



**Desarrollo de un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.**

**Juan Camilo Mejia Rojas**

Universidad El Bosque  
Facultad de ingeniería  
Programa de Bioingeniería  
Bogotá D.C., Colombia  
2023



Desarrollo de un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.

JUAN CAMILO MEJIA ROJAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Bioingeniero**

Director(a):  
MARIA EUGENIA RODRIGUEZ ACEVEDO  
Bogotá D.C., Colombia  
2023



# Agradecimientos

Agradezco primero a Dios quien me ha sostenido desde el inicio de mi carrera profesional hasta la elaboración y construcción de mi trabajo de grado, a mis padres por su gran sacrificio y apoyo durante mi etapa de formación, a cada persona que conocí en este gran camino en la Universidad el Bosque, los cuales me ayudaron y dieron ánimo para seguir adelante.

Un trabajo de grado que es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que ofrecen las personas que me estiman, sin el cual no tendría la fuerza y energía para culminar mis metas y sueños.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Pero, sobre todo, gracias a mi novia, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me ha concedido, un tiempo robado a la historia juntos. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

# Resumen

**Palabras Clave:** Hidroponía, Fresa, Producción bajo cubierta, Monitoreo.

---

El objetivo del presente proyecto es analizar en un sistema hidropónico tipo NFT bajo invernadero la primera cosecha del cultivo de fresa variedad Albión vs un cultivo tradicional a cielo abierto en suelo teniendo en cuenta la cantidad de frutos por planta, el diámetro, peso, grados brix y residualidad de pesticidas, considerando el monitoreo del pH, conductividad eléctrica, humedad relativa y temperatura.

El proyecto que se ha desarrollado, está relacionado con el área de sostenibilidad alimentaria y tecnificación de la agricultura, de esta manera se planteó el diseño e implementación de un prototipo experimental, realizado con una muestra de 40 plantas de Fresa variedad Albión, mediante la técnica hidropónica NFT, donde se utilizó como base la metodología de CDIO para el diseño de ingeniería y llevar a cabo la construcción del prototipo, el cual de acuerdo a los requerimientos establecidos fue construido con una dimensión de 5m x 5m en estructura de túnel; Por otro lado se diseñó un sistema de monitoreo para medir la temperatura y humedad relativa, el pH y la Conductividad Eléctrica, a través de la plataforma de Blynk.

Como resultados se obtuvo como valor de temperatura y humedad en un estado inicial de 28°C a 35°C, lo que incidió en la reestructuración de los canales de ventilación del prototipo de invernadero. Una vez se realizaron ajustes, se permitió obtener un promedio de 20°C y 70% de humedad relativa. Es decir, que el valor ideal de las variables para la calidad y desarrollo de la Fresa fueron los recomendados. A su vez otros factores que influyeron en el desarrollo de la planta fueron: la conductividad eléctrica y el pH, los cuales permitieron obtener frutos en promedio de 3.6 cm de diámetro, 10 grados brix, 16.6 gramos, y 0% de residualidad de productos químicos en el fruto; a diferencia del cultivo en suelo, el cual permitió obtener frutos en promedio de 2.6 cm de diámetro, 7 grados brix, 5.9 gramos, y 48% de residualidad de productos químicos en el fruto.

# Abstract

**Key words:** Hydroponics, Strawberry, Plastic Cover, Monitoring.

---

The objective of this study is to analyze in the first harvest of the strawberry crop Albion variety, the residual pesticides, quantity of fruit per plant, diameter, weight and sugar concentration of the fruit implemented in a hydroponic system type NFT under greenhouse vs. a traditional open field cultivation in soil; considering the monitoring of pH, electrical conductivity, relative humidity and temperature.

The project that has been developed is related to the area of food sustainability and agricultural tecnification, in this way the design and implementation of an experimental prototype was proposed, made with a sample of 40 seedlings of strawberry, Albion variety using the NFT hydroponic technique, where the engineering design and construction protocols were used as a basis to carry out the construction of the prototype, which according to the established requirements was built with a dimension of 5m x 5m in a tunnel structure; To measure then the variables related to the crop, temperature and relative humidity, the arduino development platform and its implementation in ESP32 microcontroller were used to analyze the data through the Blynk platform.

Temperature and humidity values were obtained at an initial state of 28°C to 35°C, which affected the restructuring of the ventilation channels of the greenhouse prototype. Once adjustments were made, it was possible to obtain an average of 20°C and 70 % relative humidity. In other words, the ideal value of the variables for the quality and development of the strawberry were those recommended. At the same time, there were other factors influencing the development of the plant such as electrical conductivity and pH, which allowed obtaining fruits with an average diameter of 3.6 cm, 10 brix degrees, 16.6 grams, and 0 % of residual chemical products in the fruit; unlike the cultivation in soil, which allowed obtaining fruits with an average diameter of 2.6 cm, 7 brix degrees, 5.9 grams, and 48 % of residual chemical products in the fruit.



# Contenido

<b>Lista de figuras</b>	<b>7</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>9</b>
<b>Introducción</b>	<b>10</b>
<b>1. Definición del Problema</b>	<b>11</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	11
<b>2. Justificación</b>	<b>14</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>16</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	16
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	16
<b>4. Marco referencial</b>	<b>17</b>
4.1. Marco Teórico . . . . .	17
4.1.1. Generalidades de la Fresa . . . . .	17
4.1.2. Descripción botánica y morfológica. . . . .	19
4.1.3. Ciclo fenológico de la fresa. . . . .	20
4.1.4. Problemas fitosanitarios de la fresa. . . . .	20
4.1.5. Manejo Fitosanitario de la Fresa. . . . .	21
4.1.6. Invernadero. . . . .	22
4.1.7. Hidroponía . . . . .	23
4.1.7.1. Técnicas de cultivo hidropónico . . . . .	23
4.1.8. Solución Nutritiva . . . . .	25
4.1.9. Ventajas y desventajas . . . . .	25
4.1.10. Tecnificación en la hidroponía . . . . .	26
4.1.11. Variables asociadas . . . . .	26
4.1.11.1. Temperatura . . . . .	26
4.1.11.2. Humedad relativa . . . . .	27
4.1.11.3. Conductividad eléctrica . . . . .	27
4.1.11.4. pH . . . . .	27
4.2. Antecedentes . . . . .	27
4.3. Marco Geográfico . . . . .	28

4.4. Marco Normativo . . . . .	30
<b>5. Metodología</b>	<b>31</b>
5.1. Levantamiento de Requerimientos . . . . .	31
5.1.1. Requerimientos técnicos . . . . .	31
5.1.2. Requerimientos Funcionales (disposiciones que especifican cómo debe funcionar y qué va a hacer el proyecto) . . . . .	31
5.1.3. Requerimientos de Calidad (disposiciones que garantizan la calidad y reproducibilidad de los requerimientos funcionales) . . . . .	32
5.1.4. Requerimientos de Restricción (límites del proyecto y qué no va a hacer)	33
5.2. Metodología General . . . . .	34
5.2.1. Metodología Objetivo Específico 1 . . . . .	35
5.2.2. Metodología Objetivo específico 2 . . . . .	37
5.2.3. Metodología Objetivo específico 3 . . . . .	39
5.2.4. Metodología Objetivo específico 4 . . . . .	42
<b>6. Desarrollo</b>	<b>43</b>
6.1. Etapa de diseño . . . . .	43
6.1.1. Diagnóstico y evaluación inicial. . . . .	43
6.1.2. Caracterización del area de trabajo. . . . .	43
6.1.3. Diseño global del sistema . . . . .	44
6.1.4. Diseño detallado del sistema Objetivo específico 1 . . . . .	45
6.1.5. Diseño detallado del sistema Objetivo específico 2 . . . . .	56
6.2. Implementación objetivo específico 3 . . . . .	66
6.3. Desarrollo Objetivo Específico 4. . . . .	80
<b>7. Discusión</b>	<b>83</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>86</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>88</b>
<b>A. Anexos:</b>	<b>89</b>
A.1. Estado del Arte . . . . .	89
A.2. Planos prototipo de Invernadero. . . . .	91
A.3. Planos sistema NFT. . . . .	92
A.4. Tabla de resultados cultivo NFT. . . . .	93
A.5. Tabla de resultados cultivo en suelo. . . . .	95
<b>Bibliografía</b>	<b>98</b>
<b>B. Bibliografía</b>	<b>98</b>

# Lista de Figuras

- 1-1. Árbol del problema. . . . . 13
- 4-1. Estructura morfológica general de la fresa. . . . . 19
- 4-2. Ciclo fenológico de la fresa. . . . . 20
- 4-3. Invernadero tipo túnel. . . . . 23
- 4-4. Técnica Nutrient Film Technique . . . . . 24
- 4-5. Ubicación de la finca La Esmeralda . . . . . 28
- 4-6. Delimitación Turmequé. . . . . 29
- 5-1. Diagrama de flujo metodología General. . . . . 34
- 5-2. Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 1. . . . . 36
- 5-3. Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 1. . . . . 38
- 5-4. Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 3 . . . . . 40
- 5-5. Diagrama de flujo de la metodología de siembra . . . . . 41
- 5-6. Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 4 . . . . . 42
- 6-1. Zona de construcción. . . . . 43
- 6-2. Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto . . . . . 44
- 6-3. Diagrama de Caja blanca del sistema. . . . . 45
- 6-4. Orientación recomendada para invernaderos . . . . . 45
- 6-5. Rosa de los vientos ubicación del prototipo de invernadero. . . . . 46
- 6-6. Boceto Paramétrico del prototipo de invernadero. Vista Frontal. . . . . 48
- 6-7. Boceto Paramétrico del prototipo de invernadero. Vista Isométrica. . . . . 49
- 6-8. Esquema del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa. . . . . 53
- 6-9. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa. . . . . 54
- 6-10. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa. 55
- 6-11. Ubicación de los sensores de Humedad y temperatura. . . . . 56
- 6-12. Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Frontal Escala 1:20 (mm). . . . . 58
- 6-13. Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Isométrica Escala 1:20 (mm). . . . . 58
- 6-14. Plano sistema de riego cultivo NFT. . . . . 61

---

<b>6-15.</b> Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Isométrica Escala 1:20 (mm). . . . .	63
<b>6-16.</b> Esquema del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica. . . . .	64
<b>6-17.</b> Diagrama de bloques del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica. . . . .	65
<b>6-18.</b> Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica. . . . .	65
<b>6-19.</b> Implementación prototipo de invernadero. . . . .	67
<b>6-20.</b> Implementación del sistema NFT. . . . .	68
<b>6-21.</b> Implementación circuital del equipo de monitoreo. . . . .	69
<b>6-22.</b> Interfaz de monitoreo . . . . .	70
<b>6-23.</b> Proceso de siembra . . . . .	71
<b>6-24.</b> Conductividad en tanque . . . . .	72
<b>6-25.</b> Etapa Vegetativa plantas NFT. . . . .	73
<b>6-26.</b> Etapa Vegetativa plantas suelo. . . . .	73
<b>6-27.</b> Desarrollo botón floral . . . . .	74
<b>6-28.</b> Desarrollo botón floral . . . . .	75
<b>6-29.</b> Planta seca . . . . .	76
<b>6-30.</b> Desarrollo cuajado del fruto con raíz sana. . . . .	77
<b>6-31.</b> Llenado y Maduración del fruto . . . . .	78
<b>6-32.</b> Afectación por pudrición en fruto . . . . .	79
<b>6-33.</b> Unidad productiva . . . . .	79
<b>6-34.</b> Resultados promedio Cultivo en suelo VS cultivo NFT. . . . .	81
<b>A-1.</b> Planos prototipo de invernadero. . . . .	91
<b>A-2.</b> Planos sistema NFT. . . . .	92

# Lista de Tablas

- 4-1. Composición Nutricional de la Fresa, variables de interés. . . . . 17
- 4-2. Variedades de la fresa. . . . . 18
- 4-3. Principales problemas fitosanitarios de la fresa según el órgano de daño. . . . . 21
- 4-4. Enfermedades que afectan el cultivo de la fresa. . . . . 21
- 4-5. Características Agroclimáticas bajo invernadero. . . . . 22
- 4-6. Tabla de requerimientos nutricionales para el cultivo de la fresa. . . . . 25
- 4-7. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico NFT. . . . . 26
  
- 6-1. Matriz decisión selección de tipo invernadero . . . . . 47
- 6-2. Matriz decisión selección de tipo invernadero puntuación final . . . . . 48
- 6-3. Matriz selección de material de estructura para prototipo de invernadero . . . . . 49
- 6-4. Puntuación matriz selección de material de prototipo de invernadero. . . . . 50
- 6-5. Características del material de cubierta. . . . . 51
- 6-6. Características de sensores. . . . . 51
- 6-7. Características de microcontroladores. . . . . 52
- 6-8. Ponderación de las características de los microcontroladores. . . . . 52
- 6-9. Características de opciones de geometría del prototipo de cultivo hidropónico NFT. . . . . 57
- 6-10. Características de los sensores de pH comerciales. . . . . 62
- 6-11. Características de los sensores de Conductividad eléctrica comerciales. . . . . 63
- 6-12. Tabla de resultados promedio cultivo NFT. . . . . 80
- 6-13. Tabla de resultados promedio cultivo en suelo. . . . . 80
- 6-14. Tabla de resultados promedio variables Físicas y Químicas del prototipo de invernadero. . . . . 81
- 6-15. Productos de síntesis química utilizados por el agricultor en el cultivo tradicional de fresa. Fuente: Elaboración propia. . . . . 82
- 6-16. Productos de síntesis química utilizados por el agricultor en el cultivo tradicional de fresa. Fuente: Elaboración propia. . . . . 82
- 6-17. Resultados del promedio de medición de temperatura y humedad relativa. . . . . 82
  
- A-1. Tabla de resultados Cultivo NFT. . . . . 93
- A-2. Tabla de resultados cultivo en suelo. . . . . 95

# Introducción

La hidroponía es una técnica para cultivar, principalmente mediante soluciones minerales, diferentes plantas en vez de utilizar suelo o tierra. En su mayoría, estos tipos de cultivos se realizan dentro de una cubierta plástica o invernadero para controlar o manipular variables de temperatura, humedad relativa, entre otras, lo cual facilita el cultivar alimentos en lugares que tienen limitaciones de suelo, agua, espacio y que las condiciones ambientales como las que se dan en la finca la esmeralda en Turmequé, Boyacá no permiten un adecuado desarrollo de diferentes especies como lo es el caso de la Fresa (Albuja, 2021).

En Turmequé, Boyacá, la producción de Fresa se ha visto influenciada por el uso de productos de síntesis química para el control de plagas, enfermedades y fortalecimiento vegetal, así como el uso inadecuado del recurso hídrico, lo que ha desencadenado mayor desgaste de los suelos, producción de frutos con residuos químicos y de mayor desperdicio del agua. Teniendo en cuenta esto, para evitar dicha situación, se tiene en cuenta las principales ventajas de los cultivos hidropónicos, dentro de las cuales se puede destacar, la posibilidad de alejarse de suelos ya sean desgastados o afectados por plagas y enfermedades, al utilizar canales de siembra elevados, brindar frutos de mejor calidad, libre de pesticidas y herbicidas de síntesis química, por lo tanto el pequeño y mediano productor puede aprovechar esta tecnología de producción para mejorar la producción y así el ingreso económico de sus familias.

De esta manera, este trabajo de grado busca comparar la producción en términos de cantidad de frutos, dulzura, tamaño y cantidad de residualidad de productos químicos de fresa a primera cosecha, dispuestos en un sistema NFT bajo un prototipo de invernadero y en el cultivo de suelo tradicional, teniendo el monitoreo de la temperatura y humedad relativa necesaria para el desarrollo del cultivo, la conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva, la cual permite dar los nutrientes necesarios para la planta de manera más precisa para así obtener una mejor calidad de fruto en menor tiempo y con mayor densidad de siembra por metro cuadrado.

# 1. Definición del Problema

## 1.1. Planteamiento del problema

Colombia es el tercer país latinoamericano con mayor área sembrada en cultivos frutales, dentro de los cuales se destaca la Fresa, y sus diferentes variedades como Camarrosa, Albión, Camino Real y Monterrey, con una producción continua todo el año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Desde el 2014, el área sembrada en Fresa tuvo un incremento del 65 % alcanzando para el 2020 alrededor de 2.638 hectáreas, donde en primer lugar de producción se ubica el departamento de Cundinamarca representando el 73 %, seguido de Antioquia 12 %, Norte de Santander 6 % y Boyacá con un 4 %, el cuál ha aumentado su producción al igual que el Cauca (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). La variedad de Fresa cultivada en mayor extensión es la variedad Albión debido a su adaptabilidad a alturas entre 2500 a 2800 msnm (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015), además de ser un producto rentable, con un rendimiento estimado de 65 toneladas por hectárea y una utilidad cercana a los 50 millones de pesos (Instituto Colombiano Agropecuario, 2020).

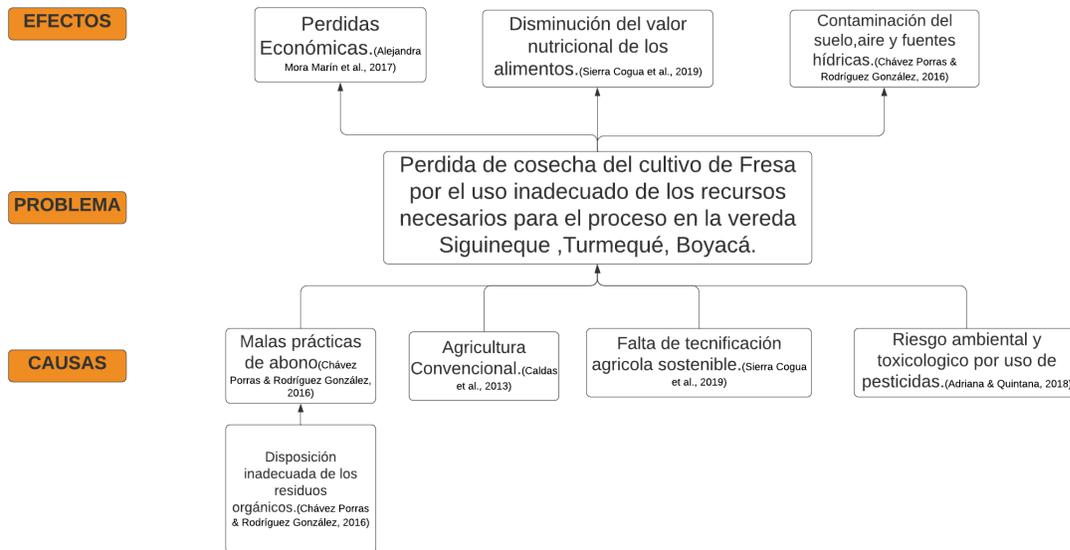
En el municipio de Turmequé se destaca la agricultura como actividad económica principal, predominando los cultivos de papa, haba, frijol, arveja, y frutas como curuba, feijoa, mora, fresa, pera y manzana (ASIS,2020). La mayoría de estos cultivos usa métodos convencionales de producción (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015), donde la mayor parte de la agricultura es familiar, pues la unidad de producción proviene de pequeños productores, y del intercambio de productos con otras familias (Lucco, 2019). Desde el punto de vista biológico, el suelo puede presentar peligrosidad para el cultivo por la presencia de hongos patógenos, nematodos parásitos, ácaros, insectos y malas hierbas, como lo son *Verticillium sp*, *Fusarium sp*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* y *Phytophthora cinnamomi*. En la finca La Esmeralda, no se conoce por un estudio técnico de suelos, la presencia de estos organismos, sin embargo, por costumbre y tradición se realiza la desinfección del suelo antes de la plantación del fresal con Metham Sodio, sustancia que está clasificada según su nivel de toxicidad H410, muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos, lo que por varias prácticas del cultivo predispone el terreno a bajas tasas de respiración y retención de agua, disminuyendo la fertilidad natural y la disponibilidad de nutrientes del suelo (Bolívar et al, 2021). Asimismo, la labor de fertilización y el suministro de riego, están basadas en el tradicionalismo a través del tiempo y la experiencia propia, sin un criterio técnico y generalmente desconociendo los requerimientos en nutrientes como el aporte hídrico (García

Morillo, 2015), lo que conlleva a desperdicio del recurso hídrico, deficiencias nutricionales y pérdidas de cosechas (Gonzalez,2019).

