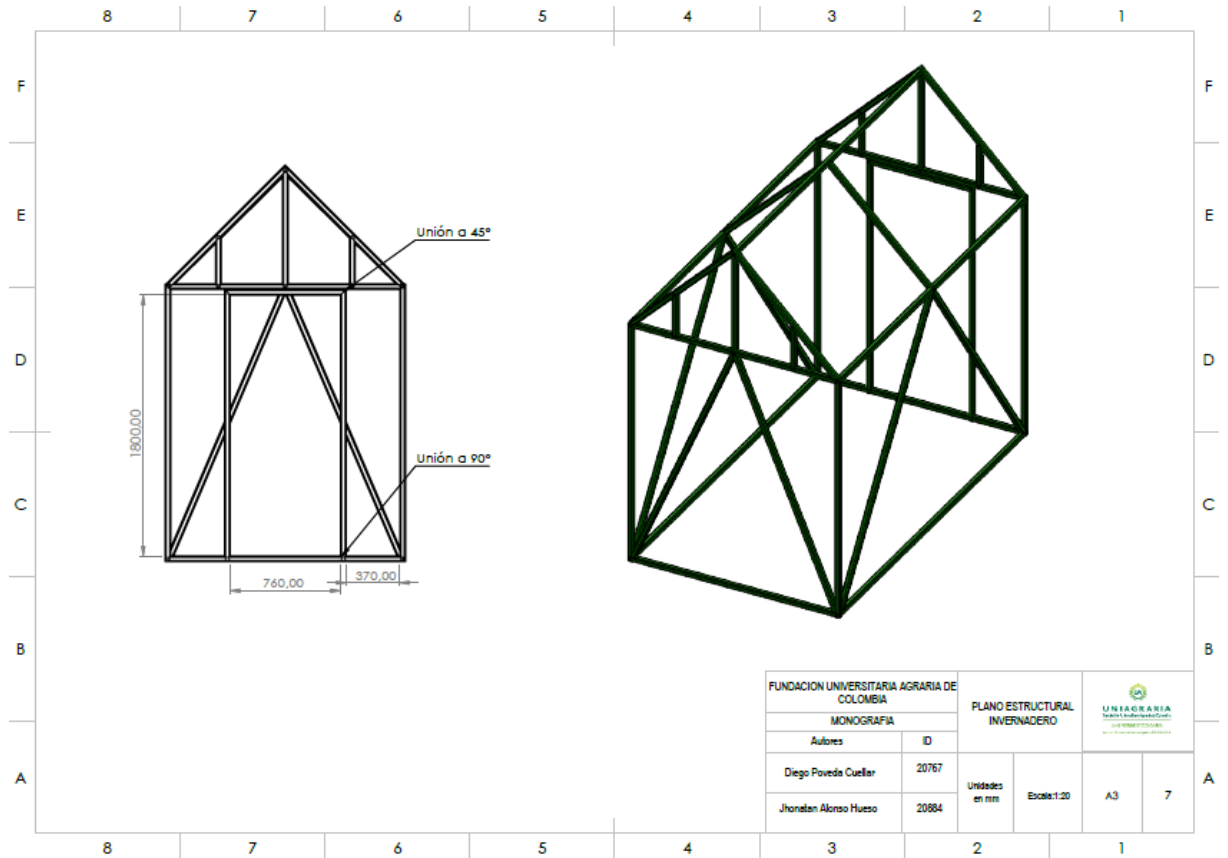
Figura 18 Plano soportes inferiores invernadero



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Al momento de estar los soportes soldados, se procede a realizar la puerta que dará el acceso al cultivo hidropónico, el marco de la puerta se desarrolla con perfiles de aluminio de 40 mm * 40mm * 4mm, mismo material del invernadero. La puerta es de 760 mm de ancho, 1800 mm de alto y ubicada en el centro a una distancia de 370 mm desde el borde del invernadero hasta el borde del marco de la puerta. La unión de los perfiles que conformaran el marco de la puerta es de 45° entre sí y la unión del marco de la puerta y la base del perfil del invernadero es de 90°.

Figura 19 Plano puerta invernadero

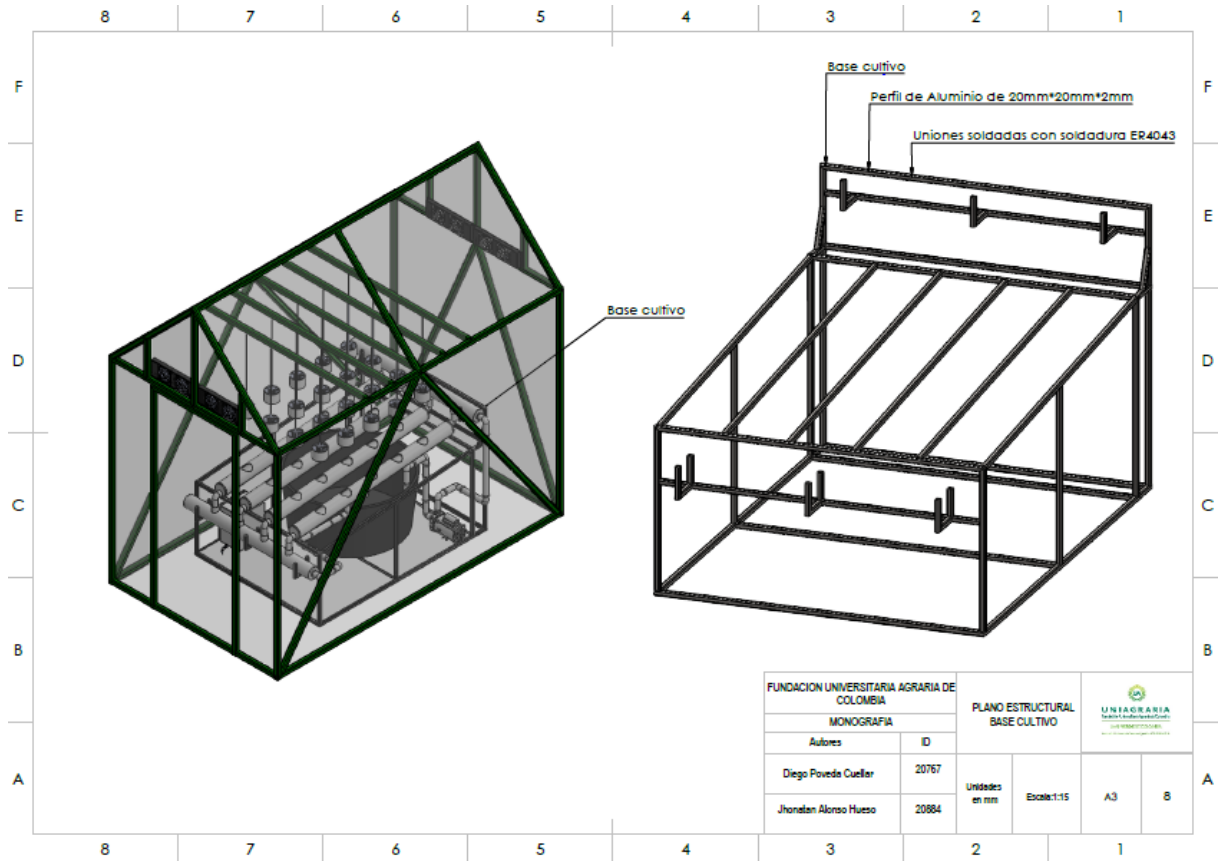


Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

6.3.2 BASE DEL CULTIVO

La instalación de la puerta es la última parte que se desarrolla en la estructura del invernadero, por consiguiente, se da continuación a la estructuración de la base que sostendrá el cultivo hidropónico. En esta sección la base se realiza en perfiles cuadrados de aluminio de 20 mm * 20 mm * 2 mm y unidas igualmente con la soldadura ER4043.