Debido a que la fresa es una planta herbácea, el fruto generalmente queda en contacto con el suelo, expuesto a variadas afectaciones como el ataque de diferentes insectos plaga (López Jarrín, 2021), puntualmente en la finca La Esmeralda ubicada en Turmequé, Boyacá, se carece de técnicas como el uso de plásticos acolchados agrícolas para evitar el contacto directo del fruto con el suelo. La mayor parte de los insectos plaga se presentan en el follaje y/o frutos, como la araña roja (*Tetranychus sp*), ácaro blanco (*Steneotarsonemus pallidus*) y mosca de la fruta (*Anastrepha sp*) por lo que la demanda de productos insecticidas es bastante alta (Castellanos et al, 2020). La mayoría de estos son categoría I, Tóxicos y II ,Nocivos, cuyos ingredientes activos son principalmente organofosforados, clorpirifos y metamidofos, con mayor número de residuos resultantes (V. et al., 2019) retenidos en el fruto, follaje y suelo. Igualmente, es susceptible a enfermedades causadas por hongos, algunos edáficos como los Oomycetes causando pudrición de la corona(*Phytophthora spp*), podredumbre roja(*Colletotrichum falcatum*) y en algunos casos patógenos aéreos causan antracnosis(*Colletotrichum acutatum*)(Castellanos et al, 2020). Estos patógenos son manejados mediante estrategias de control con fungicidas químicos (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015) práctica que ha ido incrementando debido a la demanda de alimentos (Majeed, 2018).

Estudios relacionados han demostrado que los productos químicos al no ser selectivos, afectan al entorno vivo, contribuyen a la contaminación del medio ambiente como aire, agua y suelo, y representan un potencial factor de riesgo para la salud humana (Adriana et. al, 2018). Y a su vez representa una pérdida de cosecha aproximada entre el 30 al 50 % durante la producción (Leyton et. al, 2021). Debido a lo anteriormente mencionado, el cultivo de fresa de la forma tradicional como se ha venido desarrollando en la finca La Esmeralda en la vereda Signeque, Turmequé, Boyacá, como se relaciona en la figura 1, representa una afectación en la disminución del valor nutricional de la Fresa, desperdicio del recurso hídrico, pérdidas de cosecha y deterioro del suelo por vertimiento de productos de síntesis química al suelo.

Figura 1-1.: Árbol del problema.



## 2. Justificación

El cultivo de fresa permite una producción continua a lo largo del año gracias a sus características (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019) (FINAGRO,2021), el cual durante 6 años desde el 2015 ha incrementado el área sembrada en un 59 % a nivel nacional y en Boyacá un 95 % (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021), presentando para el año 2020 un área de 2.638 hectáreas sembradas, de las cuales se cosecharon 2.165 representando una producción de 86.534 toneladas; lo que se convierte en una oportunidad agrícola para los pequeños, medianos y grandes productores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Ante la problemática mencionada anteriormente, el cultivo tradicional de fresa en la finca La Esmeralda, ha traído consigo afectaciones al cultivo de fresa reduciendo la posibilidad de obtener un producto de calidad (Pallanco et al, 2019). Asimismo, representa un potencial factor de riesgo para la salud humana al consumir el fruto y al momento de la aplicación de productos de síntesis química sin contemplar medidas de bioseguridad (Adriana et.al, 2018). Al estar clasificados dentro de los grupos de sustancias involucradas en intoxicaciones, algunos estudios relacionados evidencian residuos de clorpirifos y metamidofos en el producto superando 270 y 230 veces los límites máximos de residuos según los valores establecidos por el Codex Alimentarius en el plano Cundiboyacense (Benítez. et al,2015). Algunos de los componentes representan una incidencia mayor en grupos de edad de los 0 a 5 años, 12 a 18 y 19 a 26 años (Instituto Nacional de Salud, 2020), aumentando el índice de intoxicaciones por consumo de alimentos contaminados por pesticidas. Asimismo, algunos estudios relacionados con residuos de plaguicidas en agua y suelos en la zona como el realizado por (Camacho, 2018) muestran concentraciones de glifosato, mancozeb y paraquat, en las aguas entre 0,202 - 2,510 mg/L, las cuales no cumplen la resolución 631 de 2015, esto asociado a que los altos niveles que presentan los recursos son un riesgo para la salud de los agricultores (Camacho, 2018).

Como alternativa al cultivo tradicional de fresa, se propone mediante la técnica de hidroponía evitar factores externos asociados al cultivo de fresa en la finca la Esmeralda, en turmequé, Boyacá, como las condiciones del suelo contaminado con insectos plagas, enfermedades, así como factores climáticos de la zona, y a la vez, permite una mejor gestión en el aporte hídrico como de nutrientes(Peña, 2020), suministrando elementos esenciales requeridos para el crecimiento de la planta, así como la dosis específica de acuerdo a las necesidades de la

planta (Peña, 2020) (Alipio et al., 2019). De igual forma, facilita la recolección de la cosecha, y a la vez, se logra obtener frutos de mayor diámetro y mayor concentración en grados Brix como se menciona en los estudios realizados por (Guerrero, 2020) y (Huacon, 2020) en los cuales obtienen frutos con un promedio de 10,92 grados brix y 4 cm de diámetro y ahorro en un 66 % del recurso hídrico debido a la recirculación periódica de la solución nutritiva. Sin embargo, al ser un cultivo altamente sensible a la salinidad es necesario monitorear constantemente la conductividad eléctrica y el pH de la solución la cual se suministra periódicamente (Albuja et al., 2021). Por lo cual el monitoreo de estas variables en los cultivos hidropónicos conduce a la obtención de más y mejores cosechas, lo que se traduce en mayores ingresos para los productores (Beltrano et.al, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente propuesta orientada hacia el área misional de sostenibilidad alimentaria, y en línea con el objetivo de desarrollo sostenible número 12 el cual busca garantizar herramientas para un consumo y producción sostenible, permite como Bioingeniero, aportar alternativas de tecnificación que den acceso a realizar el cultivo de fresa de una manera más sostenible. Por lo cual se propone el desarrollo de un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria Ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.

## 3. Objetivos

### 3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*) en cultivo hidropónico tipo NFT con monitoreo de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.

### 3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo de invernadero con monitoreo de variables físicas (temperatura y humedad relativa) para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*) en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.
- Diseñar un prototipo de cultivo hidropónico NFT con monitoreo de variables químicas (pH y conductividad eléctrica) para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*).
- Implementar de manera integrada el prototipo de cultivo hidropónico NFT y el prototipo invernadero para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*) con monitoreo de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica.
- Evaluar la producción de fresa a primera cosecha del cultivo tradicional vs el cultivo hidropónico, en función de las variables: Cantidad y peso de frutos por planta, diámetro y grados brix de frutos y residualidad de productos químicos.

## 4. Marco referencial

El marco referencial del presente documento está constituido por cinco subsecciones, dentro de las cuales se encuentran: los fundamentos teóricos y conceptuales que involucran el desarrollo de un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá, además, de las normativas colombianas tenidas en cuenta.

### 4.1. Marco Teórico

En busca de desarrollar el presente proyecto se hace necesario reconocer las características del sistema biológico con el que se desea trabajar, en este caso, la fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión, reconociendo y estudiando sus generalidades, requerimientos de cultivo, la hidroponía como técnica de producción, y el desarrollo del sistema de monitoreo.

#### 4.1.1. Generalidades de la Fresa

La fresa es una planta perenne, herbácea, conocida con el mismo nombre de su fruto, fresa o frutilla por su delicado sabor y rico contenido en vitaminas, que contienen pigmentos llamados antocianinas que les da el color rojo característico (Miller et al., 2019). A su vez se adapta fácilmente a los distintos pisos térmicos, sin embargo, su desarrollo óptimo se da entre los 1800 y los 3300 msnm (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

Su sabor característico se debe al balance de azúcares y ácidos en diferentes concentraciones dependiendo de la variedad, su fruto se puede presentar de distintas formas generalmente cónico y alargado (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015). Respecto a su composición nutricional es un alimento con un alto porcentaje de agua y vitamina C como se muestra en la tabla 4-1 (TCAC, 2018).

Tabla 4-1.: Composición Nutricional de la Fresa, variables de interés.

Fuente	Tipo	Humedad (mL)	Kcal	Fibra dietaria	Vitamina C (mg)	Parte comestible (%)
TCAC 2018	Fresa	89.9	45	2.0	67	95
USDA	Fresa	91.1	35	1.8	56	No reporta

Fuente: Adaptada de (TCAC, 2018)(USDA,2019).

Existen diferentes variedades de fresa como las que se registran en la tabla 4-2, cuya clasificación se da en grupos según las horas de luz; y de manera particular en base al calendario agrológico de Corabastos en Colombia este periodo aumenta de Diciembre a Junio y disminuye de Julio a Noviembre (Corabastos, 2022).

**Tabla 4-2.:** Variedades de la fresa.

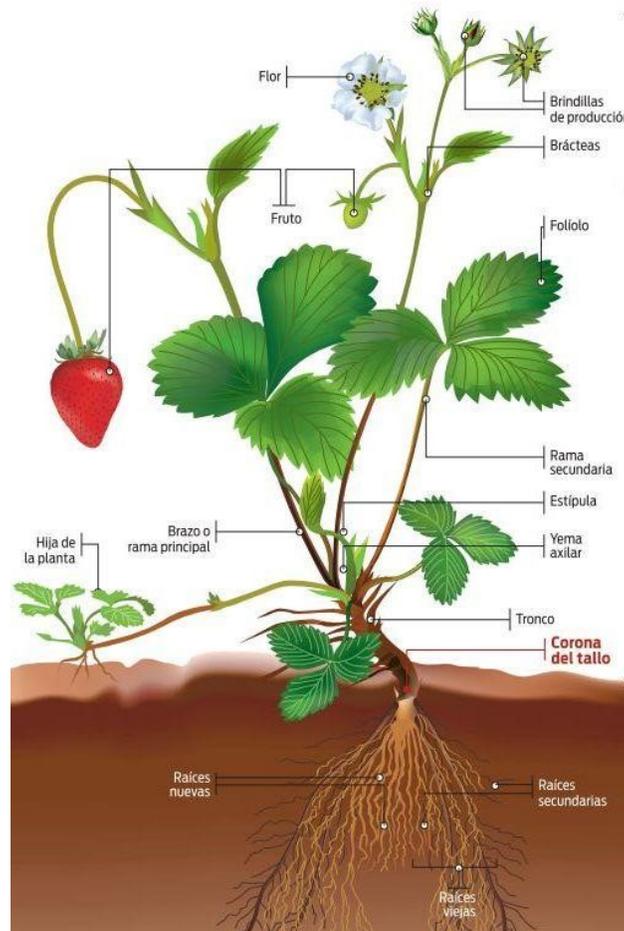
VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS
Camarosa	Se caracteriza por su alta productividad y fácil adaptación a los diferentes climas, mundialmente es la más cultivada, representando el 60 % de la producción, sin embargo, es una variedad que es susceptible a Antracnosis.
Ventana	La variedad Ventana, es una de las variedades clasificadas dentro del grupo de día corto, mayormente cultivada sobre zonas frías a los 2800 msnm. Se caracteriza por tener una consistencia mayor que la Camarosa con una excelente polinización, sin embargo, aunque es resistente a ácaros es muy sensible a enfermedades del suelo.
Camino Real	Se caracteriza por ser una variedad de día corto, cuya planta es pequeña y compacta, sin embargo su manejo es más exigente debido a la susceptibilidad a problemas fitosanitarios, más propiamente hongos, que aunque es resistente a Phytophthora, Verticillium y Antracnosis, se ve muy comúnmente afectada por Botrytis sp.
Palomar	Se caracteriza por ser la variedad de mayor calidad organoléptica del mercado, con la ventaja de que al ser de menor tamaño permite que se dispongan mayor número de plantas por hectárea.
Albión	La variedad Albión ( <i>Fragaria ananassa</i> ), es una fruta resultante de la combinación entre la variedad <i>Fragaria Virginiana</i> de Estados Unidos y <i>Fragaria Chiloensis</i> de Chile, ambas pertenecientes a la familia Rosaceae que se caracteriza por tener propiedades organolépticas de gran calidad, tanto en sabor como firmeza, destacándose por su adaptabilidad a zonas entre los 2500 a 2800 msnm además de ser resistente a Phytophthora, Verticillium y Antracnosis.
Monterrey	La variedad Monterrey, es una variedad de día neutro moderado que se caracteriza por ser la más dulce respecto a las demás variedades debido a su falta de acidez, resalta su rigurosidad respecto a la variedad Albión siendo especialmente llamativo para el mercado Asiático.

**Fuente:** (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015)

### 4.1.2. Descripción botánica y morfológica.

La fresa se caracteriza por tener un sistema radical fascicular, el cual consiste en raíces ramificadas (raicillas) las cuales se desarrollan en el suelo a poca profundidad, la longitud máxima es aproximadamente de 30 cm a 40 cm, sus raíces son de color café, el tallo es corto y aéreo, constituido por un eje central llamado corona, de allí radican las flores y el péndulo de las hojas con numerosas escamas, las hojas son pinadas, trifoliales y se caracterizan por tener una forma ovalar con un color verde oscuro y de aproximadamente 300 estomas como se muestra en la figura 4-1 para satisfacer la intensa transpiración requerida (González, 2017) (Gómez, 2006). En las axilas se forman unas primeras yemas vegetativas denominadas estolones, parte que da origen a nuevas plantas, y las segundas dan origen a estolones sin flor que producen el fruto (Ángulo, 2009), el cual es un agregado proveniente de una sola flor formada por aquenios monocárpicos, indehisciente seco y de una sola semilla (Gigante, 2010). Predomina su forma cónica o en diamante, sin embargo, está sujeto a diferentes factores climáticos y controles fitosanitarios (Villegas Orozco, 2017).

**Figura 4-1.:** Estructura morfológica general de la fresa.

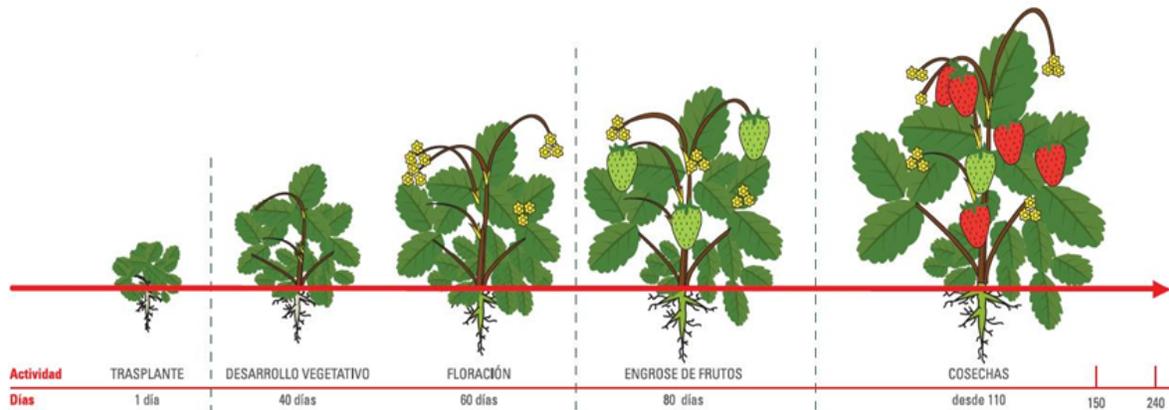


**Nota:** Tomado del Manual de producción de Fresa (Bolda et al., 2015).

### 4.1.3. Ciclo fenológico de la fresa.

El ciclo fenológico de la fresa desde su trasplante comprende un periodo de tiempo aproximado de 120 días, y su siembra se puede dar en cualquier época del año, sin embargo, se ha recomendado que se haga al inicio del periodo de lluvias (Cortés 2011), esto con el objetivo de que la cosecha se dé en época de verano (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015), comienza con el trasplante cuando tiene una edad aproximada de 3 meses, al cabo de 40 días culmina su etapa de desarrollo vegetativo para dar inicio a la floración, alrededor de los 80 días inicia el proceso de cuajado del fruto para finalmente entrar en su etapa de cosecha como se muestra en la figura 4-2 (Cámara de Comercio de Bogotá).

Figura 4-2.: Ciclo fenológico de la fresa.



Nota: Tomado de AGRIPAC (2010).

### 4.1.4. Problemas fitosanitarios de la fresa.

Los principales problemas fitosanitarios de la fresa están relacionados con afectaciones que se dan tanto en la raíz, follaje y frutos. Estas condiciones son conocidas principalmente por su nombre común como se muestra en la tabla 4-3 y enfermedades que se pueden encontrar en la tabla 4-4.

**Tabla 4-3.:** Principales problemas fitosanitarios de la fresa según el órgano de daño.

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>

**Nota:** Adaptado del manual de la fresa (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015).

**Tabla 4-4.:** Enfermedades que afectan el cultivo 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>

**Nota:** Adaptado del manual de la fresa (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015).

Estas afectaciones se evidencian en el follaje, mediante un marchitamiento de las hojas o por una coloración rojiza o café; en presencia de araña roja, esta genera una capa sobre las hojas impidiendo que capten radiación solar por lo que la planta se marchita rápidamente, aunque su daño es más severo durante la época seca, tornando la hoja de un color bronceado y evitando el crecimiento de la planta, incluso en épocas de lluvia. De igual manera podemos encontrar *Phytophthora fragariae*, la cual causa una pudrición y es conocida como estela roja, que produce enanismo de la planta en los casos severos. En las hojas jóvenes aparece una coloración verde azulada y en las hojas viejas roja, naranja o amarilla (ICA,2020).

#### 4.1.5. Manejo Fitosanitario de la Fresa.

El manejo fitosanitario entorno al Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) de la fresa, inicia con el seguimiento y estimación de riesgo para el cultivo, a partir del cual se plantean las medidas de prevención y/o labores culturales cuyo objetivo es vigilar y mantener limpio el perímetro de malas hierbas y optimizar la disponibilidad y uso del nitrógeno; para esto es necesario establecer un umbral o momento de intervención en el cultivo para así proveer un producto ya sea de origen biológico o químico para prevención o control anticipándose a los incrementos críticos mediante el uso de pesticidas o plaguicidas (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015).

La mayor parte de las afectaciones son insectos, que se presentan en el follaje y/o frutos, cuyo manejo depende de la especie; los cuales generalmente son tratados mediante el uso de rociadores en aspersión de pesticidas químicos, que si no se aplican de forma correcta, se puede convertir en un gran problema (Camacho, 2018).