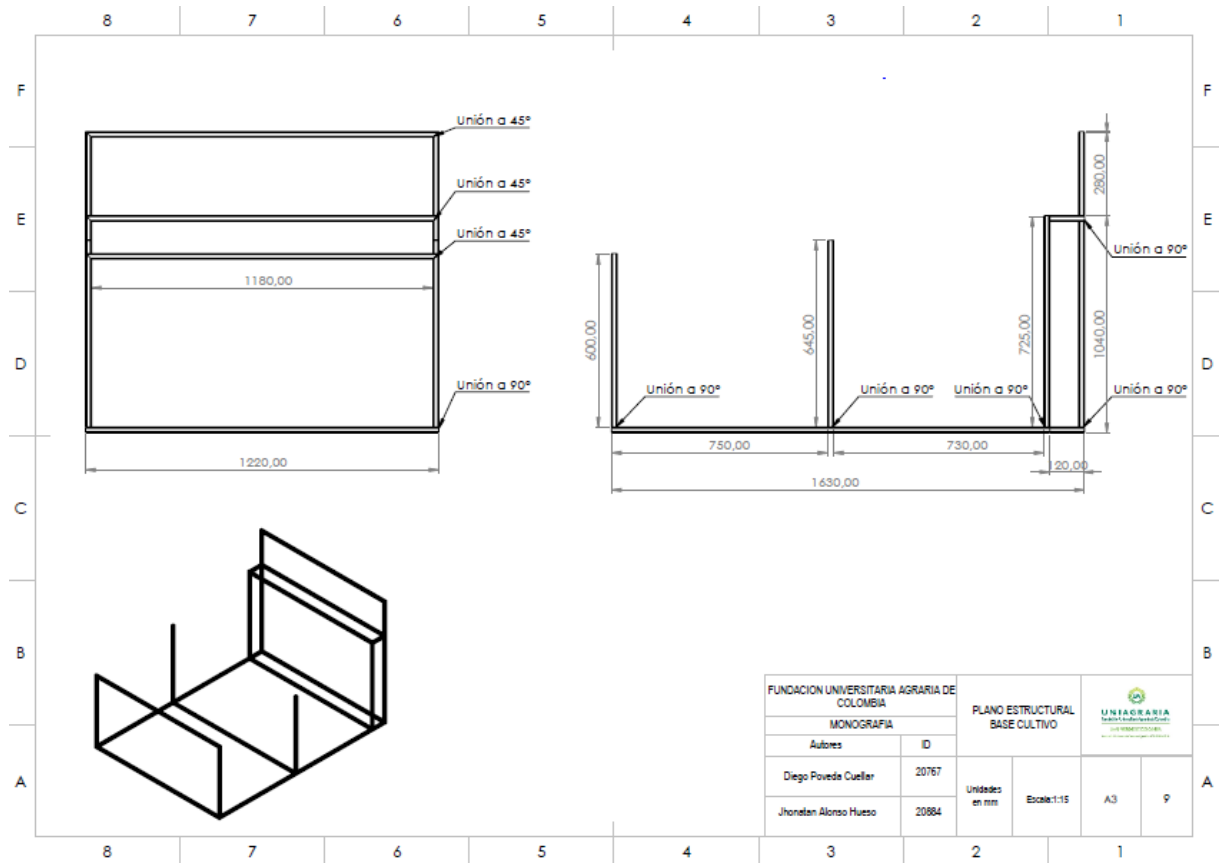
Figura 20 Plano base del cultivo



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Se divide la base en dos secciones: una inferior y una superior. En la sección inferior la base es de 1220 mm de ancho y 1630 mm de largo, tres perfiles se ubican en la parte frontal de la base con una altura de 600 mm de alto y 1180 de alto, formando un rectángulo. Dos perfiles de 645 mm de alto se localizan lateralmente a 750 mm desde el perfil inferior frontal. En la parte trasera de la base se realiza la unión de perfiles en forma de cubo con una altura de 725 mm de alto, 1180 mm de ancho y 120 mm de largo, sobre esa misma sección se agrega tres perfiles más para formar otro rectángulo con 280 mm de altura y 1180 mm de ancho.

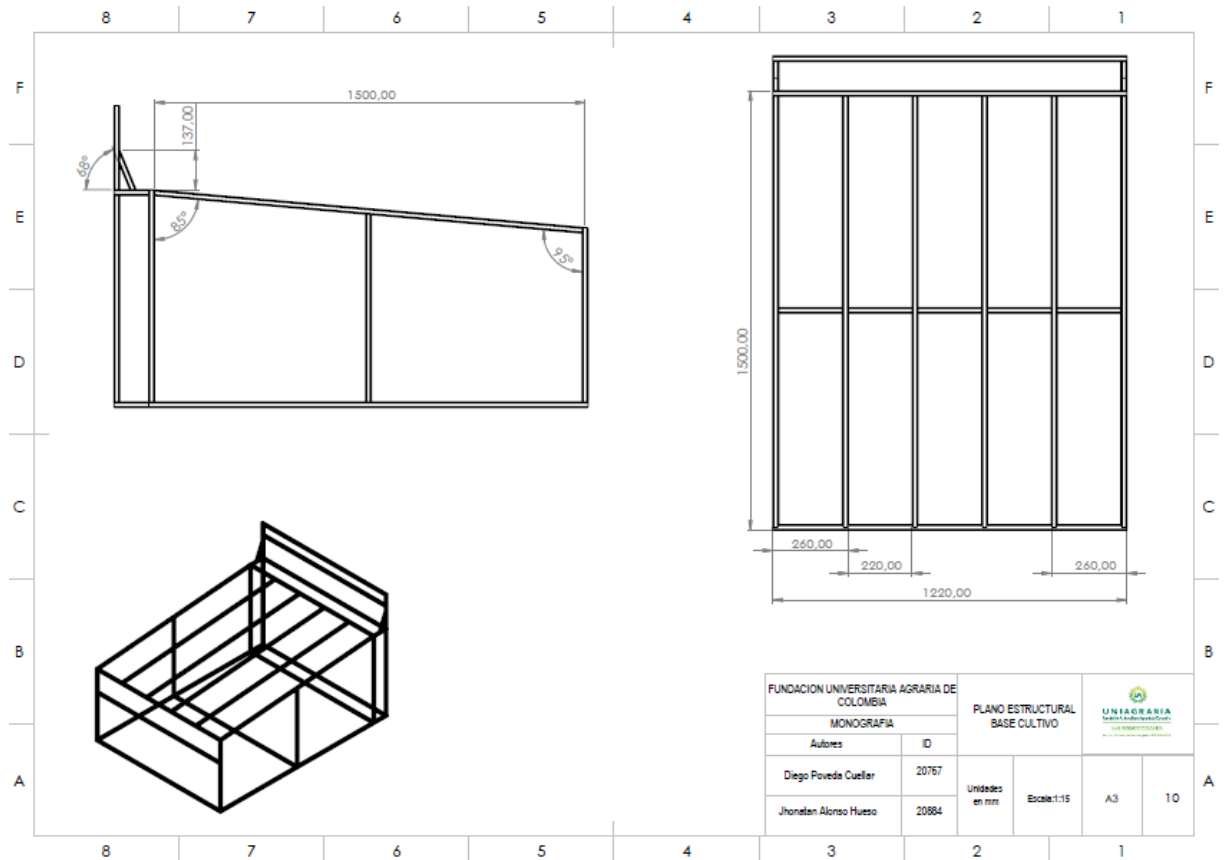
Figura 21 Plano inferior base del cultivo



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Ahora en la parte superior se colocan cuatro perfiles perpendiculares de 1500 mm de largo, inclinados 5° o 95° desde el perfil perpendicular y cada uno de los cuatro perfiles están separados a 220 mm.

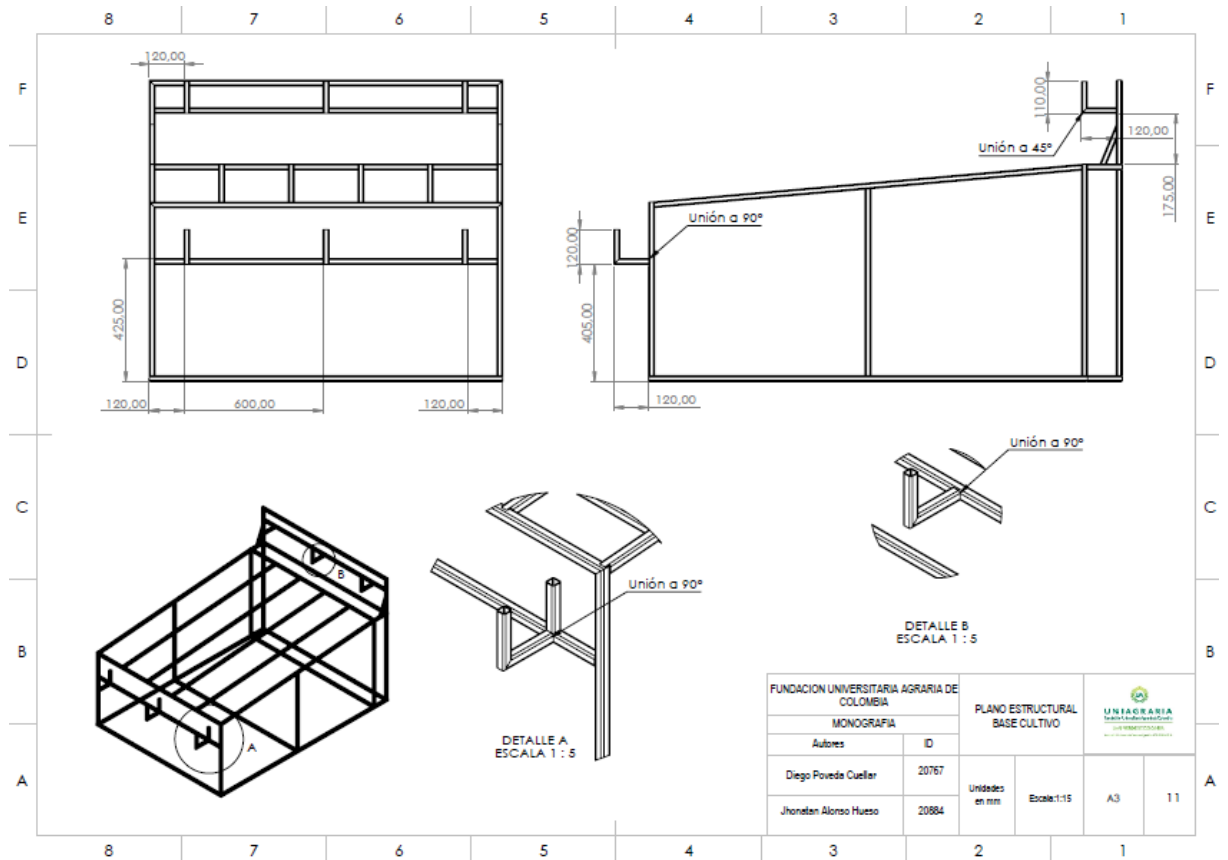
Figura 22 Plano superior base del cultivo