Por esta razón se han planteado diferentes medidas y estrategias en el manejo fitosanitario de la fresa, dentro de las cuales se permite el uso de productos fitosanitarios autorizados por el ministerio de agricultura con su debido registro ICA, la aplicación de insecticidas selectivos y no resurgentes de ácaros en otras plagas, dar prioridad a insecticidas respetuosos con la fauna auxiliar y alternar las materias activas con distinto modo de acción para evitar las resistencias. Asimismo, se ha recomendado utilizar material vegetal sano, eliminar restos de cosecha infectada, ventilar adecuadamente túneles y manejar una densidad de siembra adecuada, evitar que la fruta se moje y principalmente extremar la limpieza de la parcela, favoreciendo la ventilación de la planta, podas, manejo correcto de plásticos o acolchados y la fertilización (Ministerio de agricultura, 2019).

#### 4.1.6. Invernadero.

Un invernadero es un sitio cubierto de plástico o vidrio cuyo principal objetivo es mantener condiciones climáticas monitoreadas que permitan a las plantas satisfacer sus necesidades fisiológicas a partir de características como agua, humedad relativa y temperatura, así como se muestra en la tabla 4-5 (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015). Su cubierta funciona como filtro y protección, permitiendo el crecimiento y desarrollo de diferentes plantas como hortalizas y frutas a lo largo del año sin importar las condiciones climáticas del exterior. (ASTHOR, 2022).

**Tabla 4-5.:** Características Agroclimáticas bajo invernadero.

Característica	Descripción
<b>Agua</b>	Medios donde se encuentran disueltos los nutrientes de la planta.
<b>Humedad Relativa</b>	Propicia el control de temperatura.
<b>Temperatura</b>	Incide en el desarrollo de la planta en cada una de sus etapas.
<b>Ventilación</b>	Renovación de aire para disminuir la temperatura interna del invernadero.

**Nota:** Adaptado del manual de la fresa (Cámara De Comercio De Bogotá, 2015).

Existen diferentes tipos de invernadero, los cuales a partir de sus características estructurales, construcción y condiciones climáticas de la zona, permiten tener una mejor distribución de los sistemas de riego, monitoreo y control de la humedad relativa y temperatura, asimismo la ventilación dentro del invernadero; Estas condiciones están relacionadas con establecer los requerimientos específicos para ciertos tipos de cultivo, en búsqueda de obtener un mayor

rendimiento y como tal un resultado mayor de producción, por lo que el costo de implementación varía. Puntualmente para fresa, los invernaderos que se han implementado en Colombia y el mundo, principalmente han sido bajo estructuras tipo túnel.

- Invernadero tipo túnel: Este se caracteriza por asemejar su estructura a un túnel, como se muestra en la figura 4-3 permitiendo la capacidad de monitorear y controlar los factores climáticos, asimismo, es altamente resistente al viento y una distribución de luminosidad buena en el interior, así como la facilidad de permitir la adecuación de entradas de ventilación (Contreras, 2018).

**Figura 4-3.:** Invernadero tipo túnel.



**Nota:** Tomado de Invernaderos (Asthor, 2022).

### 4.1.7. Hidroponía

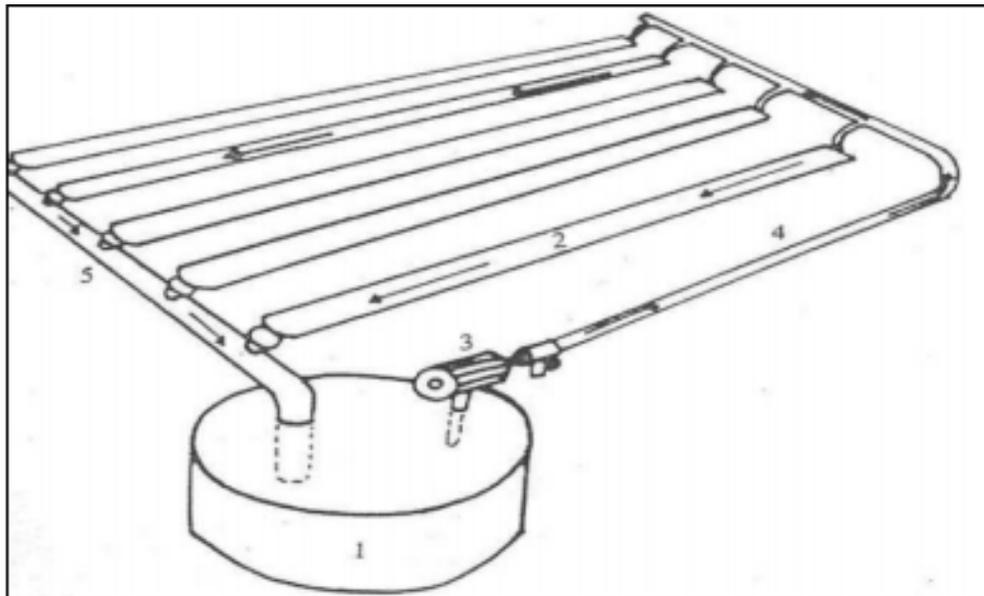
Al referirnos al término hidroponía, nos referimos a cultivos sin suelo, en la que la raíz griega de la palabra hidroponía significa “trabajos en agua”, de manera que se encuentran aislados del suelo para cultivar diversos tipos de plantas en la cual se le suministran los requerimientos nutricionales para su adecuado crecimiento por medio de una solución nutritiva o por agua (Bravo, 2015). Actualmente la producción de fresa mediante las técnicas de hidroponía permite producir fruta libre de patógeno (Zaragoza, 2013).

#### 4.1.7.1. Técnicas de cultivo hidropónico

Dentro de la hidroponía se encuentran sistemas abiertos o cerrados, en cada caso su principio fundamental se basa en utilizar el agua como medio para el aporte de nutrientes y acorde

a los requerimientos de la planta que se esté cultivando; Dentro de los sistemas cerrados, la técnica Nutrient Film Technique (NFT), se basa en recircular continua o periódicamente a través de un tubo una solución nutritiva, donde las raíces se encuentran en contacto con la solución permitiendo la absorción de nutrientes sin estancamientos como se muestra en la figura 4-4 (Zaragoza, 2013).

**Figura 4-4.:** Técnica Nutrient Film Technique



**Nota:** 1. Estanque colector; 2. canales de cultivo; 3. Bomba; 4. Red de distribución; 5. Tubería colectora-Técnica de hidroponía tipo NFT. Tomado de (Zaragoza, 2013).

Esta técnica fue desarrollada en la década de los 60 por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra, la cual ha ido evolucionando al pasar de los años, en la que la distribución de canales dependen del diseño y son construidos en PVC, polietileno y/o poliuretano, en cada canal, existen agujeros en los cuales se disponen las plantas usando canastillas especiales ya sea en caucho o en plástico como medio de sostén, y en algunos casos se utiliza algún sustrato como fibra de coco, fomi agrícola, entre otros para aportarle mayor retención de agua a la planta (Alipio et al., 2019). Estos canales pueden o no tener una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución nutritiva por los canales de cultivo; La solución nutritiva es recolectada y almacenada en un recipiente ya sea en un tanque o balde y por medio de una bomba, permite la circulación de la solución por medio de los canales de cultivo. Esta recirculación mantiene las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, lo que favorece la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas. Como los nutrientes se encuentran fácilmente disponibles para la planta, el gasto de energía es mínimo, de esta manera la planta gasta menos energía en otros procesos metabólicos (Zaragoza, 2013).

### 4.1.8. Solución Nutritiva

Es un medio líquido en el cual se ponen en contacto las raíces otorgando al cultivo hidropónico los nutrientes necesarios para el desarrollo normal de la planta. Ya que de esto dependerá el rendimiento del cultivo en este sistema, el mal manejo, una solución inadecuada, afecta directamente en la producción del cultivo. Acorde a los requerimientos nutricionales para cada planta, la solución nutritiva dependerá para cada una de ellas (Solis,2016).

Para llevar a cabo un desarrollo vegetativo y productivo en los cultivos debe encontrarse: Nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg) entre otros, donde no es necesario agregar hidrógeno(H) y oxígeno (O), ya que los obtienen del agua y asimismo el carbono (C) que obtienen del aire (Huacon, 2020).

En el caso de la fresa existe una guía de los requerimientos nutricionales y estudios como el realizado por la Universidad La Molina en el 2015, describen como se muestra en la tabla 4-6 aquellos necesarios para el crecimiento, floración y fructificación.

**Tabla 4-6.:** Tabla de requerimientos nutricionales para el cultivo de la fresa.

Solución	Fertilizante	Ley (%)	Crecimiento	Floración y fructificación
			g/m3	g/m3
A	Nitrato Potasio	13.5 % N, 46 % K <sub>2</sub> O	510.0	510.0
	Nitrato amonio	31 %N	100.0	50.0
	Nitrato calcio	15.5 %N, 26 % CaO	620.0	620.0
B	Fosfato monopotásico	52 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 34 % K <sub>2</sub> O	200.0	260.0
	Sulfato potasio	50 % K <sub>2</sub> O, 18 %S	0.0	100.0
	Sulfato Magnesio	16 % MgO, 13 %S	320.0	320.0
	Quelato hierro	6 %Fe	30.0	35.0
	Sulfato manganeso	25 %Mn	4.0	4.5
	Sulfato Zinc	23 % Zn	0.9	0.9
	Sulfato cobre	25 % Cu	0.6	0.6
C	Molibdato amonico	54 % Mo	0.15	0.15
	Ácido bórico	18 %B	2.50	2.50

**Nota:** Tomado de (Universidad Agraria La Molina, 2015).

### 4.1.9. Ventajas y desventajas

Ya que es una alternativa al cultivo en suelo, el cultivo hidropónico supone unas ventajas pero a su vez desventajas que se muestran en la tabla 4-7.

Tabla 4-7.: Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico NFT.

		CULTIVO HIDROPONICO NFT		
	CULTIVO EN SUELO	Ventajas	Desventajas	
Nutrición de la planta	Variable y difícil de controlar.	Controlada y estable.	Control sobre plagas y enfermedades.	Cuidado adecuado del estado de la solución nutritiva.
Malezas	Presencia de malezas.	Prácticamente inexistentes.	Mayor concentración de plantas por unidad cuadrada.	Depende del agricultor de manera artesanal.
Uso del agua	La mayor parte la retiene el suelo.	No existe estrés que perjudique a la planta por falta del recurso.	Mayor uniformidad entre los nutrientes de la planta.	Los costos son altos respecto a otros sistemas.
Enfermedades y patógenos	Relacionadas con el suelo.	No existe algún patógeno asociado al suelo.	Pueden ser cultivadas durante todo el año.	
Agroquímicos	Incrementa su uso.	Casi nulo.		
Cosecha	Mayor riesgo de pérdidas.	Disminuye el riesgo en situaciones controladas.		

Nota: Adaptado de (Perez et.al, 2019)

#### 4.1.10. Tecnificación en la hidroponía

La tecnología en el cultivo hidropónico permite acercarse a la solución de los problemas relacionados con la implementación de estos cultivos, ya que al tener una solución nutritiva acorde a la planta que se va a producir, poseen características esenciales en su comportamiento (Pachón, 2020). Al ser una solución líquida posee mezclas de distintos elementos disueltos en agua, que posteriormente se unen y se equilibran sus niveles de pH y electroconductividad, al ser un cultivo altamente sensible a la salinidad es necesario monitorear constantemente la conductividad eléctrica y el pH de la solución la cual se suministra periódicamente (INTAGRI, 2014), a su vez, bajo invernadero las condiciones climáticas pueden ser monitoreadas de mejor manera, sin embargo, surgen problemas relacionados con el cambio de la solución nutritiva y el monitoreo de las condiciones propicias para el desarrollo adecuado del cultivo (Pachón, 2020).

#### 4.1.11. Variables asociadas

##### 4.1.11.1. Temperatura

La temperatura es un parámetro que influye directamente en las funciones de respiración y permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, entre otras (Zaragoza, 2013). Lo que hace que esta variable tome relevancia al ser una de las condiciones que bajo invernadero que se busca controlar, de esta manera cada especie tiene un requerimiento

óptimo y que varía según la especie. En el caso de la fresa durante la fase de floración y maduración se recomiendan temperaturas de 14 a 21°C, más allá de este rango, la planta tiende a manifestar deficiencias y retrasos en su crecimiento. (Zaragoza, 2013).

#### **4.1.11.2. Humedad relativa**

La humedad en el interior de un invernadero, está relacionada con el aire que se ve saturado por la transpiración de las plantas con el objetivo de transportar los nutrientes necesarios y regular su desarrollo; resulta ser de vital importancia bajo estas condiciones tener un monitoreo, ya que si la humedad relativa es muy alta, el intercambio gaseoso queda limitado ya que se reduce la capacidad de abrir los estomas reduciendo la fotosíntesis, Asimismo, si se encuentra por debajo del rango, daría lugar a enfermedades por hongos debido a la condensación del agua (Zaragoza, 2013). En el caso de la fresa se recomienda que la humedad relativa oscile entre el 60%-70%, en el caso que incremente se favorece la presencia de enfermedades (Cañadas,2018).

#### **4.1.11.3. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tiene una sustancia de transportar la corriente eléctrica, cuyas unidades son micro Siemens por centímetro (S/cm), en la hidroponía representa la cantidad de sales disueltas en la solución nutritiva. De esta manera a mayor conductividad eléctrica, mayor concentración de sales contiene la solución, y a menor representa una deficiencia nutritiva, para la fresa debe estar en un rango de 1,0 y 2,0 dSm (INTAGRI ,2014).

#### **4.1.11.4. pH**

El pH es una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad que tiene una solución o sustrato, su escala varía de 0 a 14 siendo un pH bajo, ácido; y un pH alto, Alcalino. Para la fresa es aconsejado tener un pH de la solución nutritiva de 5.5 a 6.5, donde se busca como principal nutriente la fijación de nitrógeno (N) y fósforo (P) (INTAGRI ,2014).

## **4.2. Antecedentes**

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta el cultivo de fresa, la importancia de las variables a monitorear y los resultados de 5 autores que reportaron mejoría en el rendimiento de los cultivos, así como la identificación de problemas relacionados con la solución nutritiva específicamente en el pH y la conductividad eléctrica. Autores como (Huacon, 2020) (Cortés et.al, 2014) identificaron como principal factor que la solución nutritiva debía ser monitoreada constantemente ya que es el principal factor de suministro de nutrientes de la planta y esto repercute en el crecimiento de una especie vegetal, ya que pueden aportar en la calidad

y el tiempo de maduración del fruto.

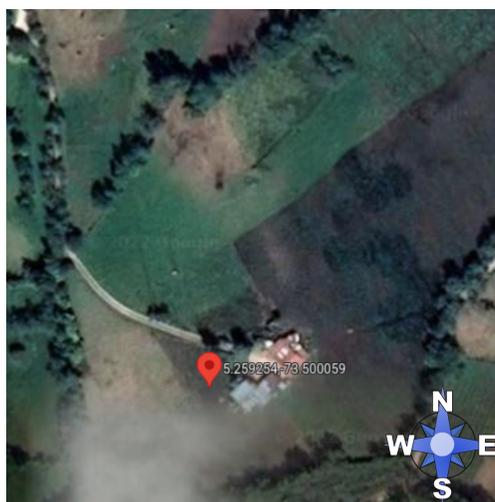
Por otro lado, el monitoreo de variables asociadas al cultivo, temperatura, pH, conductividad eléctrica en el sistema NFT como encontraron (Pérez et.al, 2019) permiten obtener un mejor producto sin el uso de pesticidas y plaguicidas, con la particularidad de poder monitorear a distancia el proceso de crecimiento de la planta haciendo eficiente y rentable su implementación. De manera más específica como se muestra en el anexo ??.

### 4.3. Marco Geográfico

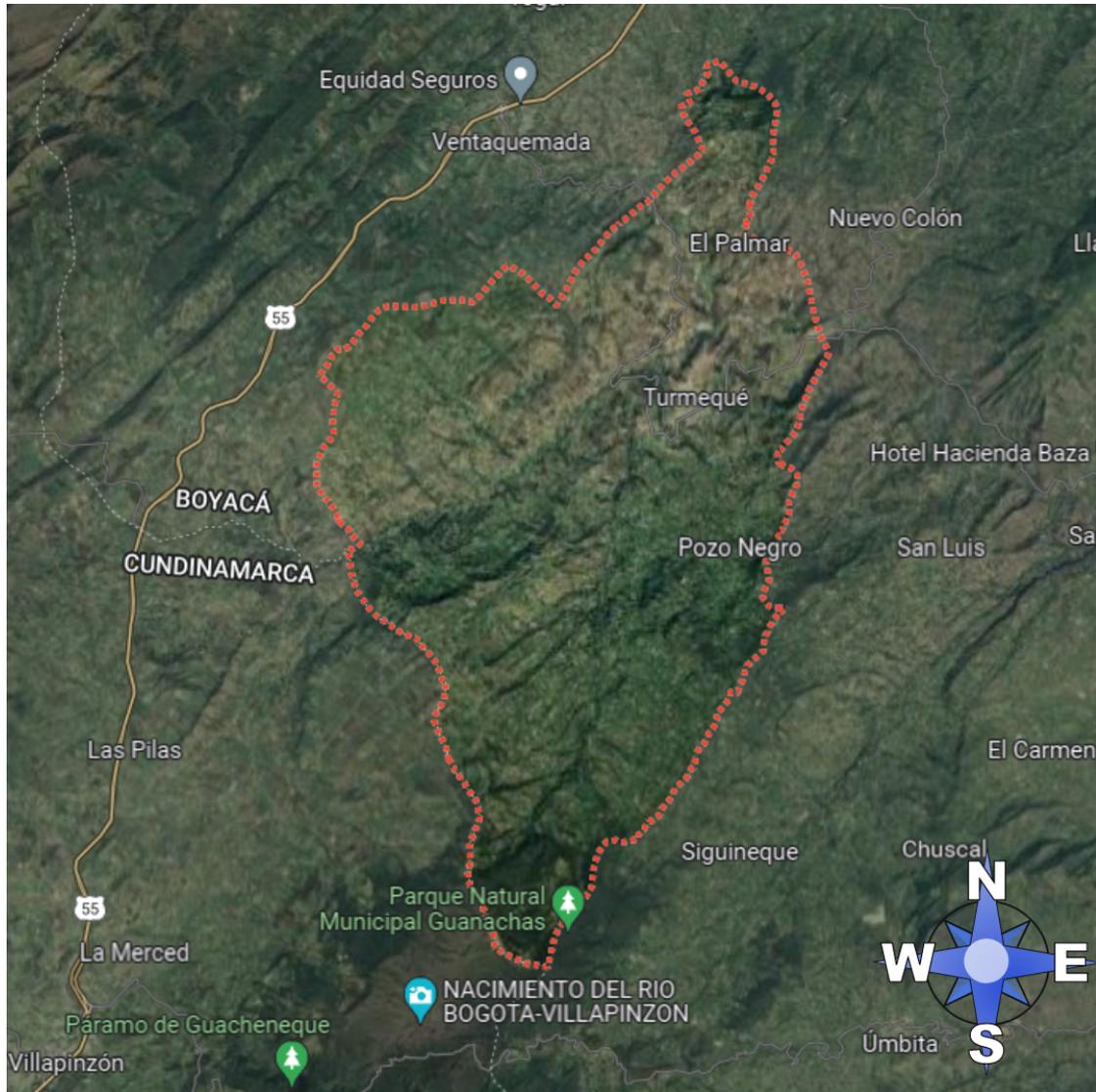
El municipio de Turmequé se encuentra ubicado en la provincia de Márquez, situado a una altitud de 2450 msnm (IGAC) sobre la cordillera oriental de los Andes. Su temperatura media es de 14° y una precipitación media anual de 856.5mm, siendo julio con las máximas lluvias en el territorio y diciembre, enero y febrero una temporada seca. Tiene una extensión total de 80,5435 km<sup>2</sup> de los cuales el 99,17 % es extensión rural.

Limita al occidente con el municipio de Ventaquemada, por el oriente con el municipio de Úmbita, por el norte con Nuevo Colón y por el sur con el municipio de Villapinzón-Cundinamarca como se muestra en la figura 4-6 (ASIS,2020). En la zona la cadena productiva de frutales agroindustriales exóticas involucra 108 asociaciones, en conjunto con municipios aledaños con cultivos de lulo, granadilla, maracuyá, papaya, fresa, durazno, siendo la fresa el cuarto más sembrado por los horticultores (Boyacá,2013).

**Figura 4-5.:** Ubicación de la finca La Esmeralda



Fuente: Google Maps, (2022)

**Figura 4-6.:** Delimitación Turmequé.

Fuente: Google Maps, (2022)

La finca La Esmeralda se encuentra ubicada aproximadamente a 10 km del casco urbano de Turmequé cuyo acceso es por medio de vías terciarias cuyas coordenadas son exactamente en las coordenadas 5.259401, -73.499791 como se muestra en la figura 4-5, la cuál se caracteriza por tener suelos dedicados al cultivo de papa, su temperatura promedio ronda los 15°C a 17°C.

## 4.4. Marco Normativo

En cuanto a la normativa y legislación vigente encontramos el Decreto 3075 de 1997 que exige el registro sanitario, expedido por el INVIMA. A su vez encontramos normativas asociadas expresadas en los siguientes puntos.

NTC 4103, Norma Técnica Colombiana NTC FRUTAS FRESCAS. Por el cual se establecen los requisitos que debe tener la fresa.

Resolución 187 del 2006. Artículo 9º. Uso del agua. Por el cual se establece el requisito que debe tener agua utilizada para el abastecimiento, la producción, transformación y procesamiento de los productos agropecuarios ecológicos, deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la legislación sanitaria vigente, así como los requerimientos ambientales para el uso del recurso.

Norma técnica colombiana NTC- 5400. “Por la cual se definen los requisitos y procedimientos que cumplan las buenas Prácticas Agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas” que van orientados a los pequeños, medianos y grandes productores de estos cultivos.”

Resolución 4174 de 2009. ICA. “Por el cual se reglamenta la certificación de buenas prácticas agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo en fresco.”

Resolución 2906 DE 2007. “Por la cual se establecen los límites máximos de residuos de plaguicidas, LMR, en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes”.

Sin embargo, en Colombia, no existe una normativa de los productos hortícolas, relacionados con el cultivo hidropónico, como con el peso, la medida y los empaques, lo que conlleva a desorden y falta de claridad en la normalización.

Como consecuencia, se está empezando a desarrollar producción orgánica producción con protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y se está trabajando en procesos agroindustriales con Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), que debe ser comprobada por organismos acreditados, que certifican las condiciones de producción a los compradores nacionales e internacionales.

# 5. Metodología

Para la realización de este proyecto se tuvo en cuenta la metodología CDIO (Conceive – Design – Implement - Operate) la cuál ha demostrado ser una herramienta efectiva en la planificación y ejecución de proyectos en diversas áreas. Al aplicar la metodología CDIO, se inició con la conceptualización y el levantamiento de requerimientos, posteriormente se plantea el diseño y su implementación. En esta sección se expone su aplicación para llevar a cabo el proyecto.

## 5.1. Levantamiento de Requerimientos

### 5.1.1. Requerimientos técnicos

- El prototipo de invernadero deberá tener una altura de aproximadamente 2 metros para entrada y salida de la persona.
- La solución nutritiva se debe aplicar en función del estado fenológico de la planta y el volumen de siembra.
- El cálculo de la solución nutritiva debe tener en cuenta el número de plantas (40) y el flujo del agua dentro del sistema.
- El sistema deberá tener una fuente hídrica cercana a la zona de implementación.
- El sistema debe estar conectado a la red eléctrica mínima de 110 VAC y una corriente de 5 A para su funcionamiento.

### 5.1.2. Requerimientos Funcionales (disposiciones que especifican cómo debe funcionar y qué va a hacer el proyecto)

- El invernadero deberá contar con entradas y salidas de ventilación.
- La temperatura bajo el invernadero debe estar entre 10° a 25°C.
- La humedad relativa bajo invernadero debe estar entre 60 y 70%.
- El invernadero deberá contar con espacios de tránsito mínimo de 1 metro para el acceso del agricultor y permitir realizar la manipulación del sistema.

- El pH de la solución nutritiva debe estar entre 6.5 y 7.
- La conductividad eléctrica debe estar entre 1,0 y 2,0 dSm.
- La temperatura de la solución nutritiva debe estar entre 15° y 20°C.
- El riego de la planta debe tener una lámina constante aproximada de 1 cm de solución nutritiva.
- El sistema deberá contar con un sostén inerte para las raíces.
- La solución nutritiva deberá contener aproximadamente 4.3 meq/L de NO<sub>3</sub>, 0.7 meq/L de NH<sub>4</sub>, 2.0 meq/L de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2.2 meq/L de Potasio (K), 4.8 meq/L de Calcio (Ca), 2.0 meq/L de Magnesio (Mg) y 3.4 meq/L de S<sub>04</sub>.
- El monitoreo de las variables debe ser constante hasta la primera cosecha de fresa.
- El sistema de monitoreo de temperatura deberá alertar si la temperatura dentro del invernadero está fuera del rango de 10° a 25°C.
- El sistema de monitoreo deberá alertar si la temperatura de la solución nutritiva está fuera del rango de 15° a 20°C.
- El sistema de monitoreo deberá alertar si la humedad relativa dentro del invernadero está fuera del rango de 60 % a 70 %.
- El sistema de monitoreo deberá alertar si el pH se encuentra fuera del rango de 5.5 a 6.5.
- El sistema debe realizar el registro de datos permitiendo el acceso para dar seguimiento y su posterior análisis.

### **5.1.3. Requerimientos de Calidad (disposiciones que garantizan la calidad y reproducibilidad de los requerimientos funcionales)**

- El invernadero deberá evitar filtraciones de agua.
- El invernadero deberá ser una estructura rígida que resiste las oleadas del viento y las fuertes lluvias.
- El invernadero debe ser resistente a la corrosión.
- La plántula deberá colocarse en la solución nutritiva una vez se retiren del sustrato de germinación.

- El material de construcción del sistema debe ser inerte que no afecte el desarrollo de las plantas.
- El sistema de monitoreo deberá estar protegido frente al agua.
- El sensor de temperatura de la solución debe estar protegido frente a la humedad.
- El sistema de monitoreo deberá contar con una interfaz gráfica para la visualización de datos.

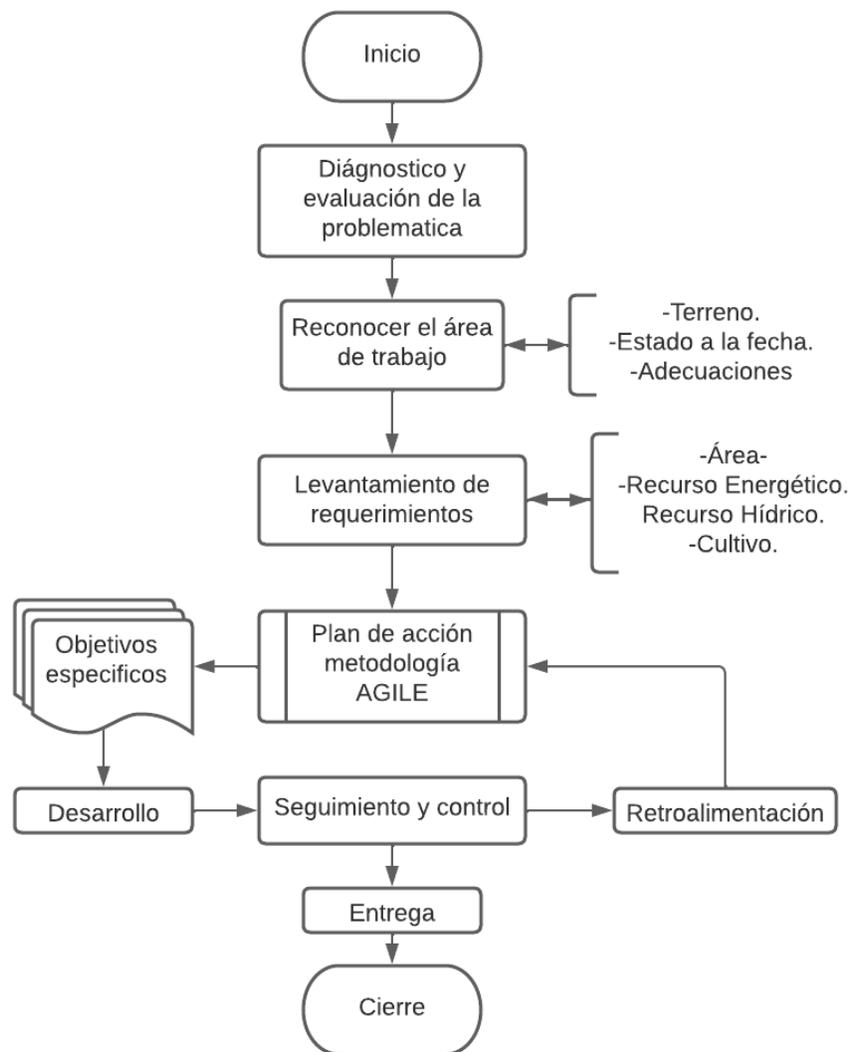
#### **5.1.4. Requerimientos de Restricción (límites del proyecto y qué no va a hacer)**

- El invernadero deberá estar adecuado para una área de 5m x 5m.
- El invernadero deberá permitir el acceso de solo 2 personas.
- El sistema no debe usar plaguicidas o insecticidas de síntesis química.
- El sistema deberá contar con capacidad para 40 plantas de fresa.
- La solución nutritiva deberá ser cambiada si se encuentra fuera de los rangos óptimos.
- Solo se tendrá el control de riego regulando a aproximadamente 1 cm la lámina del sistema.
- El sistema debe permitir la colocación de cada planta sin que se entrelacen las raíces.
- El sistema debe estar conectado a la red eléctrica mínima 110 VAC y una corriente de 5 A para su funcionamiento.
- El sistema deberá ser calibrado mínimo 1 vez a la semana.

## 5.2. Metodología General

En esta sección se expone la metodología general como se muestra en la figura 5-1 y para cada uno de los objetivos y llevar a cabo el desarrollo del prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá.

**Figura 5-1.:** Diagrama de flujo metodología General.



**Fuente:** Elaboración propia

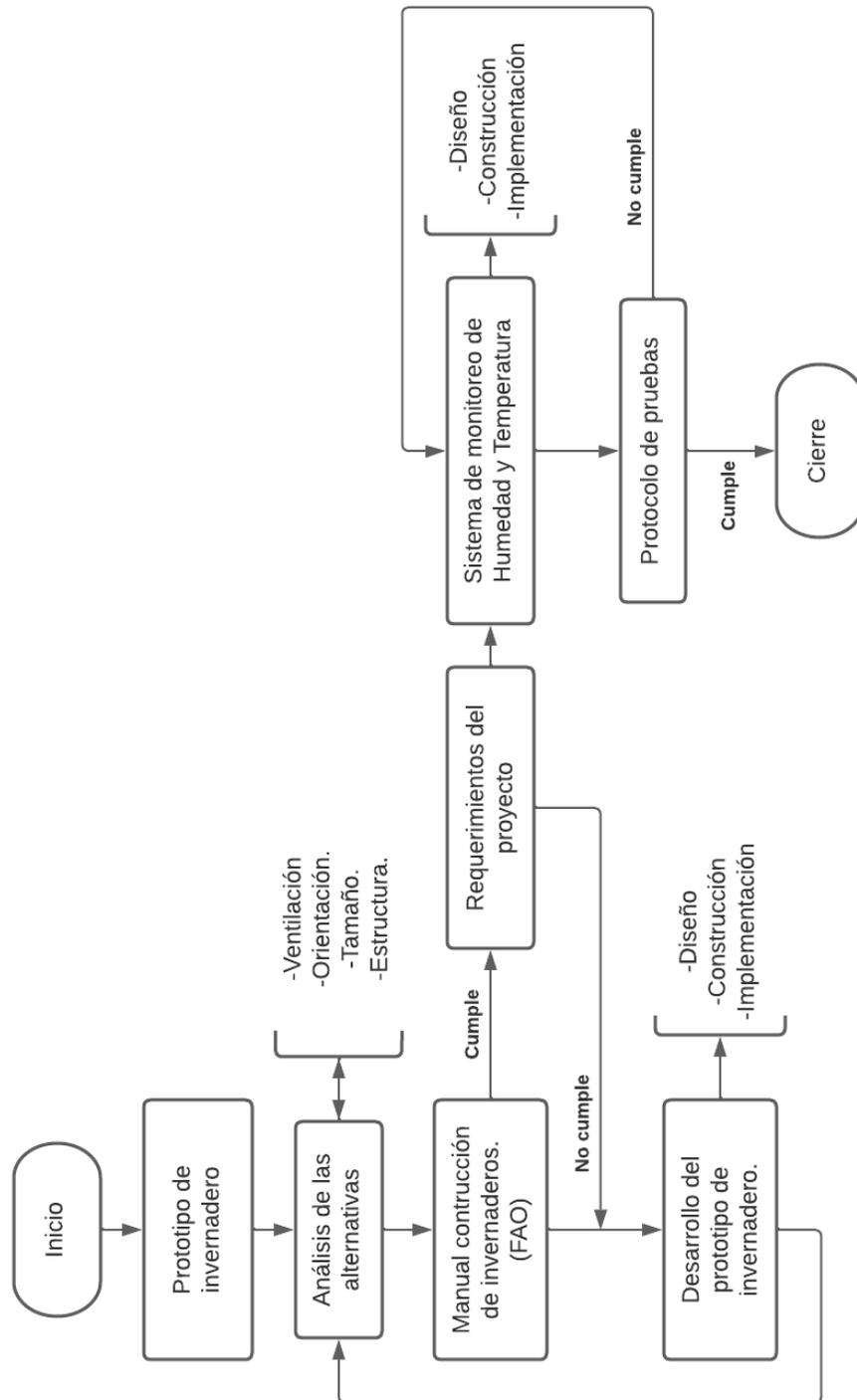
### 5.2.1. Metodología Objetivo Específico 1

En la figura 5-2 se presenta la metodología implementada para dar cumplimiento al objetivo específico 1, en la cual, para la primera fase del diseño del prototipo de invernadero, se realizó la búsqueda bibliográfica relacionada con los diferentes tipos de invernaderos comerciales, de los cuales se buscó establecer, ventajas y desventajas de cada uno de estos, en función de la ventilación, ya que es un factor que influye directamente en la temperatura al interior del invernadero y la humedad que este puede albergar para el desarrollo de cultivos (Akrami et al., 2020). Asimismo se tuvo en cuenta, la transmisión de luz, ya que tanto la intensidad, como la calidad de luz que recibe la planta son factores que influyen en el proceso de fotosíntesis de la planta; y estos a su vez pueden generar cambios considerables en las características anatómicas, morfológicas o fisiológicas de la planta (Casierra Posada et al., 2011); también se consideró la resistencia, ya que las condiciones ambientales de la zona son un factor importante ante constantes cambios en la velocidad, fuerza del viento y lluvias que se presentan en el municipio de Turmequé, Boyacá. El fácil acceso se tomó en consideración, así como los materiales de bajo costo, ya que se cuenta con bajo presupuesto y tiempo limitado para la elaboración del proyecto.

Para el diseño de la estructura del prototipo del invernadero se realizó por medio del software FUSION 360, teniendo en cuenta el manual de construcción de invernaderos de la FAO del 2007 con el fin de identificar la orientación, el dimensionamiento, ventilación adecuada y los materiales adecuados, y así identificar tanto las ventajas como las desventajas de los mismos para poder llevar a cabo la construcción del prototipo. De esta manera se construyeron matrices de decisión con el objeto de seleccionar los más adecuados para el desarrollo del proyecto.

Por último, para el diseño del monitoreo de variables físicas, se identificaron los sensores implicados en la detección de temperatura y humedad con el objetivo de realizar un sistema de monitoreo del entorno físico acotado a las dimensiones del prototipo del invernadero teniendo en cuenta el rango de captación del sensor y la ubicación de los mismos que dieran cumplimiento a los requerimientos planteados.

Figura 5-2.: Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 1.



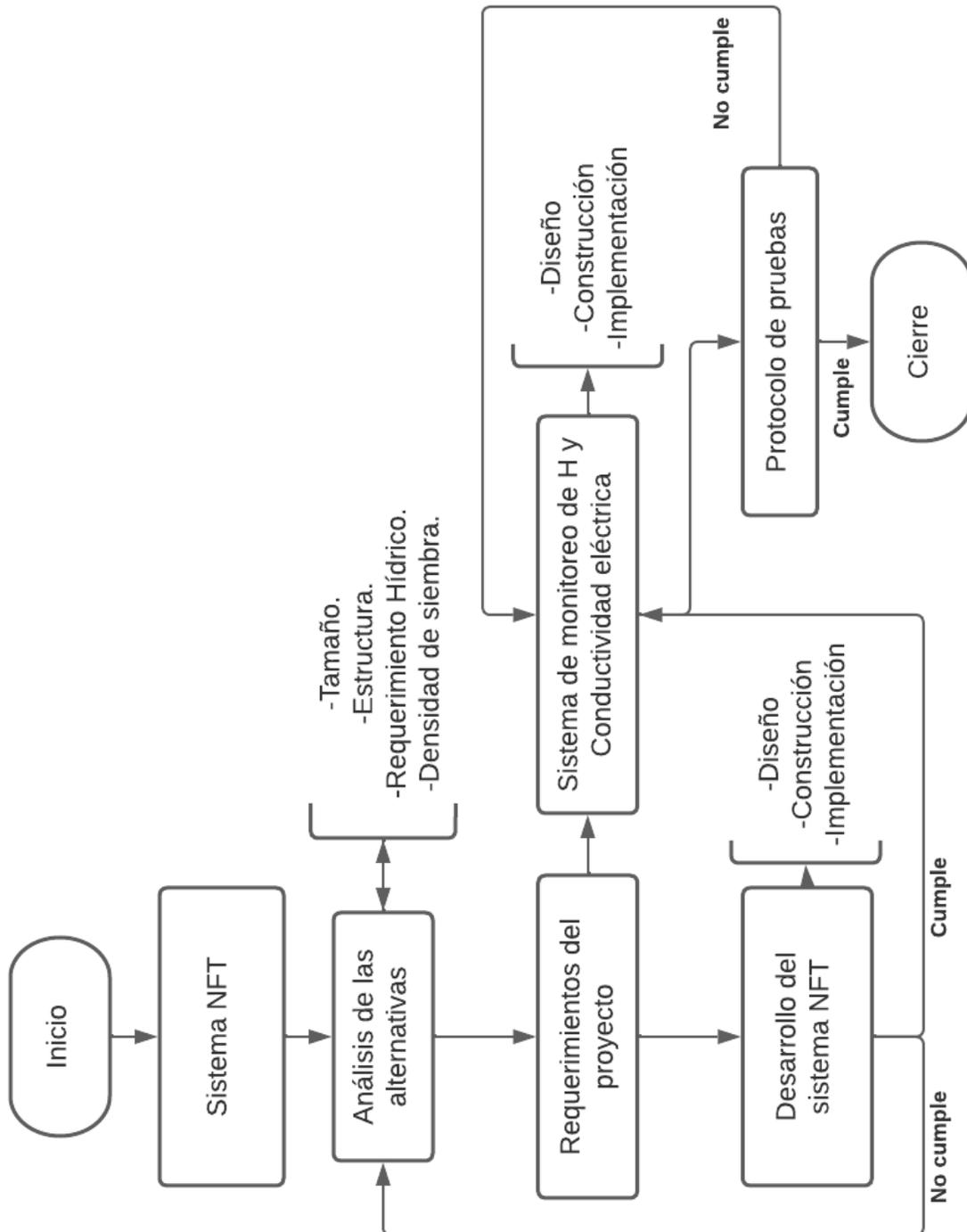
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2. Metodología Objetivo específico 2

En la figura 5-3 se presenta la metodología implementada para dar cumplimiento al objetivo específico 2, en la cuál para el diseño del prototipo de cultivo hidropónico tipo NFT, se realizó la búsqueda bibliográfica relacionada con la distribución y distancia mínima de las plántulas de fresa en sistemas hidropónicos, con el fin de diseñar la estructura más adecuada para el sistema radicular de la especie, a partir de esto, se establecieron parámetros, y levantamiento de requerimientos para cada uno de los componentes estructurales, seleccionando los más adecuados para su posterior uso; asimismo se realizaron los cálculos del sistema de riego buscando satisfacer la necesidad hídrica del total de plantas en el sistema y cumplir los requerimientos planteados para el cumplimiento del objetivo.