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Es necesario aplicar soportes para el cultivo para evitar posibles daños o fracturas si presencia algún tipo de movilidad inesperada, por esa razón se aplica soportes en forma de “U” para sostener las canales del cultivo hidropónico. Se aplican seis soportes en “U” con perfiles de 120 mm de alto y 120 mm de ancho, sobre un perfil de 405 mm de alto en la parte frontal y en la parte trasera a un perfil de 175 mm desde el perfil superior del cubo, distribuidos de 3 en 3 en la parte frontal y trasera, los dos de los extremos se encuentran a 120 mm desde el borde y el del medio a 600 mm de los otros dos perfiles en “U”.

Figura 23 Plano soporte base del cultivo

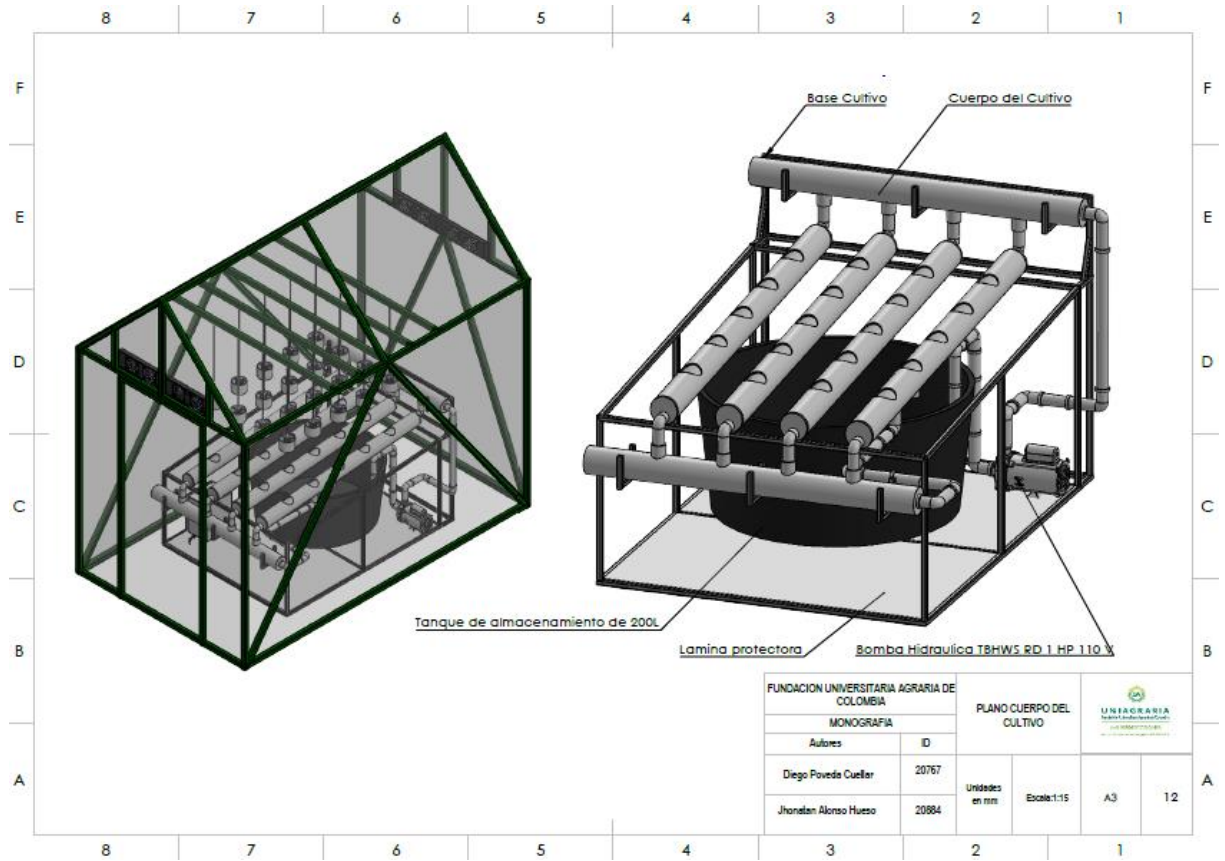


Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

6.3.3 CUERPO DEL CULTIVO

Se plantea que el cultivo hidropónico albergue un total de 20 plantas de fresa tipo Monterrey y cuente con cuatro canales, es decir que cada canal debe tener 5 orificios. Se utiliza tubo PVC de presión para el desarrollo de las canales de distribución del agua, que suministra a todo el sistema mediante una Bomba hidráulica TBHWS RD 1 HP 110 V y es almacenada en un tanque de almacenamiento de 200 L, situado debajo de las canales de tal manera que se aproveche el espacio disponible. El tanque de almacenamiento y la bomba hidráulica están apoyados sobre una lámina en aluminio con las mismas medidas de la base.

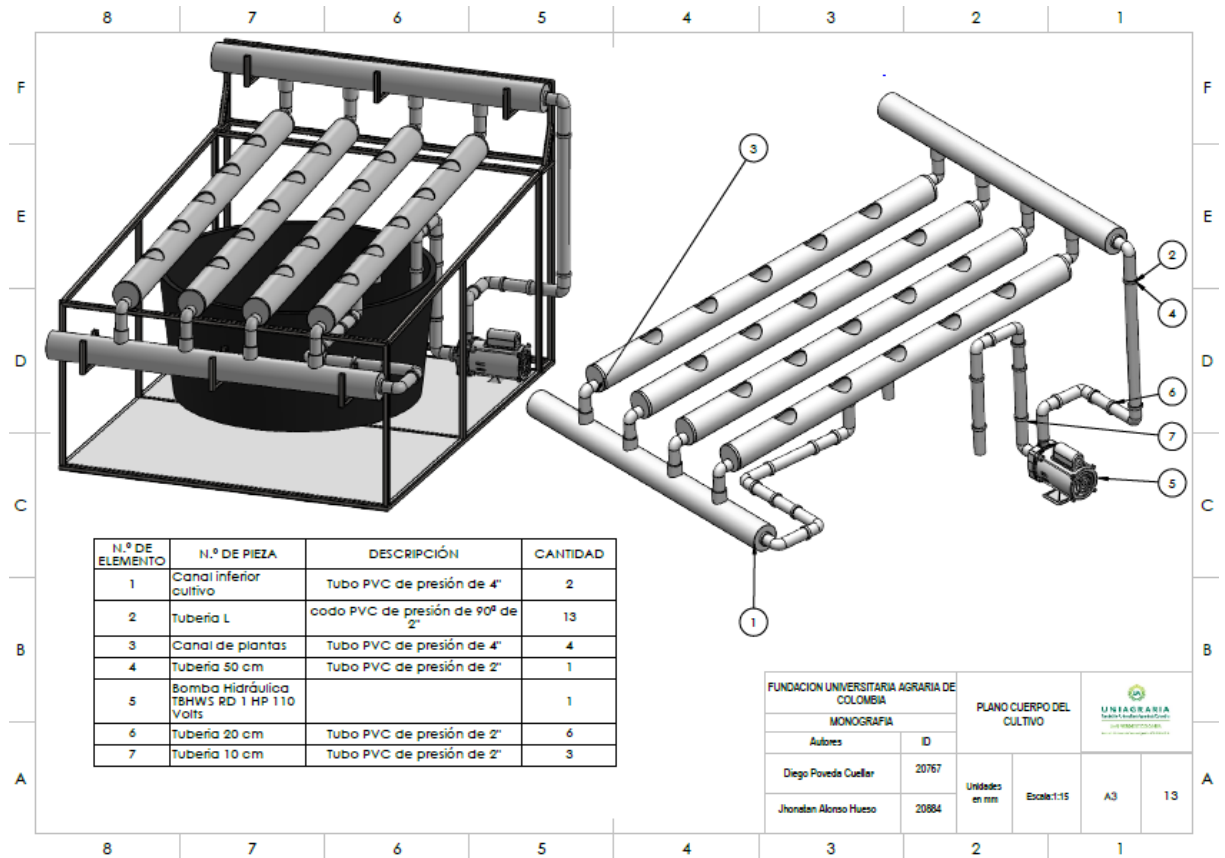
Figura 24 Plano cuerpo del cultivo



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

A continuación, se indica nombres de los elementos utilizados, la referencia y cantidad de piezas para el desarrollo del cuerpo del cultivo:

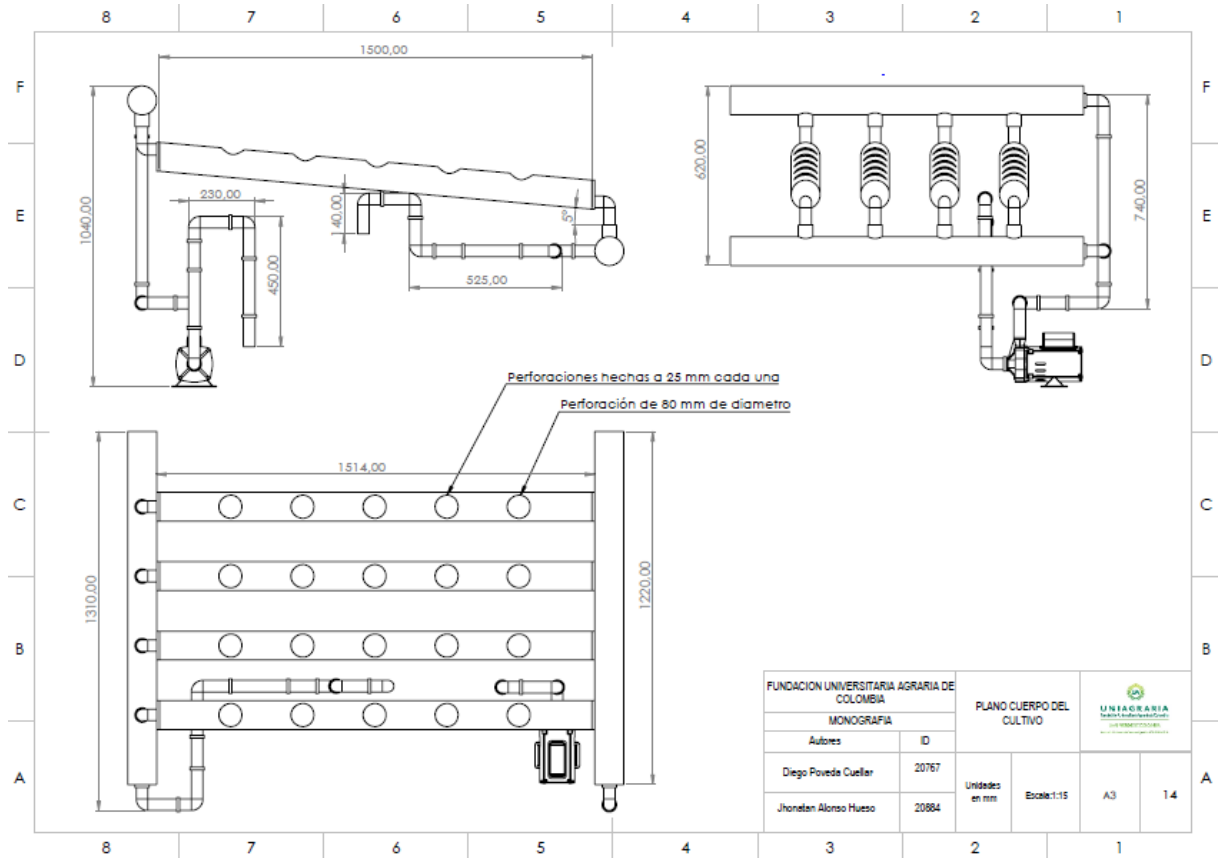
Figura 25 Plano elementos del cultivo



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Con respecto al diseño del cultivo, toda la estructura tiene 1040 mm de alto y 1310 mm de ancho y 1714 mm de largo. Los canales principales tienen una longitud de 1500 mm, los orificios para cada planta están perforadas con 80 mm de diámetro y la distancia entre cada perforación es de 25 mm. La tubería de 740 mm va conectada a la salida de la bomba hidráulica que se encarga de distribuir el agua hasta la canal superior de 1220 mm de longitud, que distribuye el agua a cada canal principal de las plantas, la entrada de la bomba hidráulica va conectada por la tubería de 450 mm que se encarga de la recolección del agua almacenada en el tanque de 200 L.

Figura 26 Plano cuerpo del cultivo



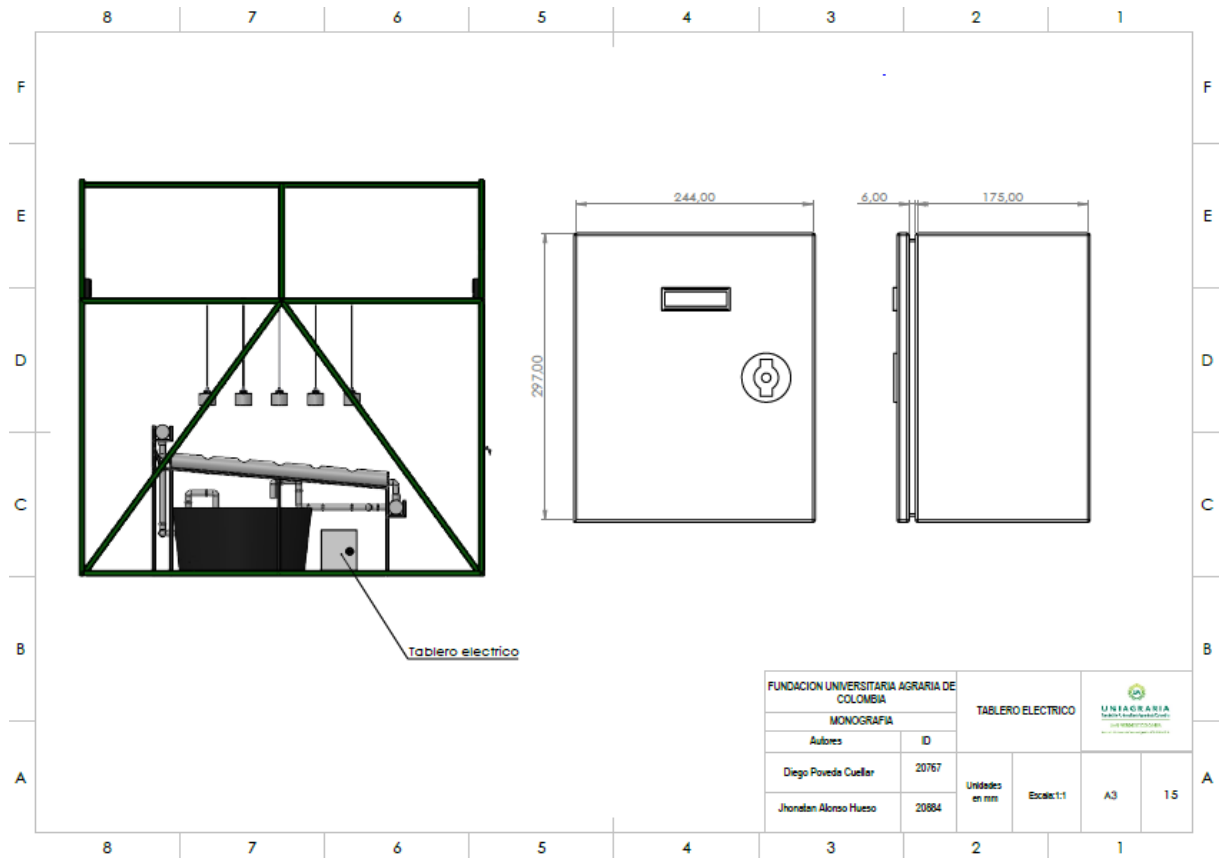
Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

6.4. DISEÑO MECATRÓNICO

6.4.1 COMPONENTES ELÉCTRICOS

Dando finalización al diseño del cuerpo del cultivo, se parte a implementar los componentes eléctricos fundamentales para el monitoreo semiautomatizado del cultivo hidropónico de fresas. En primera instancia se desarrolla el tablero eléctrico que tiene 297 mm de alto, 244 mm de ancho y 175 mm de largo, está ubicado debajo de los canales principales igualmente que el tanque de almacenamiento de 200 L.