Para el diseño del monitoreo de variables químicas, se identificaron los sensores implicados en la detección de pH y conductividad eléctrica con el objetivo de realizar un sistema de monitoreo del entorno químico acotado a las dimensiones del prototipo de cultivo hidropónico NFT, se seleccionaron por medio de matrices de decisión a partir de las recomendaciones encontradas en bibliografía con anterioridad teniendo en cuenta que permitieran dar cumplimiento a los requerimientos planteados para el desarrollo del proyecto.

Figura 5-3.: Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 1.



Fuente: Elaboración propia

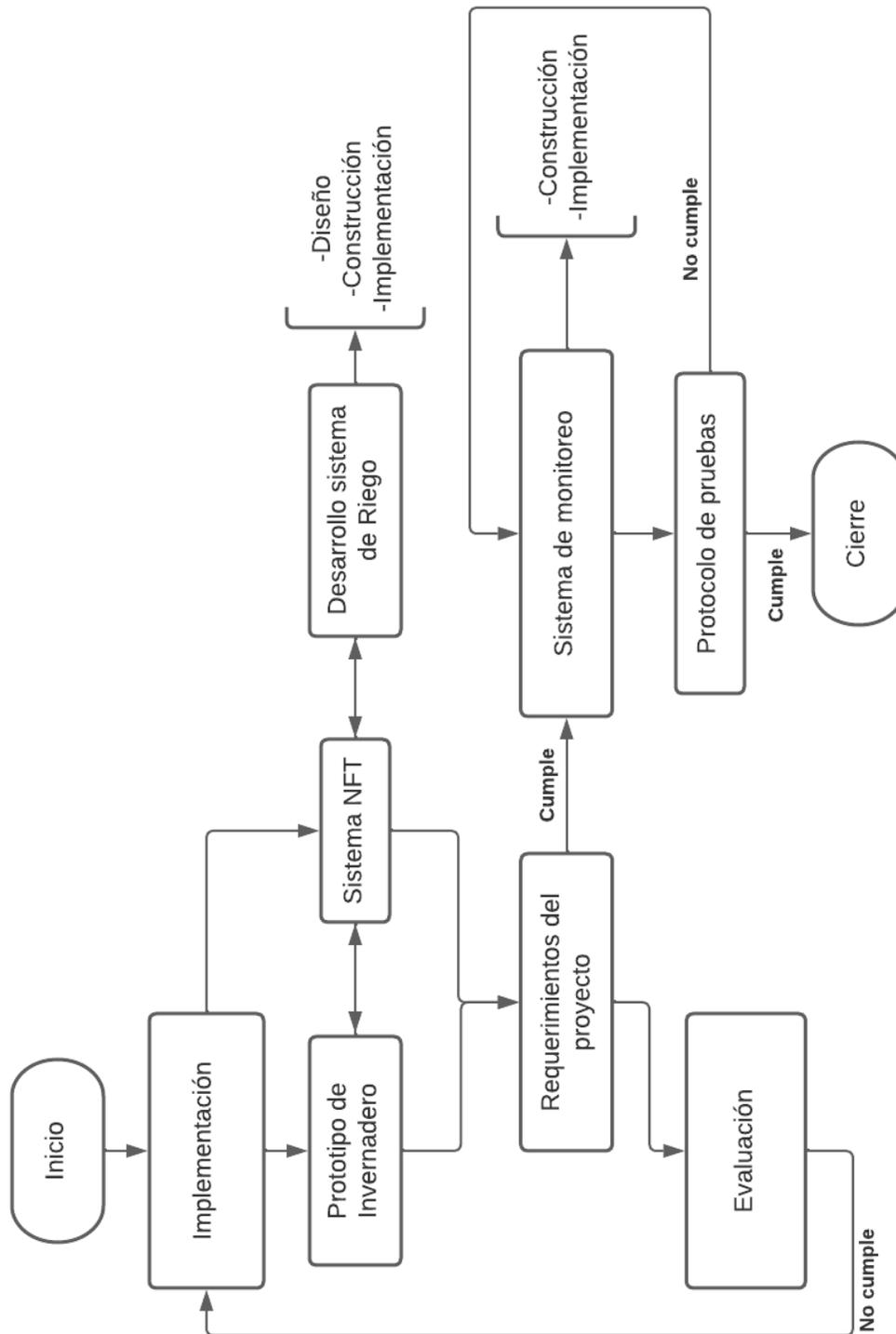
### 5.2.3. Metodología Objetivo específico 3

En la Figura 5-4 se presenta la metodología implementada para dar cumplimiento al objetivo específico 3, en la cual para la construcción del prototipo de invernadero, se niveló el terreno y se procedió con el cercamiento del área destinada para su construcción (5mx5m), se construyeron 4 escuadras con el fin de tener 90° en cada una de las esquinas del área destinada. Posteriormente se clavó a una profundidad de 20 cm 4 estacas como anclajes al suelo de la estructura para finalmente limpiar el área de arvenses y distribuir uniformemente la tierra dentro el área. Haciendo uso de los listones de madera, se cortó con las medidas especificadas en planos cada uno de los elementos que componen el marco estructural de la culata frontal y la culata trasera del prototipo de invernadero. Posteriormente mediante pegamento para madera se reforzó cada una de las uniones demarcadas en planos. Se ubicaron los laterales del marco de la puerta a una profundidad de 20 cm y se relleno con piedra y tierra con el objeto de reforzar el anclaje de la estructura. Una vez ubicadas y correctamente aseguradas, se marcaron las uniones con la cubierta para evitar estructuras sobresalientes. Para la construcción de la cubierta, se utilizó una malla de acero galvanizado unida a los parales de madera ubicados transversalmente, fijados de manera que la estructura quedase firme, y finalmente se realizó una zanja alrededor de la estructura del prototipo de invernadero con una profundidad de 20cm con el fin de evacuar aguas lluvias. Posteriormente teniendo en cuenta el porcentaje de ventilación necesario se colocó malla poli sombra al 60 %, asegurada con grapa industrial a la estructura de manera que quede lo más templada posible y se aseguró que se encuentre sujeto con abrazaderas en las uniones marcadas previamente.

Posteriormente para la Construcción del prototipo de cultivo hidropónico, se cortaron a medida los componentes estructurales de la base del sistema según el diseño, se inmunizó e impermeabilizó la madera para posteriormente colocar y asegurar los canales NFT dentro del prototipo de invernadero.

Para la construcción del sistema de monitoreo de variables físicas y químicas, una vez seleccionados los sensores en la fase de diseño se procedió a realizar el montaje eléctrico teniendo presente la distancia y ubicación recomendada por el Instituto de Investigación y formación Agraria y pesquera (IFAPA), de manera que estén protegidos frente a la humedad, rayos directos del sol y los datos puedan registrarse y hacer el seguimiento tanto del ambiente dentro del prototipo del invernadero como el comportamiento de la solución nutritiva. Finalmente, se implementó un protocolo de pruebas con el cuál se verificó la medición y el funcionamiento de los sensores y su seguimiento a través de la plataforma Blynk de las variables monitoreadas. De esta manera todo lo relacionado con la implementación de la Sensórica se encuentra en el Anexo protocolo de Monitoreo.

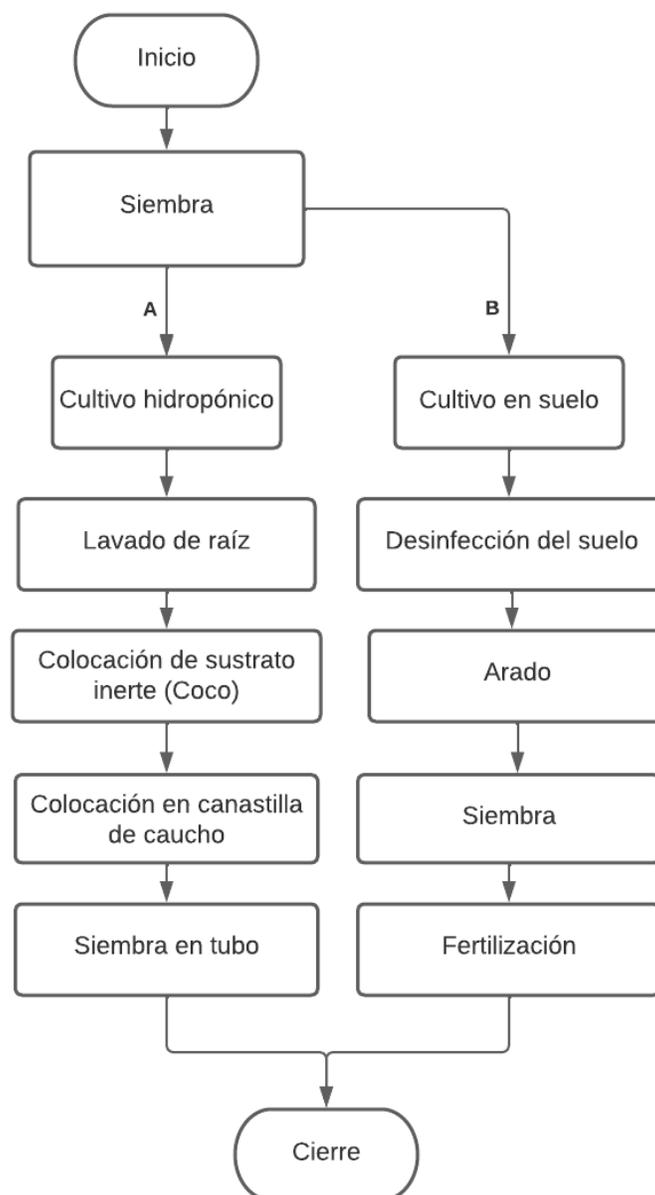
**Figura 5-4.:** Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 3



**Fuente:** Elaboración propia

Para la siembra de plantas se realizó la metodología presentada en la figura 5-5, teniendo presente que se trasplantaron plántulas con una edad aproximada de 2 meses, con un total de 40 para el cultivo hidropónico y 40 para el cultivo en suelo. En el caso de la siembra en tierra, el agricultor encargado de la finca, realizó las actividades tradicionales que se desarrollan en el lugar registradas en la figura 5-5 parte B y para el sistema hidropónico se utilizó la metodología presentada en la figura 5-5 parte A.

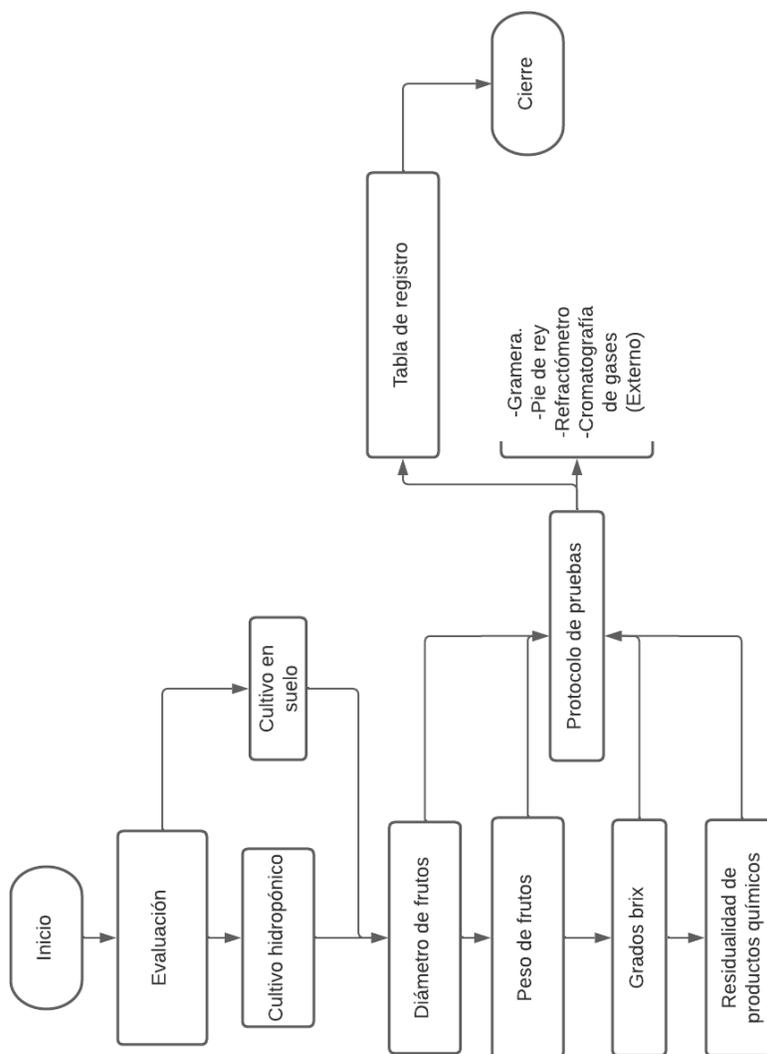
**Figura 5-5.:** Diagrama de flujo de la metodología de siembra



### 5.2.4. Metodología Objetivo específico 4

En la Figura 5-6 se presenta la metodología implementada para dar cumplimiento al objetivo específico 4, en el cual para la evaluación a primera cosecha de 40 plantas de fresa en cultivo hidropónico vs el cultivo tradicional, se buscó obtener datos del diámetro de frutos por medio de un calibrador pie de rey, grados brix por medio de un refractómetro, peso de frutos por medio de una gramera y residualidad de productos de síntesis química en prueba de laboratorio.

**Figura 5-6.:** Diagrama de flujo de la metodología Objetivo específico 4



**Fuente:** Elaboración propia

## 6. Desarrollo

### 6.1. Etapa de diseño

#### 6.1.1. Diagnóstico y evaluación inicial.

Para la realización del diagnóstico y evaluación inicial en la finca La Esmeralda, Turmequé, Boyacá, se llevó a cabo el recorrido por la zona disponible para la implementación del prototipo de invernadero y la zona del cultivo tradicional, detallando las diferentes condiciones climáticas y de infraestructura.

#### 6.1.2. Caracterización del area de trabajo.

En la finca La Esmeralda se disponía de un área de 25 m<sup>2</sup> como se muestra en la figura 6-1 para la implementación del proyecto, a partir de ahí se tuvo en cuenta tres factores para el diseño del prototipo de invernadero, dimensiones generales y geometría, orientación, ubicación y afluencia de las corrientes de viento para el diseño de los espacios de ventilación.

**Figura 6-1.:** Zona de construcción.



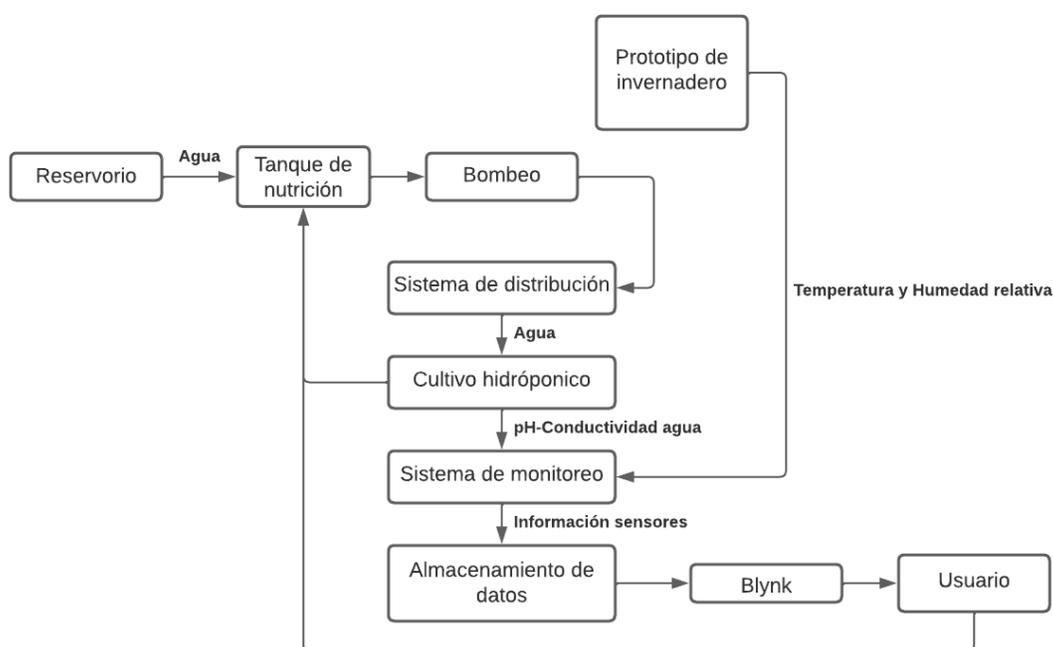
Fuente: Elaboración propia

Delimitación de la zona para la implementación del prototipo de invernadero en la finca La Esmeralda, Turmequé, Boyacá

### 6.1.3. Diseño global del sistema

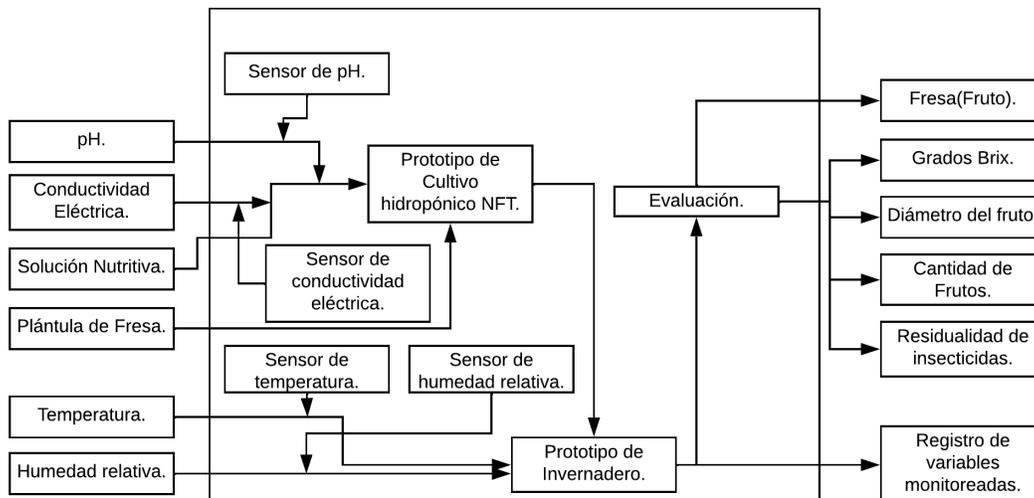
Finalmente, luego de realizar la etapa de diagnóstico y evaluación inicial, se planteó el diagrama de flujo presentado en la figura 6-2 dando a conocer el funcionamiento del prototipo de invernadero para la producción de fresa en cultivo hidropónico tipo NFT con el monitoreo de variables físicas y químicas. A continuación, se exponen los diferentes diagramas que exponen la metodología a implementar.

**Figura 6-2.:** Diagrama de bloques ingeniería básica del proyecto



**Fuente:** Elaboración propia

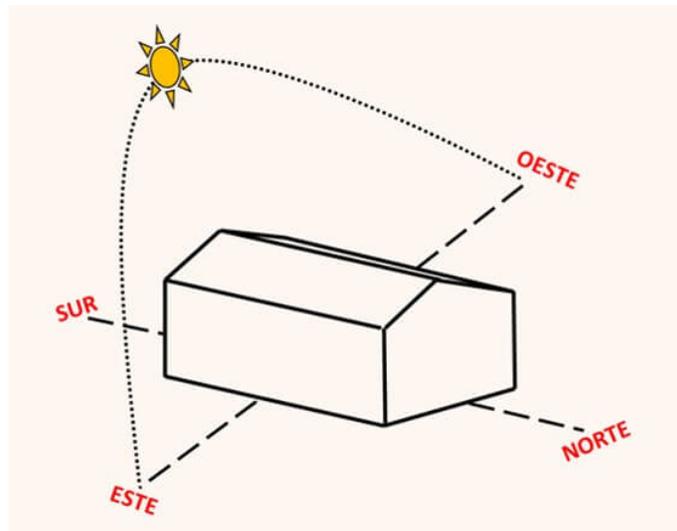
Finalmente, como resultado del diseño del sistema, se construyó el diagrama de caja blanca del sistema, teniendo las variables y secuencia del proceso de construcción del prototipo como se muestra en la figura 6-3, en el cual se describe la conexión y relación de cada uno de los procesos contemplados en los objetivos del presente proyecto.

**Figura 6-3.:** Diagrama de Caja blanca del sistema.

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.4. Diseño detallado del sistema Objetivo específico 1

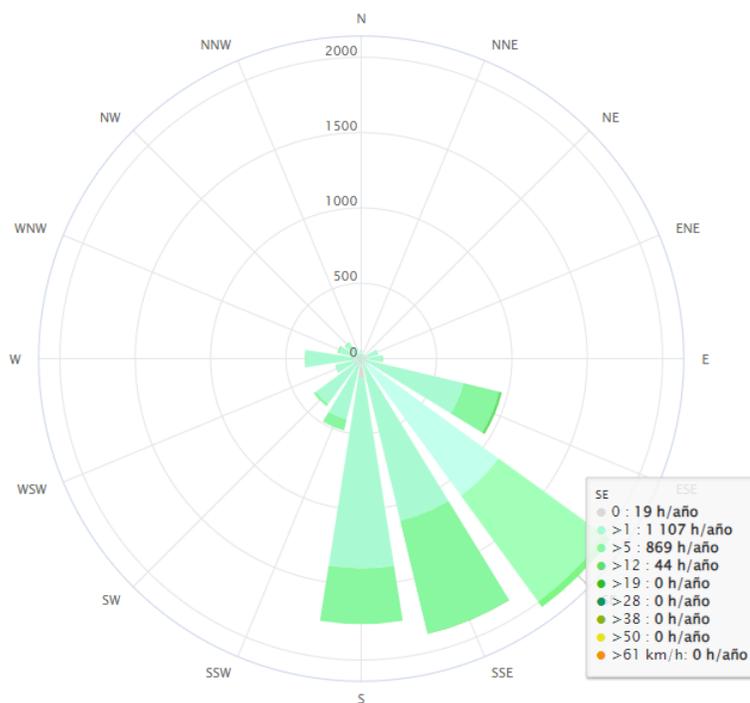
Para llevar a cabo el diseño detallado del invernadero se tuvo en cuenta la orientación del invernadero respecto al sol teniendo en cuenta la figura 6-4, con el fin de permitir una distribución de la radiación más uniforme dentro del invernadero, además de evitar generar zonas sombreadas como ocurre en el sentido de Este a Oeste dejando las entradas de ventilación por los laterales.

**Figura 6-4.:** Orientación recomendada para invernaderos

Fuente: Intagri

Ahora bien, dentro del diseño del prototipo de invernadero es importante tener presente la ventilación, ya que es un intercambio de aire entre la atmósfera interior y exterior, lo que permite el intercambio de Oxígeno y CO<sub>2</sub>, el control de temperaturas (la eliminación del exceso de calor) y el control de la humedad (Estrada, 2012). Por eso para el cultivo de fresa es importante que la ventilación sea óptima y suficiente, para lo que se tuvo en cuenta la rosa de los vientos y el viento predominante, en la cual datos de meteoblue, el viento predominante como se muestra en la figura 6-5, indica una velocidad mayor de 5 km/h por un periodo de 869h/año, dato que corresponde a la sección de interés ya que corresponde a la época del año donde tiene mayor incidencia el viento predominante.

**Figura 6-5.:** Rosa de los vientos ubicación del prototipo de invernadero.



**Fuente:** Meteoblue

Ahora bien, la ventilación a través de las paredes laterales y de los frontales son las más frecuentemente usadas en los invernaderos de plástico (FAO, 2020), para ello se tuvo en cuenta la longitud de los laterales, en la cual la entrada de aire debe ser del 15 al 25 respecto a la superficie del suelo (Estrada, 2012), de esta manera se plantea la ecuación 6-1, donde reemplazando podemos obtener la ecuación 6-2 para finalmente tener la distancia de las entradas de ventilación para el espacio disponible en este caso como se muestra en la ecuación 6-3 y satisfacer una ventilación suficiente acorde a la velocidad del viento que incide en la zona.

$$\frac{\text{Superficie de ventana}}{\text{Superficie respecto al suelo}} = 0,15 \text{ al } 0,25 \quad (6-1)$$

$$\frac{5}{Wg} = 0,15 \quad (6-2)$$

$$Wg = \frac{2 * 5}{0,15} = 66,6cm \quad (6-3)$$

$$Va > \frac{m^3}{m^2} * h \quad (6-4)$$

Ahora bien, teniendo presente lo anterior, se realizó una búsqueda en la cual se encontró que existen varios tipos de invernaderos, en función de la forma y de los materiales que se utilizaron en la estructura y en la cubierta. De manera que se determinó por medio de una matriz de decisión, en la cual se detallan las características y criterios de evaluación, así como las opciones contempladas para las condiciones de desarrollo de la fresa. Teniendo presente el manual de invernaderos (Estrada,2012) a partir de la escala 1 a 5, siendo 1 la opción menos conveniente y 5 la más adaptable a la necesidad, se construyó la tabla **6-1**.

**Tabla 6-1.:** Matriz decisión selección de tipo invernadero

Tipo/Criterio	Túnel	Capilla	Diente de Sierra	Gótico	Malla sombra
Ventilación	4	3	5	4	3
Fácil instalación	5	4	3	4	2
Materiales a bajo costo	4	5	4	3	2
Transmisión de luz	5	3	3	4	4
Resistencia	5	4	3	5	4
Fácil acceso	5	3	4	5	5
Puntuación	28	22	22	25	20

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla **6-1**, y teniendo en cuenta el manual sobre "El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo" de W.O. Baudoin, se asignaron valores acorde al peso de cada uno de los criterios de la siguiente manera: Ventilación(5), Fácil instalación(4), Materiales de Bajo Costo(3), Trasmisión de luz(5), Resistencia(4) y Fácil acceso(4), de lo cual se obtuvo finalmente el total de puntuación registrado en la tabla **6-2**.

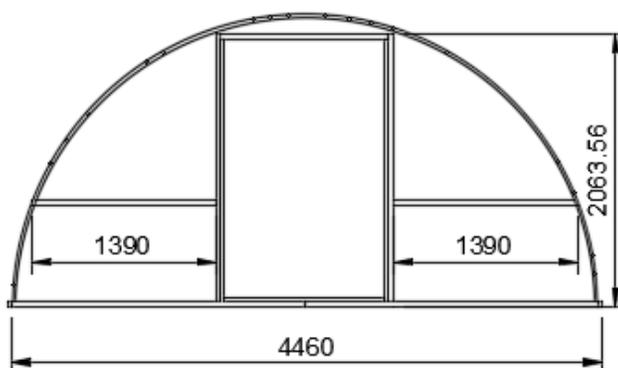
**Tabla 6-2.:** Matriz decisión selección de tipo invernadero puntuación final

Tipo/Criterio	Túnel	Capilla	Diente de Sierra	Gótico	Malla sombra
Ventilación	4*5	3*5	5*5	4*5	3*5
Fácil instalación	5*4	4*4	3*4	4*4	2*4
Materiales a bajo costo	4*3	5*3	4*3	3*3	2*3
Transmisión e luz	5*5	3*5	3*5	4*5	4*5
Resistencia	5*4	4*4	3*4	5*4	4*4
Fácil acceso	5*4	3*4	4*4	5*4	5*4
Puntuación	97	77	76	85	65

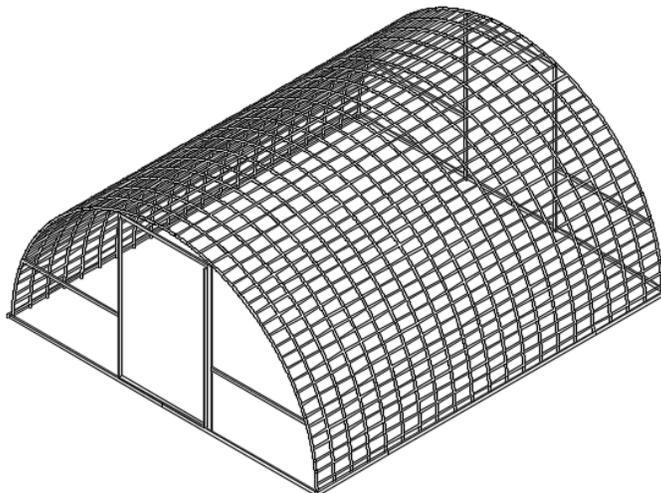
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 6-2 y los criterios recomendados en el manual de la FAO (Estrada,2012), se concluyó que el tipo de invernadero a construir será el invernadero tipo túnel con un puntaje de 97 siendo el modelo que cumple los criterios más convenientes para el desarrollo de la fresa.

Con el fin de aprovechar al máximo el espacio, las dimensiones finales del prototipo de invernadero fueron de 4.4m x 5m x 2.2 m (L x A x H), como se muestra en la figura 6-6 y en la figura con una altura mínima de 2 m (min) y máxima de 2.5 m (Max) y un largo de 5 m que fue igual de los 5 m permitidos por el desnivel del suelo cuya inclinación es de 19° y la vegetación en la zona; Asimismo como se muestra en el anexo A.2, los planos completos de la estructura del prototipo del invernadero.

**Figura 6-6.:** Boceto Paramétrico del prototipo de invernadero. Vista Frontal.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-7.:** Boceto Paramétrico del prototipo de invernadero. Vista Isométrica.

**Fuente:** Elaboración propia

Para la construcción del prototipo de invernadero, teniendo presente la estructura seleccionada y a partir del boceto paramétrico presentado en la figura 6-7, se realizó una matriz de decisión para los materiales de construcción. Para esto se tuvo en cuenta el marco y la cubierta. Para el marco estructural, se utilizaron como criterios de selección los recomendados por el manual de construcción de invernaderos (Paredes,2012), con un valor asignado acorde al peso de cada uno de los criterios de la siguiente manera el costo (40%), modularidad (20%), vida útil(20%) y resistencia(20%); evaluados del 1 a 5, siendo 1 la opción menos conveniente y 5 la más adaptable a la necesidad, se construyó la tabla 6-3 .

**Tabla 6-3.:** Matriz selección de material de estructura para prototipo de invernadero

Material/criterio	Pino	Aluminio	Pvc	Varilla Acero Galvanizado
Costo	2	3	1	2
Modularidad	2	2	2	3
Vida Útil	5	3	3	3
Resistencia	3	4	3	5
Puntuación	12	12	9	13

**Fuente:** Elaboración propia.

A partir de la tabla 6-3, aplicando los valores acorde al peso de cada uno de los criterios de la siguiente manera se obtuvo finalmente el total de puntuación registrado en la tabla 6-4.

**Tabla 6-4.:** Puntuación matriz selección de material de prototipo de invernadero.

<b>Material/criterio</b>	<b>Pino</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Pvc</b>	<b>Varilla Acero Galvanizado</b>
<b>Costo 40 %</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Modularidad 20 %</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Vida Útil 20 %</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Resistencia 20 %</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>Puntuación</b>	<b>3</b>	<b>2.8</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6-4, se concluyó que el material a utilizar para la construcción del prototipo de invernadero tipo túnel, es acero galvanizado para el arco del túnel y madera de pino para las entradas y soporte del marco. Asimismo, se definieron los elementos necesarios para fijar la estructura ante las corrientes de viento de la zona. Una vez definido el prototipo de invernadero tipo túnel, se seleccionó el material de la cubierta a utilizar, teniendo en cuenta las propiedades más importantes como: la transmisión de la radiación solar, la transparencia a la radiación infrarroja o térmica y la transmisión de calor de los materiales que la componen. Los plásticos más utilizados tienen diferentes materiales como polietileno, copolímero etilvinilacetato y cloruro de polivinilo y plásticos multicapa; plásticos rígidos, hechos a partir de poli metacrilato de metilo, policarbonato y poliéster, y vidrio, cristal de vidrio impreso (AmeriyMoulod, 2010). Estas características influyen en algunas de las variables que más afectan al cultivo de fresa como luz, temperatura y humedad; las cuales fueron factores seleccionados junto a la estructura para ayudar al manejo y optimizar el rendimiento del prototipo de invernadero para el cultivo de fresa (Ameri Moulod, 2010).

Para la definición del material más adecuado para la cubierta del prototipo de invernadero tipo túnel, se realizó la comparación por medio de matrices de decisión entre diferentes materiales utilizados y sus características físicas necesarias para cumplir los requerimientos los cuales fueron establecidos en la tabla 6-5.

**Tabla 6-5.:** Características del material de cubierta.

Material/ Criterio	Flexibles		Rígidos		
	Poliétileno	PVC Ondulado	Polimetacrilato de metilo	Poliéster estratificado	Cristal
Características	Calibre 7mm	0,8 mm	5 mm	1,2 mm	3 mm
Filtro UV	Si	Si	No	No	Si
Resistencia a factores externos	Si	-40°C a 120°C	-70°C a 80°C	-70°C a 100°C	Elevada
Duración	2-4 Años	2-3 años	Elevada	Elevada	Elevada
Transparencia	70-75 %	90 %	85-92 %	70 %-80 %	85-90 %
Precio Metro Cuadrado	\$3.340	\$46.223	\$64.800	\$61.458	\$360.000

**Fuente:** Adpatado de (Ameris,2010).

Finalmente, teniendo presente las dimensiones del prototipo de invernadero tipo túnel, y la distribución del espacio, para el sistema de monitoreo de humedad relativa y temperatura, se realizó la comparación y selección analizando las características de diferentes sensores, en cuanto a los requerimientos, para su implementación en el sistema; La información fue tomada de los datasheet de cada dispositivo registradas en la tabla **6-21**.

**Tabla 6-6.:** Características de sensores.

Sensor	Alimentación	Corriente	Rango medición	Precisión	Respuesta (seg)	Higrómetro	Rango de operación	Costo (Pesos)
DHT22	3.3-6V DC	1-1.5Ma	-40° -80 °C 0 a 100%RH	<±0.5 °C 2 % RH	2	Capacitivo Resistivo	-40°C -80 °C 0-100 %RH	\$22.000
HMZ 433A1	5Vdc+5 %	2-5mA -	-20°-60°C 95%o menos	<±0.5 °C 5 % RH	5	Capacitivo	0-60°C 95 %o menos	\$15.000
DHT21 AM2301	3.3Vdc Vec 5.5Vdc	1-1.5mA	-40-80°C 0-100 % RH	<±0.5 °C 3 % RH	5	Capacitive	-40°C-80°C 0-100 % RH	\$21.000
SHT 71	2.4V a 5.5V	2.8mA	-40- 123,8°C 0-100 % RH	±0.4°C ±3%RH	8	Capacitivo	-40°C 25°C 0-100 %RH	\$20.000
BMP280	1,8-3,3V DC	3,6uA -4	-40~80°C 0~100%	± 1 °C ±3 % HR	1	Resistive	4~85°C 0~100 %	\$7.400

**Fuente:** Elaboración propia.

A partir de las características de los sensores de la tabla **6-21**, se seleccionó y adquirió el sensor DHT22, ya que tiene mayor precisión de medición y menor tiempo de respuesta para la obtención de datos, asimismo cumple con los rangos de operación de los requerimientos del monitoreo de temperatura y humedad que requiere el cultivo de fresa.

En cuanto a la selección del CPU, se construyó la tabla **6-7**, en la cual se evidencia las características a tener en cuenta para la elección del microcontrolador y en la tabla **6-8** se encuentra la ponderación respectiva a cada característica del microcontrolador. La información fue tomada de los datasheet de cada dispositivo.

**Tabla 6-7.:** Características de microcontroladores.

Microcontrolador	Pines	Lenguaje de programación	Voltaje de operación	Costo
ESP32	54 Digitales E/S y 16 Análogos de entrada	Java - Arduino IDE	7-12 V	\$58.000
Arduino Uno	14 Digitales E/S y 6 Análogos de entrada	Java - Arduino IDE	7-12V	\$25.000
Wemos D1 mini	11 Digitales E/S	Java - Arduino IDE	3,3 V	\$28.000
MSP430G2 LaunchPad™ Development Kit	24 GPIO's	Java - Energía	1,8 - 3,3 V	\$60.000
PIC 18F4550	35 I/O	Assembler- Basic-C	4.2V a 5.5V	\$25.200

**Fuente:** Elaboración propia.

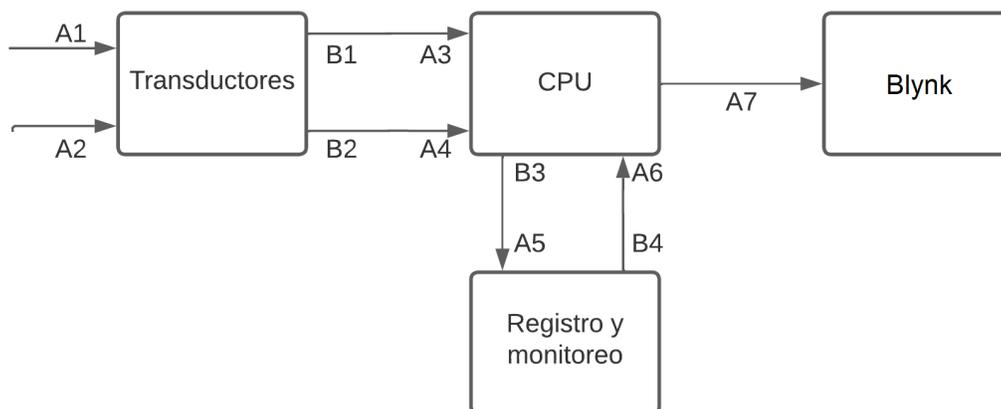
**Tabla 6-8.:** Ponderación de las características de los microcontroladores.