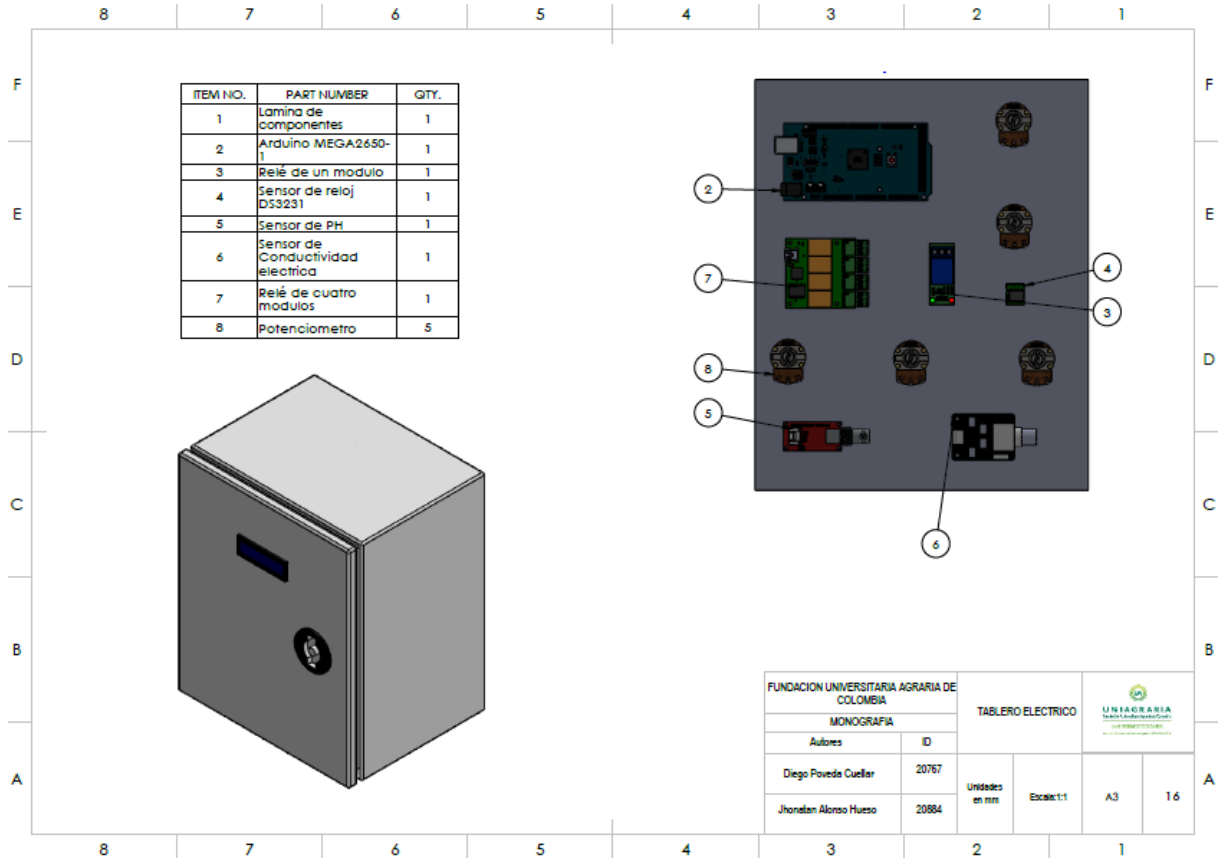
Figura 27 Plano tablero eléctrico



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Dentro del tablero eléctrico va la conexión del microcontrolador, módulos y componentes eléctricos fundamentales, a continuación se indican la referencias y cantidad de componentes eléctricos implementados:

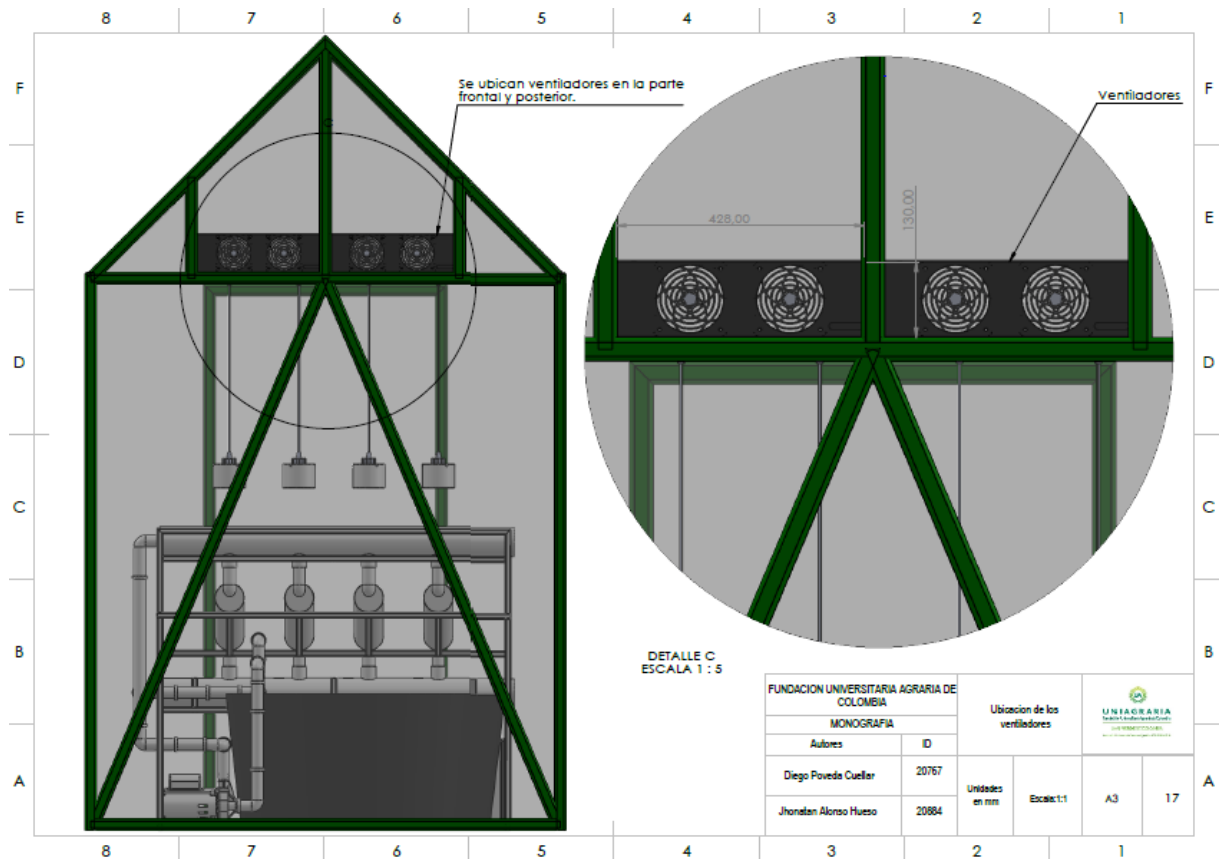
Figura 28 Plano componentes del tablero eléctrico



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Una vez se implementa el tablero eléctrico, se realiza toda la parte de componentes que regulen la ambientación de todo el cultivo dentro del invernadero. Se instalan cuatro ventiladores dobles de 130 mm de alto y 428 mm de longitud, dos de estos van ubicados en la parte superior frontal del invernadero, anclado un extremo al perfil central y el otro al perfil de 350 mm de alto y ancho. Los otros dos ventiladores dobles están ubicados en la parte trasera a la misma altura y distancia de los ventiladores frontales.