	ESP32	Arduino Uno	Wemos D1 mini	MSP430G2 LaunchPad™ Development Kit	PIC 18F4550
Pines (20%)	5	3	2	3	5
Lenguaje de programación (30%)	5	5	5	5	2
Voltaje de operación (20%)	5	5	2	2	3
Costo (30%)	3	4	4	2	4
Puntuación	4,4	4,3	4,1	3,5	2,4

**Fuente:** Elaboración propia.

Del resultado de la ponderación presentada en la tabla 6-8, se seleccionó el ESP32, ya que es el microcontrolador con mayor puntaje en la ponderación y cumple con los requerimientos operacionales y características para la implementación del proyecto, puesto que tiene la mayor cantidad de pines que pueden ser utilizados para la conexión del sistema de monitoreo de variables químicas y físicas, así como su facilidad de conexión con la plataforma de blynk y en el futuro incorporar nuevas funcionalidades al sistema desarrollado, igualmente cuenta con un entorno de programación sencillo de código abierto que ofrece un sistema de gestión de librerías y placas que facilitan la utilización de otros dispositivos. La tarjeta de desarrollo ESP32 tiene 54 pines de entrada/salida, de los cuales exactamente 14 de ellos pueden ser utilizados como salidas de PWM (Modulación por ancho de pulso), a su vez cuenta con otras 16 entradas analógicas y 4 UARTs (puertos serial). La comunicación con el computador requiere de un cable USB; este cable también sirve para su alimentación, de igual forma se puede alimentar con una fuente externa, sea un arreglo de baterías o un adaptador de alimentación (cargador). Su programación se realiza con el software Arduino (IDE); además en el mercado se pueden encontrar diferentes módulos compatibles con esta tarjeta de desarrollo, lo que facilita la adquisición y montaje de los demás dispositivos.

Para el sistema de monitoreo, de manera general se listan las entradas y salidas mostradas en la figura 6-8 con el fin de identificar el esquema de temperatura y humedad relativa.

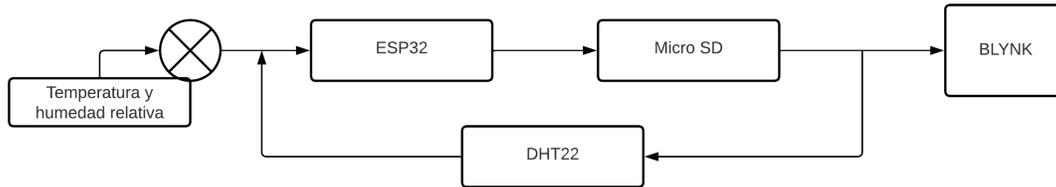
**Figura 6-8.:** Esquema del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa.

**Nota:** A1: Temperatura del prototipo de invernadero, que oscila en un rango entre 10° y 25°C. A2: Humedad relativa del prototipo de invernadero, entre 60 % y 70 %. A3-B1: Temperatura del prototipo de invernadero, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V. A4-B2: Humedad relativa del prototipo de invernadero, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V. A5-B3: Registro de la temperatura y humedad relativa actual del sistema. A6-B4: Almacenamiento de la temperatura y humedad relativa del sistema. A7: Lectura de Temperatura y humedad relativa

**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo presente la figura 6-8, el sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa inicia con la toma de datos por el sensor (DHT22) y la envía al microcontrolador (ESP32), el cual se encarga de realizar el almacenamiento de los valores requeridos por el prototipo de invernadero los cuales se encuentran de 10°C-25°C y 60 %-70 % de humedad relativa para mantener las condiciones ambientales del prototipo de invernadero. Luego el DHT22 toma el valor de la temperatura y envía la señal al microcontrolador. El ciclo se repite continuamente cada hora en un periodo de 8 días. A partir de esto se describe el diseño de cada uno de los módulos que se tienen como resultado del diseño preliminar del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa, teniendo presente los componentes a utilizar que cumplen con los requerimientos mencionados en la sección anterior.

**Figura 6-9.:** Diagrama de bloques del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa.

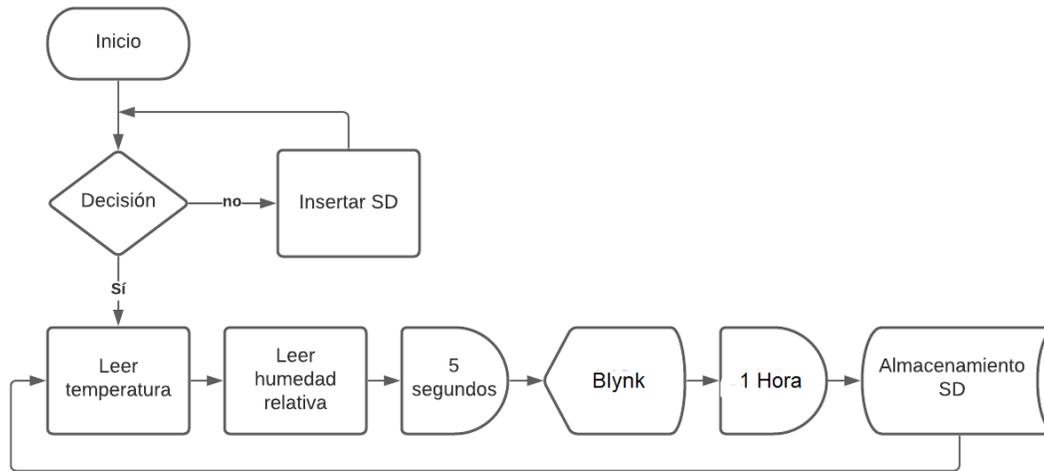


**Fuente:** Elaboración propia

De esta manera, en la Figura 6-9 se presenta el diagrama de flujo del programa realizado para la adquisición de datos de temperatura y humedad relativa y su visualización en la plataforma de blynk y almacenamiento en una unidad Micro SD para el sistema de monitoreo; bajo los requerimientos establecidos para el desarrollo adecuado de la fresa.

Finalmente, se realizó el diagrama de flujo de la programación para la visualización y registro de los datos adquiridos durante el monitoreo de la temperatura y humedad relativa del prototipo de invernadero como se muestra en la figura 6-11, se utilizó la plataforma de blynk, la cual guarda los datos cada hora bajo la extensión TXT (Bloc de notas) en un periodo aproximado de 8 días. Así mismo, se incorporó un módulo RTC DS3231 que permite mantener el valor del tiempo (Fecha-Hora) con el fin de realizar el seguimiento del funcionamiento y monitoreo constante del comportamiento en caso de perder la alimentación.

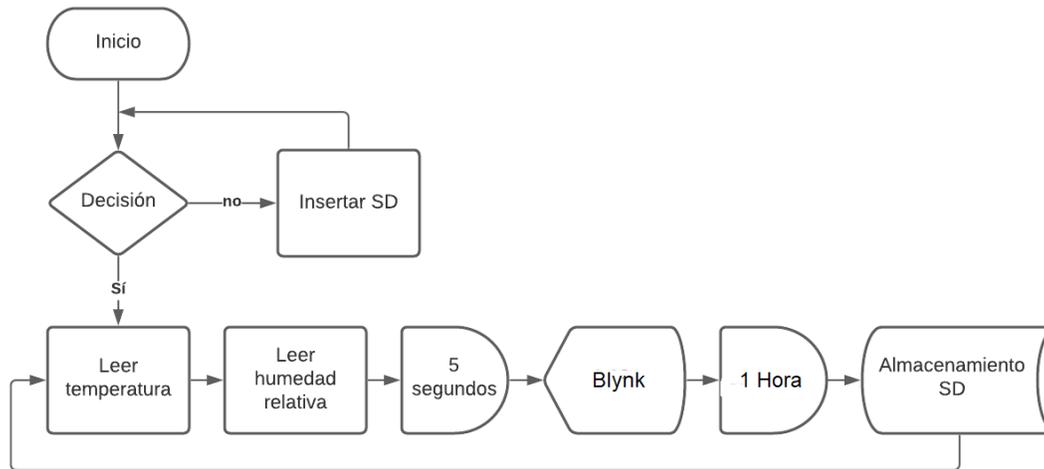
**Figura 6-10.:** Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente, los sensores de temperatura y humedad están diseñados para ser ubicados donde se encuentren protegidos de los rayos del sol y de excesivas turbulencias del flujo de aire (Cantó, 2020). Por lo que se ubicaron los sensores en el interior de las llamadas cajas de medición y en una zona representativa del espacio a monitorear, evitando situarlas próximas a las tuberías, cerca del flujo de viento y ubicados respecto a la altura, próximos a la zona de crecimiento de las plantas.

**Figura 6-11.:** Ubicación de los sensores de Humedad y temperatura.



Fuente: Elaboración propia

### 6.1.5. Diseño detallado del sistema Objetivo específico 2

Para llevar a cabo el desarrollo del objetivo específico número 2, el cual es diseñar un prototipo de cultivo hidropónico NFT con monitoreo de variables químicas (pH y conductividad eléctrica) para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*), se realizó una búsqueda en la cual se tuvieron en cuenta diversos tipos de estructuras para cultivos hidropónicos, en función de la forma, longitud y distribución, así como los materiales que se utilicen en la estructura y en los canales.

En este caso se realizó la selección de un tipo específico de cultivo hidropónico haciendo uso de la técnica de Nutrient Film Technique (NFT), ya que el sistema NFT se ha convertido en una técnica de investigación muy útil para la experimentación en nutrición vegetal debido a que permite aumentar la capacidad de controlar el entorno de las raíces, así como el uso mínimo de agua y nutrientes lo que ha hecho muy deseable su práctica (Burrawe, 1993).

Teniendo presente las dimensiones del prototipo de invernadero, y los requerimientos necesarios para la distribución de las plantas, los cuales refieren a una distancia entre plantas de 30 cm y entre surco o línea de cultivo de 20 a 25 cm en tubería (Intagri, 2014), se realizó la búsqueda de las diferentes geometrías que existen para el cultivo hidropónico de fresa, para su construcción dentro del prototipo de invernadero. Se tuvo en cuenta dos factores, primero las dimensiones generales y geometría y finalmente la forma y longitud de los canales.

Teniendo presente lo anterior, y los requerimientos propios de la morfología de la fresa se

construyó la tabla **6-9** con las diferentes geometrías tenidas en cuenta para la elaboración del sistema de nutrición. De esta manera, se seleccionaron los canales ya que proporcionan un mejor control de la solución nutritiva y no tiene pérdidas de la misma por drenaje o filtraciones.

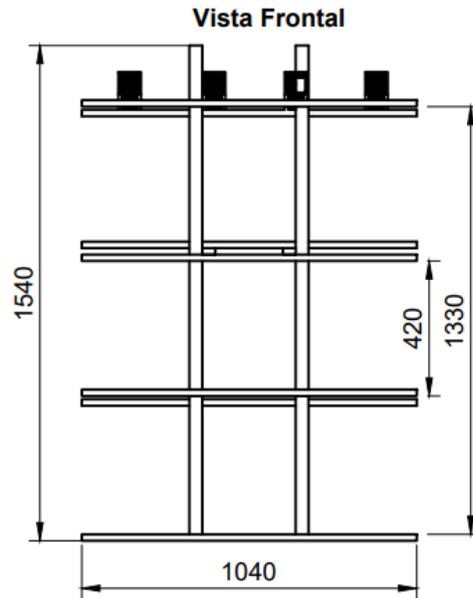
**Tabla 6-9.:** Características de opciones de geometría del prototipo de cultivo hidropónico NFT.

Estructura	Tubos Verticales	Cultivo en balsa	Flujo Profundo	Canales
Costo	Bajo	Elevado	Elevado	Medio
Ventajas	Adecuado para cultivos de pequeño porte como fresas.  Tubos de polietileno rellenos con sustratos ligeros.	Malla de unos 6 a 12 cm del borde superior que sirve de soporte a las plantas en crecimiento.	La solución nutritiva es monitoreada, rellenada, recirculada y aireada.  Las plantas son tendidas en un plano horizontal simple para una máxima intercepción de la luz solar.	Se logra gran control sobre el agua y los nutrientes.  No hay pérdida de agua por drenaje, evaporación o filtraciones.  Requiere menos solución nutritiva.
Desventajas	Requieren una gran área de invernadero con utilización mínima del espacio vertical.  La solución nutritiva, generalmente no se recircula dejándose drenar desde la base de los tubos.	Plantas susceptibles al trasplante.  Perforaciones en la tina, a la altura del espacio de aire para favorecer la entrada del mismo a las raíces.	Requiere demasiado espacio. Su implementación requiere un gran volumen de plantas y solución nutritiva.	Es necesario realizar análisis químicos periódicos a la solución.  Se debe mantener un volumen constante en el depósito.

**Fuente:** Adaptado de (Oasis,2002).

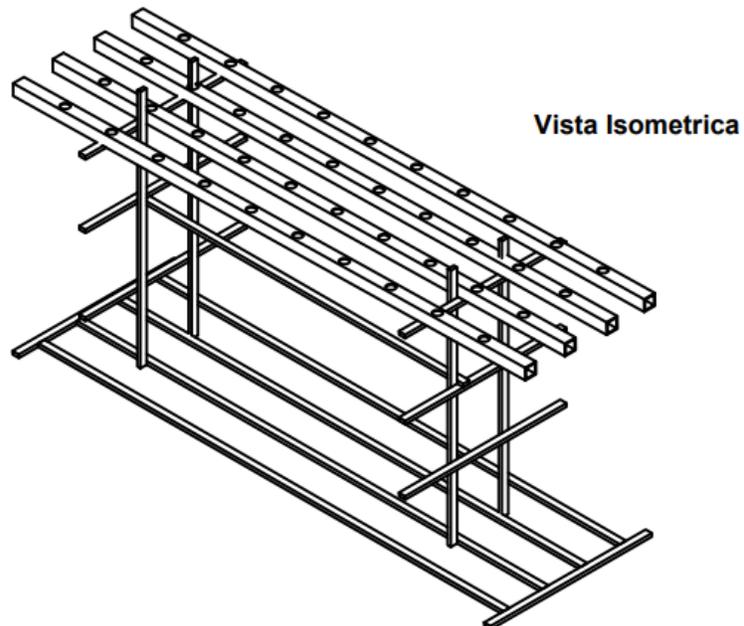
Teniendo presente la información recolectada, el diseño del prototipo cuenta con unas dimensiones finales de 3m x 1m x 1.5m, ya que la altura mínima del prototipo de invernadero es de 2 m (Min) y máxima de 2.5 m (Max) y un largo de 5 m permitidos con un desnivel del suelo cuya inclinación es de 19° y la vegetación en la zona. De esta manera mediante el software Fusión 360, se modeló el boceto paramétrico como se muestra en la figura **6-12** y en la figura **6-13** la vista isométrica del sistema, para finalmente como se muestra en el anexo A.3 las dimensiones y diseño final de la estructura.

**Figura 6-12.:** Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Frontal Escala 1:20 (mm).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-13.:** Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Isométrica Escala 1:20 (mm).



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para el sistema de riego, se tuvo en cuenta los requerimientos hídricos de la planta, la cual consume un promedio entre 450 mL/día y 600 mL/día, (Cámara de comercio, 2020), de esta manera se planteó la ecuación 6-5 con la cual se calculó el volumen necesario por día para el cultivo, y determinar el requerimiento de caudal para la selección de la electrobomba.

$$V_{Total} = 600 \text{ mL/Día} * 40 \text{ Plantas} = 24 \text{ L/Día} \quad (6-5)$$

Una vez se calculó el caudal necesario por día, se tuvo en cuenta la electrobomba disponible en el sitio, la distribución de los tiempos de riego y el caudal de entrada al sistema para satisfacer las necesidades hídricas de la planta. De manera que a partir de la ecuación 6-6, y teniendo presente que la electrobomba disponible brinda un caudal de 30 l/min, la cual según la curva de rendimiento se encuentra dentro del rango necesario para satisfacer el requerimiento de agua por día y una descarga a 1" se planteó la ecuación 6-7; Ahora bien el área de descarga de la bomba se calculó por medio de la ecuación 6-8 y el caudal máximo de 30 l/min = 0.0005 m<sup>3</sup>/s, de manera que remplazamos en la ecuación 6-7 y obtenemos la velocidad como se muestra en la ecuación 6-9.

$$Caudal(Q) = V * A \quad (6-6)$$

$$V = \frac{A}{Q} \quad (6-7)$$

$$1'' = 2,54 \text{ cm} = A = \pi * r^2 = 0,00050670 \text{ m}^2 \quad (6-8)$$

$$V = \frac{0,00050670 \text{ m}^2}{0,0005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 1,01341 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6-9)$$

Es importante tener en cuenta que si se tiene un caudal mayor de entrada, respecto a la descarga, los tubos se empezarán a llenar, pues cuando el fluido se introduce en la región de menor diámetro, al ser menor el área A, la velocidad deberá ser mayor, para que se mantenga constante el fluido, de lo contrario el tubo se desbordaría. De manera que se seleccionó el microtubo que tiene un medida de salida de aprox 6 mm; a partir de esto se remplace en la ecuación 6-6 y tenemos la ecuación 6-11.

$$Caudal(Q) = V * \pi * r^2 = 3,1416 * (0,003 \text{ m})^2 = 0,00002827 \text{ m}^2 \quad (6-10)$$

$$Caudal(Q) = 1,01341 \text{ m/s} * 0,00002827 \text{ m}^2 = 0,00002864 \text{ m}^3/\text{s} = 1,718 \text{ L/min} \quad (6-11)$$

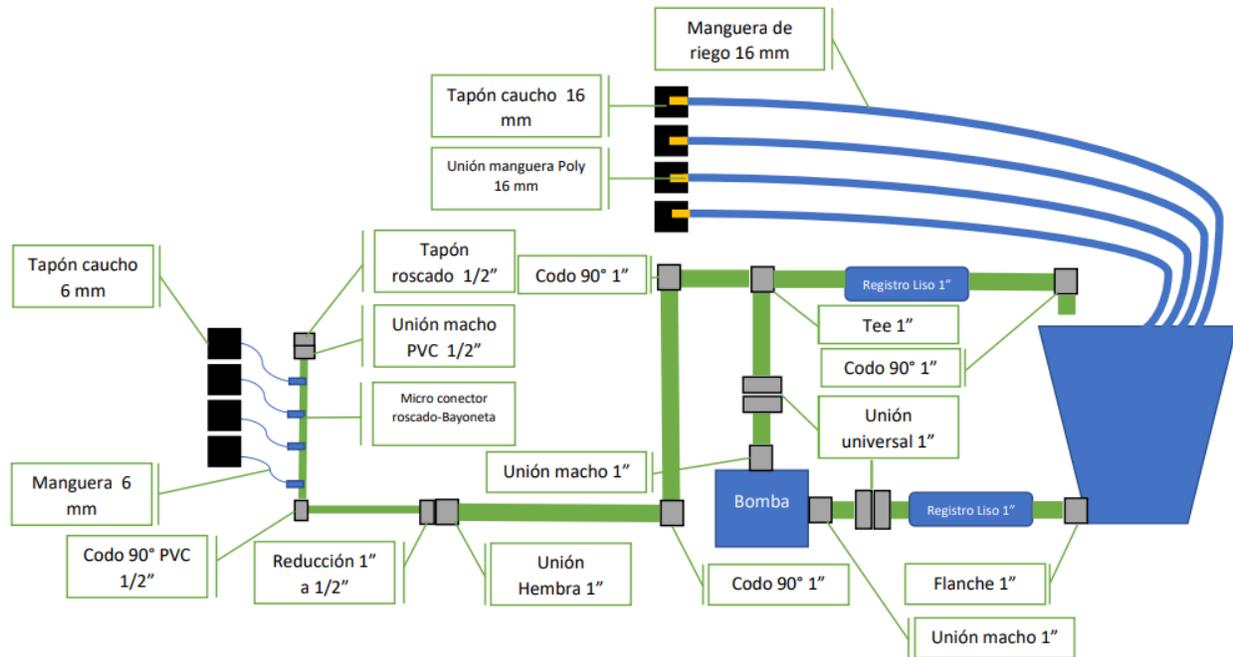
Se debe tener en cuenta que el sistema contempla un retorno para que este caudal de salida se pueda regular y permita mediante una caída de agua oxigenar el agua y reducir el riesgo de presencia de microalgas. Para el caso del drenaje y teniendo presente lo anterior, se tuvo en cuenta un área mayor para permitir el drenaje y aumento de caudal para tener un flujo laminar dentro del canal de siembra, es decir, el caudal de salida en este caso para la manguera de 16 mm, sería remplazado en la ecuación 6-6 y se obtuvo como resultado la ecuación 6-12.

$$Caudal(Q) = V * pi * r^2 = 3,1416 * (0,008\text{m})^2 = 0,00020106\text{m}^2 \quad (6-12)$$

$$Caudal(Q) = 0,425\text{m/s} * 0,00020106\text{m}^2 = 0,000085451\text{m}^3/\text{s} = 5,12707\text{L/min}.$$

Finalmente, teniendo presente el cálculo de caudal, se planteó el diseño del sistema de riego, teniendo en cuenta la salida de la electrobomba en 1ϕ con tubería PVC como se muestra en la figura **6-14**.