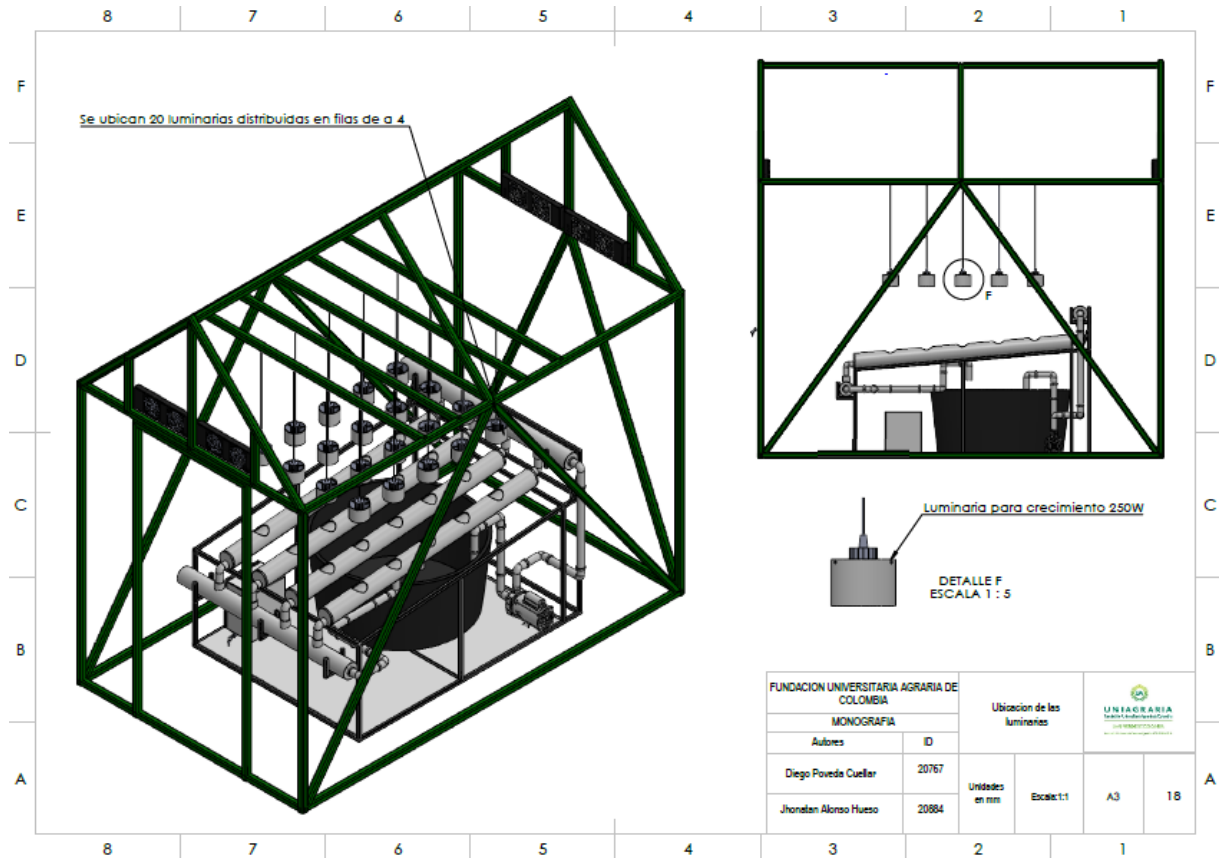
Figura 29 Plano ubicación de ventiladores



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

La iluminación del sistema es un factor importante para el crecimiento de las plantas de fresa, por lo que se implementa 20 luces led de 250 W para crecimiento, se instalan sobre los 5 perfiles superiores perpendiculares y se distribuyen en filas de 4 entre cada uno, de tal forma que queden ubicadas sobre cada planta.

Figura 30 Plano ubicación iluminación

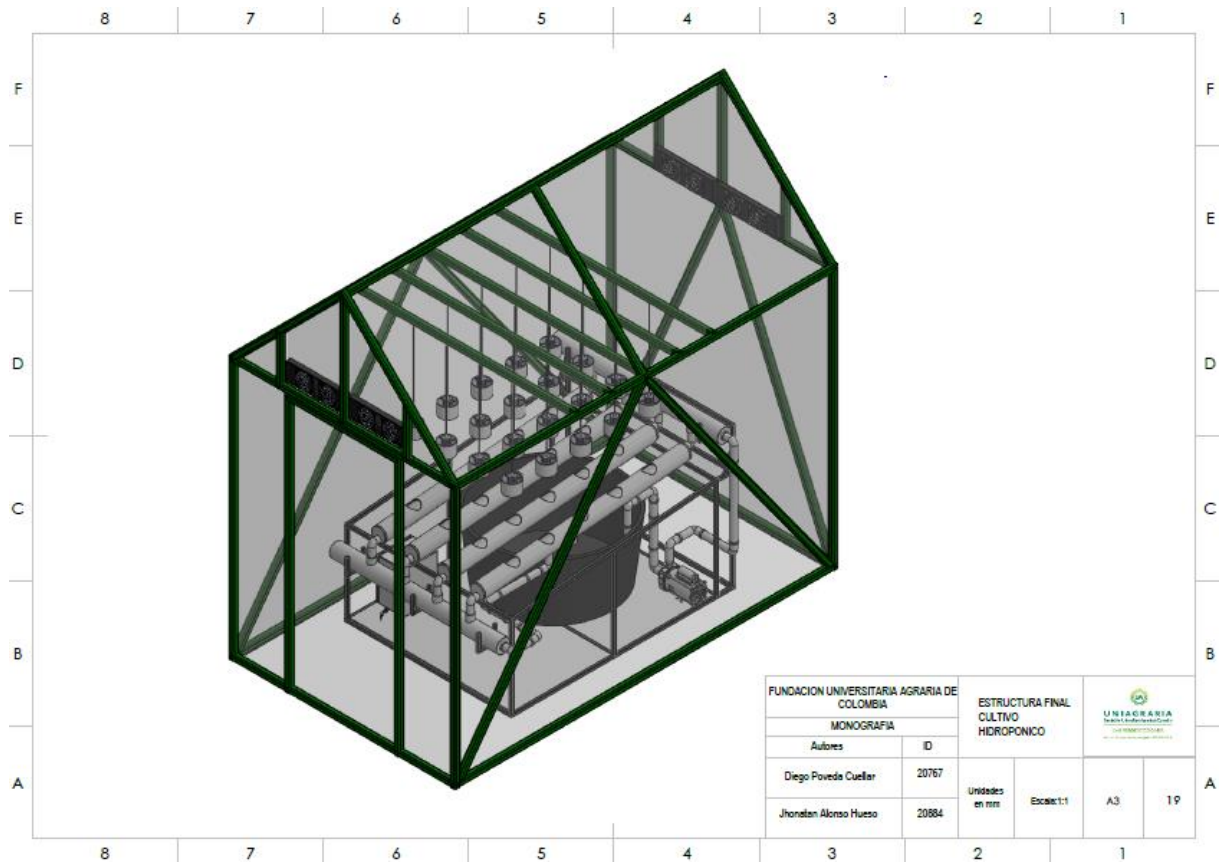


Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

6.4.2 ESTRUCTURA FINAL CULTIVO HIDROPÓNICO

Para finalizar se unifican completamente las demás estructuras y componentes eléctricos, para dar como resultado los planos estructurales finales de todo el cultivo hidropónico, cumpliendo la propuesta técnica del sistema mecatrónico semiautomatizado del cultivo hidropónico de fresas tipo Monterrey.

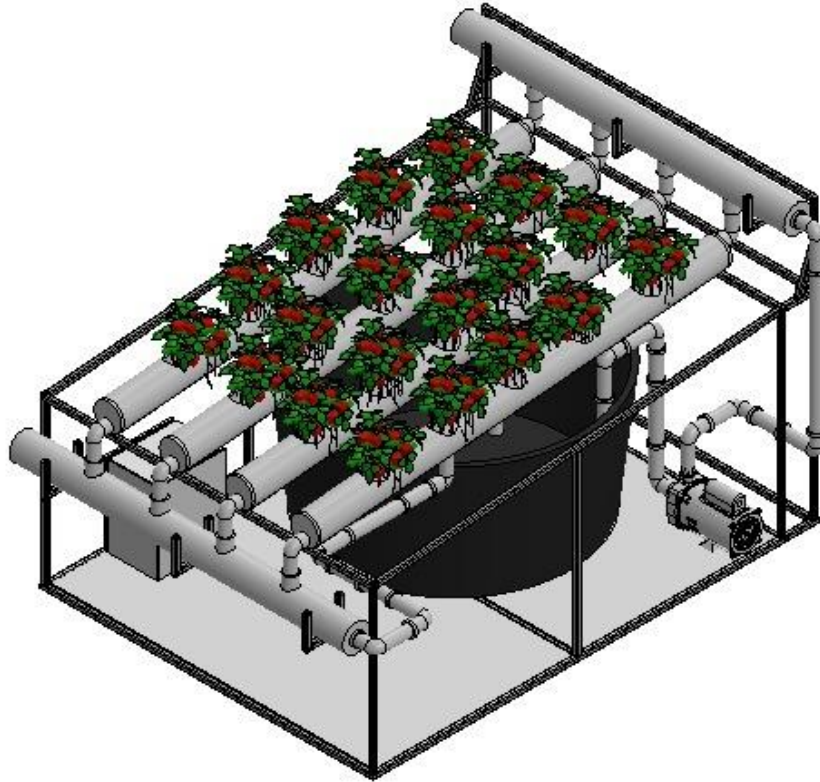
Figura 31 Plano estructura completa cultivo hidropónico



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks

Adicionalmente se observa una vista isométrica del cultivo hidropónico que simula el crecimiento completo y producción de la fresa tipo Monterrey, interpretando el monitoreo de las variables del proceso durante su crecimiento.

Figura 32 Vista isométrica cultivo hidropónico con planta de fresa



Fuente: Elaboración propia en SolidWorks



7. CONCLUSIONES

Se desarrolla una caracterización de las condiciones de producción de fresa bajo la técnica de cultivo hidropónica en Facatativá, a través de revisiones bibliográficas, artículos científicos y literaturas acerca de las mejoras que se les atribuyen a los cultivos aplicados con esta técnica. Se identifican las variables de mayor problemática en este tipo de cultivos y con la aplicación de una matriz DOFA respectiva a este tipo de cultivo para identificar las ventajas y desventajas como la aplicación sin necesidad de suelo y con la limitación de no ser apta para todas las especie de plantas, permitiendo tener la oportunidad de cultivar una mayor cantidad de plantas en un menor espacio y aunque con la amenaza de tener un cuidado estricto sobre planta de fresa, para identificar la estrategia de diseño estructural y electrónico del sistema.

En base a la revisión bibliográfica se puede evidenciar la poca tecnificación en el sector agrícola en Facatativá - Cundinamarca por la falta de inversión del estado en estos aspectos, por lo cual se observa la carencia de conocimiento de las diferentes técnicas aplicables a los cultivos de fresa por medio de la automatización, generando ventajas económicas y de calidad de fruto teniendo oportunidades en el mercado nacional.

Se logró diseñar una propuesta técnica del sistema mecatrónico semiautomatizado para un cultivo hidropónico aplicado a 20 plantas de fresas tipo Monterrey en la finca San Cayetano en el municipio de Facatativá - Cundinamarca, aplicando los conocimientos de la ingeniería mecánica y electrónica apoyado de software CAD, destacando que este diseño se realizó con materiales asequibles, además de tener un grado de inclinación idóneo para la circulación de la solución de agua y nutrientes por cada raíz de la planta. Se plantea la interacción de un sistema de monitoreo a través de una pantalla LCD que nos muestra en tiempo real las condiciones del cultivo, con el fin de aumentar la productividad libre de contaminantes, la capacidad de cultivar durante cualquier fecha del año sin afectaciones climáticas, aprovechamiento del espacio y ahorro de los recursos requeridos para el cultivo de la fresa en la finca San Cayetano.

8. RECOMENDACIONES

- En caso de que se quiera automatizar completamente el sistema sin la intervención regular de la mano humana, se recomienda implementar un sistema de control PID para monitorear la temperatura, con el propósito de evitar cambios bruscos y disminuir los costos del consumo energético.
- Se recomienda integrar algún tipo de actuador para el sistema de PH, para regular la acidez de la solución del agua y monitorear el estado actual de la misma, contando con un sistema de alerta si se encuentra bajo o alto.
- Se debe garantizar con frecuencia haya revisiones de las variables, puesto que, al ser un sistema con variables volátiles de humedad, temperatura y pH, están tienden a generar un margen de error, las cuales por programación se deben controlar y evitar errores de medición dentro del sistema.
- Para la futura implementación de este proyecto analizar las condiciones del suelo, puesto que la estructura diseñada se hizo bajo un terreno plano, por lo que al ser implementado en otra finca con un terreno que tenga un grado mayor de inclinación en sus suelos, se debe replantear el diseño.
- En caso de instalar el sistema, realizar un mantenimiento del tanque de almacenamiento de agua por lo menos dos veces al año, que cuente con una desinfección total de la tubería, debido a que se puede aposar algún tipo de microorganismo.
- Realizar mantenimientos preventivos a los actuadores electrónicos, como son los ventiladores, bombillos y bomba hidráulica, puesto que son componentes fundamentales del sistema y tienen una vida útil estandarizada.
- Capacitar a las personas que hagan uso del sistema, con la finalidad de prevenir lesiones en sí mismas y daños en el sistema por mala manipulación de los actuadores mecánicos como la bomba hidráulica.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agroproductores. (s.f.). *Agroproductores*. Obtenido de Agroproductores: <https://agroproductores.com/que-es-un-sustrato/>
- Alcaldía Municipal de Facatativá. (2018). Obtenido de Alcaldía Municipal de Facatativá: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/tema/municipio>
- Álvarez, D. E. (9 de Mayo de 2017). *Sustentabilidad del cultivo de arveja en Nariño estaría en riesgo*. Obtenido de <https://www.palmira.unal.edu.co/index.php/noticias/palmira/335-sustentabilidad-del-cultivo-de-arveja-en-narino-estaria-en-riesgo>
- Aqua Grow Colombia. (s.f.). *Aqua Grow Colombia*. Obtenido de Aqua Grow Colombia: <https://www.aquagrowcolombia.com/la-historia-de-la-hidroponia>
- ARDILA, M. (2017). *UNAD*. Obtenido de UNAD: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/14322/ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20EL%20CULTIVO%20HIDROP%C3%93NICO%20DE%20FRESA%20%28Fragaria%20x%20ananassa%20D%29%2C%20EN%20FACATATIV%C3%81%20CUNDINAMARCA..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ardila, M. d. (22 de Noviembre de 2017). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/14322>
- Autycom. (2 de Octubre de 2019). *Autycom*. Obtenido de Autycom: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>
- Barona, M. D. (2018). *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28424>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires: Universidad de La Plata.
- Blogspot. (15 de Octubre de 2017). Obtenido de Blogspot: <http://mechatronicaybiomed.blogspot.com/2017/10/relacion-entre-la-ingenieria.html>
- Buitrago, A. J., Quinayas, B. C., & Cristancho, H. N. (2020). *EVOLUCIÓN AGRÍCOLA ENFOCADA EN LA*. Sibaté: Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Cabezas, E. F., Alulema, J. C., Naranjo, H. F., Ramos, J. M., & Mariño, C. J. (Abril de 2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Polo del Conocimiento*, págs. 153-171.
- Camara de comercio de Bogotá. (2015). *Manual fresa*. Bogotá: Camara de comercio de Bogotá.
- Cañas, J. J., & Jaimes, L. M. (Enero de 2020). Automatización de la producción de Forraje Verde Hidropónico y Abono Orgánico en la Granja Cunicola Autosustentable en el



- Municipio de Mutiscua-Colombia. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, págs. 489-504.
- CAR. (2012). *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b9045459a4e5.pdf>
- Carsten, R. M. (Agosto de 2017). *AUTOMATIZACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO NFT PARA EL*. Obtenido de Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14533>
- Casbis, G. M., Torres, O. G., Rodríguez, M. A., Nava, H. S., & Taketa, A. T. (27 de Septiembre de 2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, págs. 1337-1348.
- Cauca, P. d. (s.f.). *Proyectos Suelos Cauca*. Obtenido de Proyectos Suelos Cauca: <https://proyectosueloscauca.wordpress.com/2019/01/03/el-sub-modelo-edafoclimatico/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%E2%80%9CEdafoclim%C3%A1tico%20%E2%80%9D%20se%20refiere,los%20suelos%20para%20la%20agricultura>
- Chavez, J. A. (2022). *Producción de fresa en sistemas hidropónicos bajo condiciones de invernadero*. San Luis Potosí: COLEGIO DE POSTGRADUADOS.
- Chávez, J. A., Gonzáles, A. G., Pérez, C. D., & Herrera, J. G. (7 de Diciembre de 2020). *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2460>
- CIAT. (2009). *Un imperativo de eco-eficiencia para la agricultura tropical*. Colombia. Obtenido de https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/68064/informe_anual_2009.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Cortes, P. (2011). *Prpuesta tecnica-ambiental para asegurar la inocuidad de fresas cultivadas en Cartago*. San José, Costa Rica.
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Facatativá. Obtenido de https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25269_infografia.pdf
- Domótica Integrada. (14 de Agosto de 2018). *Domótica Integrada*. Obtenido de Domótica Integrada: <https://domoticaintegrada.com/sensor-de-agua/>
- EALDE. (2 de Abril de 2020). *EALDE*. Obtenido de EALDE: <https://www.ealde.es/que-es-edt-proyectos/>
- EDS Robotics. (21 de Febrero de 2022). *EDS Robotics*. Obtenido de EDS Robotics: <https://www.edsrobotics.com/blog/tipos-sensores-mas-usados/>
- Escalante, J. A. (23 de Febrero de 2021). *IGAC*. Obtenido de IGAC: <https://igac.gov.co/es/noticias/colombia-un-pais-con-una-diversidad-de-suelos-ignorada-y-desperdiciada>



- Espinosa, S., & López, A. F. (30 de Agosto de 2021). *Areandina Fundacion Universitaria del Área Andina*. Obtenido de Areandina Fundacion Universitaria del Área Andina: <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/4126>
- Estrada, L. R. (06 de Mayo de 2020). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia : <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33791>
- FAO. (1 de Octubre de 2021). *FAO*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/ca7162es/ca7162es.pdf>
- Garcia, M. (2012). *Fundamentos de la mecatronica*. Arica: Escuela Universitaria de Ingeniería Mecánica.
- Gesto, E., Hallar, K., Gonzalez, L., Sofia, O., Birgi, J. A., Laguia, D., . . . Araujo Prado, C. (2020). *Avances en el desarrollo de un sistema de Monitoreo y Control de un Módulo de Producción de Cultivos Hidropónicos para regiones de latitudes elevadas*. Río Gallegos: SADIO.
- González, A. M., & González, D. R. (2013). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11635>
- Harrison, P. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. FAO. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm#TopOfPage>
- ICA. (s.f.). *Instituto Colombiano Agropecuario*. Obtenido de Instituto Colombiano Agropecuario: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/inocuidad#:~:text=Asegura%20que%20los%20alimentos%20de,la%20salud%20de%20los%20consumidores>.
- IDEAM. (1984). *IDEAM*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f
- IPCC. (2001). *Cambio climatico 2001*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf
- Jacto. (24 de Diciembre de 2020). *Cultivo hidropónico: ventajas y desventajas*. Obtenido de JACTO: <https://blogmx.jacto.com/cultivo-hidroponico/>
- Kalstein. (18 de Mayo de 2021). *Kalstein*. Obtenido de Kalstein: <https://kalstein.ec/que-es-un-phmetro-2/>
- Lara, G. M., Puerto, J. S., Murillo, Y. P., & Giraldo, J. C. (2016). *Fundación Universitaria Panamericana - Compensar*. Obtenido de Fundación Universitaria Panamericana - Compensar: <https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/3802>
- Leon, F. (24 de Mayo de 2021). *Dynamo electronics*. Obtenido de Dynamo electronics: <https://dynamoelectronics.com/que-son-los-sensores-y-para-que-sirven/>



- Macas, E. M. (2017). Definición y Estado del Arte de la Ingeniería Concurrente La Manufactura Integrada por Computador y la Mecatrónica. *Revista mensual de la UIDE extensión Guayaquil*, 44-60.
- MADS, M. d. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://idea.unal.edu.co/publica/docs/Degradacion_Tierras_Colombia.pdf
- MecatrónicaLATAM. (24 de Abril de 2021). *MecatrónicaLATAM*. Obtenido de MecatrónicaLATAM: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/relevador/>
- Minagricultura. (2015). *Minagricultura*. Obtenido de Minagricultura: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Pages/default.aspx>
- Minambiente. (2010). *Política Nacional para la Gestión integral del Recurso Hídrico*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- MinCiencias. (2000). *Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Obtenido de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación: <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/ley-812-2003.pdf>
- MinEducación. (9 de Octubre de 2003). *Ministerio de Educación Nacional*. Obtenido de Ministerio de Educación Nacional: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-105031_archivo_pdf.pdf
- Molina, G. S. (2001). *Historia de la Hidroponia y de la Nutrición Vegetal*. Obtenido de http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm
- Muñoz, E. M., & Navarrete, H. A. (2010). Frutas & Hortalizas. *REVISTA DE LA ASOCIACION HORTOFRUTICOLA DE COLOMBIA, ASOHOFRUCOL*, 26-28.
- Otuna, L. O. (2012). *Universidad Técnica de Babahoyo*. Obtenido de Universidad Técnica de Babahoyo: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/975>
- Pérez, A. C., Pérez, J. C., & Turizo, C. C. (18 de Octubre de 2019). *UEDAN*. Obtenido de UEDAN: <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/9713>
- Plan de transformación productiva. (2013). *Colombia Productiva*. Obtenido de Colombia Productiva: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/sectoriales/publicaciones-frutas-y-sus-derivados/plan-de-negocios-de-fresa-2013>
- Planas, O. (7 de Octubre de 2019). *Energía solar*. Obtenido de Energía solar: <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica>



- Planas, O. (8 de Octubre de 2021). *Energía solar*. Obtenido de Energía solar: <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/voltaje>
- PNUD. (2003). *HIDROPONÍA FAMILIAR*. Armenia: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (3. ed).
- Psicología y mente. (12 de Noviembre de 2019). *Psicología y mente*. Obtenido de Psicología y mente: <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-sensores>
- Quintana, J. S., Forero, B. L., & Blenkey, T. D. (2017). ANÁLISIS TEMÁTICO DE PRINCIPIOS DE AUTOMATIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS. *Boletín Semillas Ambientales*, 138-148.
- Raeburn, A. (1 de Julio de 2021). *Asana*. Obtenido de Asana: <https://asana.com/es/resources/swot-analysis>
- RETIE. (2012). *REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)*. Obtenido de REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)
- Riascos, C. J., & Osorio, M. C. (29 de Octubre de 2019). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32649/Garz%c3%b3nRiascosChanonJulieth2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Rodríguez, E., Martínez, G. L., & Delgado, J. M. (2015). *LA CRISIS DEL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO: ¿CUÁL ES LA RESPONSABILIDAD DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS?* Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-86932015000100009
- Ruiz, F. I. (22 de Marzo de 2017). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6405/1/03%20AGP%20211%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Salas, M. F. (04 de Junio de 2020). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34845>
- Sampieri, H. (2018). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- SAP Insights. (2022). *SAP*. Obtenido de SAP: <https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-iot-internet-of-things.html>
- Sela, G. (10 de Julio de 2021). *Cropaia*. Obtenido de Cropaia: <https://croipaia.com/es/blog/sistemas-hidroponicos/>
- SEMANA. (6 de Julio de 2018). *SEMANA*. Obtenido de SEMANA: <https://www.semana.com/nacion/articulo/cundinamarca->



biodiversa/574264/#:~:text=El%20departamento%20de%20Cundinamarca%2C%20anclado,20.000%20especies%20vegetales%20y%20al

- Sicard, T. L. (2015). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: https://idea.unal.edu.co/publica/docs/Degradacion_Tierras_Colombia.pdf
- Silva, G. A., Ramírez, J. C., Gómez, J. D., & Díaz, H. O. (2020). *Fundación Universitaria Panamericana - Compensar*. Obtenido de Fundación Universitaria Panamericana - Compensar: <https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/2205>
- SIOC. (30 de Marzo de 2019). *SIOC Minagricultura*. Obtenido de SIOC Minagricultura: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- SIPSA. (Enero de 2018). *DANE*. Obtenido de DANE: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_en_e_2018.pdf
- Tabares, C. H. (2003). *HIDROPONÍA FAMILIAR CULTIVO DE ESPERANZAS CON RENDIMIENTOS DE PAZ*. Armenia: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Telepacífico. (2009). *Telepacífico*. Obtenido de Telepacífico: <https://telepacifico.com/lechugashidroponicassiembra/>
- The astrology page. (2022). *Theastrologypage*. Obtenido de Theastrologypage: <https://es.theastrologypage.com/wireless-sensor-network>
- Torrente, R. G., & Mesa, J. C. (2012). *INVERNADEROS, INNOVACIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD Y EL MEDIOAMBIENTE*. Obtenido de DIALNET: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5082653>
- UDE. (s.f.). *UDE*. Obtenido de UDE: <https://ude.edu.uy/que-son-algoritmos/#:~:text=Se%20puede%20entender%20un%20algoritmo,pueden%20ver%20como%20un%20algoritmo.>
- Uniagraria. (2016). *Uniagraria*. Obtenido de Uniagraria: <https://www.uniagraria.edu.co/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-No.-1173-transicion-del-Plan-Estrategico-2016-Anexo-Plan-de-Accion.pdf>
- VidaBytes. (16 de Marzo de 2022). *VidaBytes*. Obtenido de VidaBytes: <https://vidabytes.com/cable-utp/>
- Zapata, G. O. (2018). *ElColombiano*. Obtenido de ElColombiano: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/cultivos-hidroponicos-y-acuaponicos-en-medellin-MF8887824>