Figura 6-14.: Plano sistema de riego cultivo NFT.



Fuente: Elaboración propia

Para los tiempos de riego se realizó el cálculo teniendo en cuenta el caudal de entrada en el sistema y los 4 canales de siembra, en este caso se plantea la ecuación 6-13, posteriormente dividimos el volumen total necesario para satisfacer el requerimiento hídrico de manera que obtenemos el tiempo total necesario como se muestra en la ecuación 6-14.

$$\frac{1,718 \text{ L}/\text{min}}{4} = 0,4295 \text{ L}/\text{min} \quad (6-13)$$

$$\frac{24 \text{ L}}{0,4295 \text{ L}/\text{min}} = 55,87 \text{ min} \quad (6-14)$$

Finalmente, teniendo presente que autores como el profesor Antonio Rosas Roa, Intagri y según las buenas prácticas agrícolas (BPA) recomiendan realizar riegos solo durante las horas día, se plantea la ecuación 6-15 con un periodo de tiempo total de 8 horas luz en el cuál remplazando en la ecuación se obtiene un total de 7 riegos de 8 min.

$$\frac{55,87 \text{ min}}{8} = 6,98 \approx 7 \quad (6-15)$$

Ahora bien, para la selección de sensores es importante tener en cuenta en este caso la calibración de pH y de conductividad eléctrica ya que se encuentra dentro de un líquido. De esta manera el sensor de pH, permite medir el nivel de acidez de una sustancia para luego evaluar la calidad de agua (ácido o básico), la medición por medio del electrodo se puede hallar entre 0 a 14. Existen diferentes sensores, dentro de los cuales se buscaron características específicas registradas en la tabla **6-10**.

**Tabla 6-10.:** Características de los sensores de pH comerciales.

Especificaciones	Sensor pH cooking hacks	Gravity: Analog pH Sensor	Sensor pH 4502C
Precisión	0.017	0.1	0.1
Rango de funcionamiento	0-14	0-14	0-14
Tiempo de respuesta	<1 min	<1 min	<1 min
Calibración	No	No	No
Acondicionador	No	Si	Si
Temperatura	0-80°C	0-60°C	0-50°C
Longitud del cable	-	2m	1m
Conector sonda	BNC	BNC	BNC

**Fuente:** Adaptado de (Sigma Electronica, 2021)

Teniendo en cuenta la tabla **6-10**, el sensor de pH 4502C como se muestra en la figura **6-15**, cuenta con los requerimientos más apropiados en términos de precisión y rango de operación para realizar el montaje experimental del sistema de monitoreo de variables químicas.

**Figura 6-15.:** Boceto Paramétrico del prototipo de cultivo hidropónico Vista Isométrica Escala 1:20 (mm).



**Fuente:** Tomado de Oña Paucar, E. S. (2020)

Por otro lado, el sensor de conductividad eléctrica mide la cantidad de corriente eléctrica que un material es capaz de transportar, puede ser utilizado para hacer una medición de la conductividad en una solución acuosa que no requiere de estar sumergido todo el tiempo. De esta manera se construyó la tabla **6-11**, en la cual se describen las características de 3 sensores más comerciales para la medición de conductividad eléctrica.

**Tabla 6-11.:** Características de los sensores de Conductividad eléctrica comerciales.

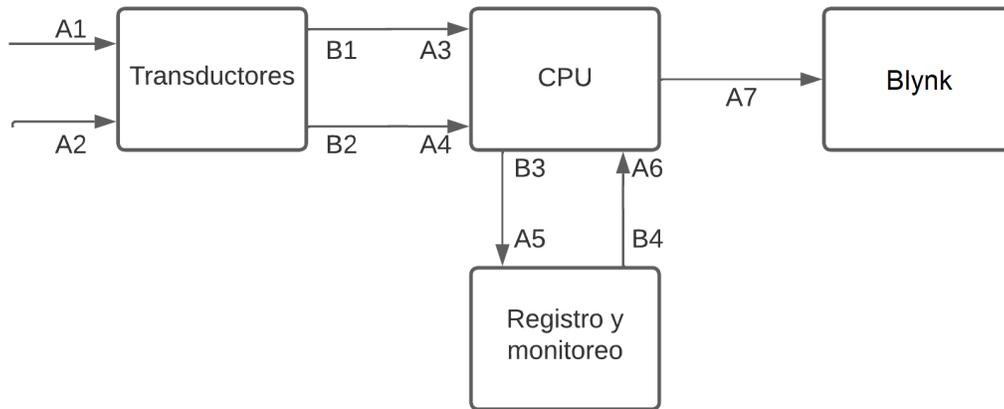
Especificaciones	EC/pH Transmitters	DFR 0300	Conductivity Probe K 1.0.
Precisión	2 %	5 %	2 %
Rango de funcionamiento	0-5000 uS/cm	0-20000 uS/cm	5-200000 uS/cm
Tiempo de respuesta	NR	NR	1 seg
Calibración	No	Si	Si
Acondicionador	No	Si	No
Temperatura	40°C	0-40°C	1-110°C
Longitud del cable	1m	1m	1m
Constante de celda (k)	1k	1k	1k
Conector sonda	4 cables	BNC	BNC

**Fuente:** Elaboración propia.

Para el sistema de monitoreo, de manera general se listan las entradas y salidas mostradas

en la figura 6-16 con el fin de identificar el esquema de Conductividad eléctrica y pH.

**Figura 6-16.:** Esquema del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica.

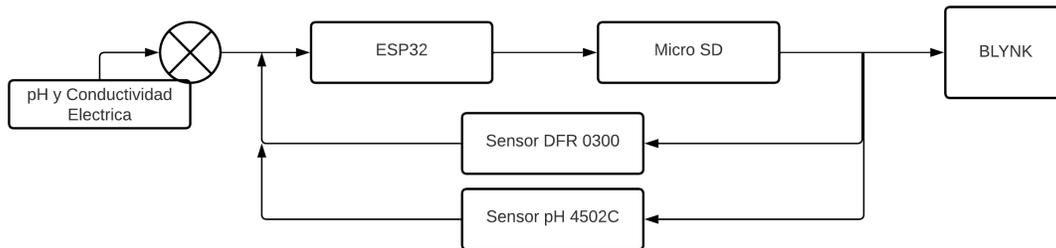


**Nota:** A1: pH de la solución nutritiva, que oscila en un rango entre 6.5 y 7. A2: Conductividad eléctrica de la solución nutritiva, entre 1 dSm y 2 dSm. A3-B1: pH de la solución nutritiva, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V. A4-B2: Conductividad eléctrica de la solución nutritiva, transformada a unidades eléctricas de voltaje entre 0V y 5V. A5-B3: Registro del ph y conductividad eléctrica de la solución nutritiva actual del sistema. A6-B4: del ph y conductividad eléctrica de la solución nutritiva del sistema. A7: Lectura de del ph y conductividad eléctrica de la solución nutritiva.

**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo presente la figura 6-8, el sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica, inicia con la toma de datos por el sensor (DFR 0300) y el (pH 4502C) y la envía al microcontrolador (ESP32), el cual se encarga de realizar el almacenamiento de los valores requeridos por la solución nutritiva los cuales se encuentran de entre 6.5 y 7 de pH y 1 dSm a 2 dSm de conductividad eléctrica para mantener las condiciones óptimas de la nutrición de la planta. Luego cada sensor toma la medida y envía la señal al Arduino. El ciclo se repite continuamente cada hora en un periodo de 8 días. A partir de esto se describe el diseño de cada uno de los módulos que se tienen como resultado del diseño preliminar del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica, teniendo presente los componentes a utilizar que cumplen con los requerimientos mencionados en la sección anterior.

**Figura 6-17.:** Diagrama de bloques del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica.

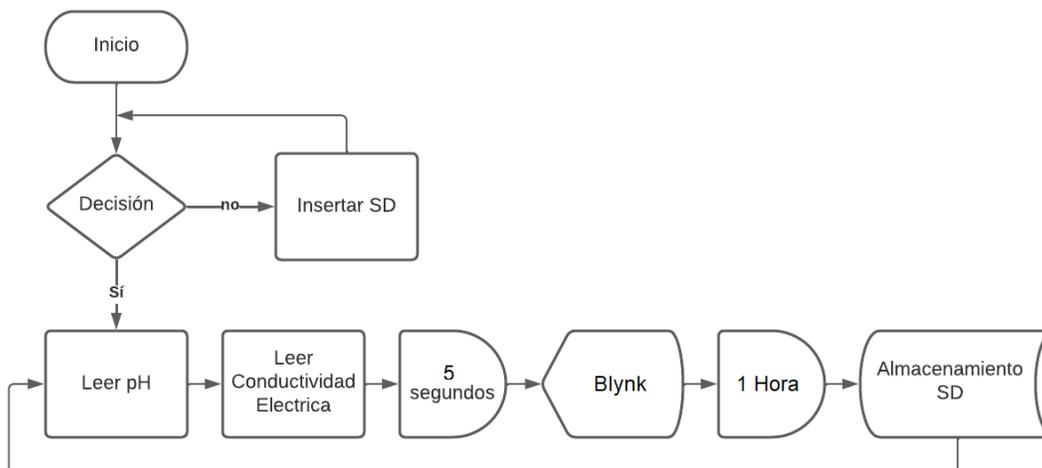


**Fuente:** Elaboración propia.

De esta manera, en la Figura 6-9 se presenta el diagrama de flujo del programa realizado para la adquisición de datos de pH y conductividad eléctrica y su visualización la plataforma de Blynk; bajo los requerimientos establecidos para el desarrollo adecuado de la fresa.

Finalmente, se realizó el diagrama de flujo de la programación para la visualización y registro de los datos adquiridos durante el monitoreo del pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva como se muestra en la figura 6-18 , se utilizó la plataforma de blynk y un módulo de tarjeta SD Card Adapter, la cual guarda los datos cada hora bajo la extensión TXT (Bloc de notas) en un periodo aproximado de 8 días. Así mismo, se incorporó un módulo RTC DS3231 que permite mantener el valor del tiempo (Fecha-Hora) con el fin de realizar el seguimiento del funcionamiento y monitoreo constante del comportamiento en caso de perder la alimentación.

**Figura 6-18.:** Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de pH y conductividad eléctrica.



**Fuente:** Elaboración propia

## 6.2. Implementación objetivo específico 3

Para llevar a cabo la implementación de manera integrada el prototipo de cultivo hidropónico NFT y el prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa variedad Albión (*Fragaria ananassa*) con monitoreo de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica, se inició primero como herramienta para la construcción del prototipo de invernadero tipo túnel, con el cercamiento del área destinada para su construcción (5mx5m) como se muestra en la figura **6-1** y construir 4 escuadras con el fin de tener 90° en cada una de las esquinas del área destinada. Posteriormente a una profundidad de 20 cm 4 se enterraron estacas como anclajes al suelo de la estructura para finalmente limpiar el área de arvenses, se distribuyó uniformemente la tierra dentro el área y se niveló el terreno.

Haciendo uso de los listones de madera, se cortaron a las medidas especificadas en planos que se muestran en el anexo 2 y 3 cada uno de los elementos que componen el marco estructural de la fachada y la parte posterior del prototipo de invernadero para finalmente colocarlos en la zona demarcada como se muestra en la figura **6-19**. Se ubicaron los laterales del marco de la puerta a una profundidad de 20 cm y relleno con piedra y tierra el con el objeto de sostener la estructura.

**Figura 6-19.:** Implementación prototipo de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

A. Estructura Base prototipo de invernadero. B. Extensión del plástico de invernadero calibre 6. C. Vista lateral prototipo de invernadero y colocación de polisombra. D. Vista isométrica del prototipo de invernadero terminado.

Una vez ubicadas y correctamente aseguradas las uniones del marco estructural, se extendió la malla de acero galvanizado unida transversalmente mediante alambre y fijada a la madera de manera que la estructura quedara firme, adicionalmente se reforzó la estructura internamente colocando 4 puntos de apoyo para sostener la malla y finalmente asegurar la cubierta.

Posteriormente se realizó una zanja alrededor de la estructura del prototipo de invernadero con el objeto de drenar el agua lluvia con una profundidad de 20 cm, una vez se extendió el plástico para invernadero calibre 6, de manera que quedara lo más templado posible y finalmente se colocó en la parte inferior de los laterales del invernadero una malla poli sombra para permitir la ventilación de acuerdo al cálculo presentado en la sección de diseño.

Luego de colocación de la cubierta, se dispuso a hacer la entrada al prototipo de invernadero con el objeto de tener un acceso fácil; asimismo la colocación de una malla anti-trip

para evitar la entrada de insectos y permitir la adecuada ventilación para finalmente como se muestra en la parte C Y D de la figura 6-19, la implementación del prototipo de invernadero.

**Figura 6-20.:** Implementación del sistema NFT.



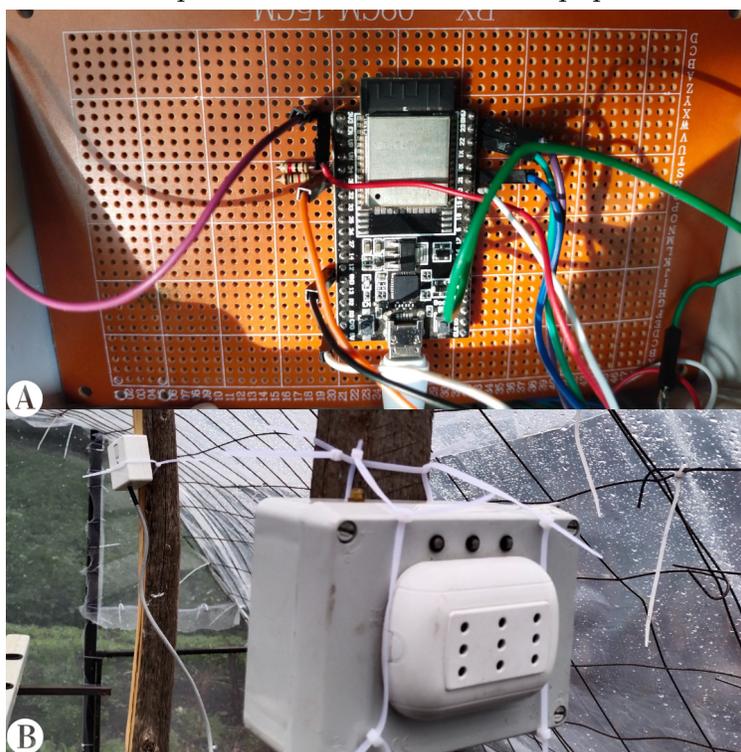
**Fuente:** Elaboración propia

Por otro lado, la implementación del sistema NFT, haciendo uso de los listones de madera previamente cortados y tratados con pintura inmunizante para evitar la pudrición y alargar su vida útil, acorde a los planos cada uno de los elementos que componen el marco estructural fueron ensamblados y dispuestos dentro del prototipo de invernadero. Posteriormente teniendo en cuenta los materiales adquiridos previamente del kit de NFT, se instalaron los canales de acuerdo a los planos descritos en el A.3, permitiendo la ubicación y distribución evitando generar sombras o deficiencias de luz en las plantas, asimismo teniendo presente el diseño del sistema de riego fue implementado de manera que permitiera el flujo laminar dentro de la tubería como se muestra en la figura 6-20, asimismo, para el sistema de riego

se implementó un temporizador para automatizar el encendido y apagado de la bomba y permitir el recirculamiento de la solución nutritiva teniendo en cuenta 7 tiempos de riego desde las 8 de la mañana a las 4 de la tarde por un tiempo de 8 minutos de acuerdo a los cálculos realizados en la sección de diseño.

Por otro lado, como resultado de la implementación del sistema de monitoreo de variables físicas y químicas, teniendo un promedio de temperaturas promedio de 20°C en día y 15°C en noche lo que permite tener el delta de temperatura necesario para la fructificación de la Fresa. Y en consecuencia una vez implementado el circuito como se muestra en la figura 6-21, los valores de pH y conductividad eléctrica, humedad y temperatura se registraron en la plataforma blynk como se muestra en la parte inferior de la figura 6-22 luego de ser calibrados a partir de instrumentos de referencia como se especificó en el anexo de protocolo de pruebas.

**Figura 6-21.:** Implementación circuital del equipo de monitoreo.



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 6-22.: Interfaz de monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se llevó a cabo el proceso de siembra, lavando la raíz de la plántula y retirando impurezas propias del sustrato donde se encontraba germinada la plántula; posterior a ello se colocaron las canastillas de caucho procurando que la raíz quedara expuesta en la parte inferior con el objetivo de que entre en contacto con la solución nutritiva; a la par se hidrato con agua el sustrato de coco 50-50 con el objeto de dar soporte en la canastilla y permitir una mayor retención de agua y nutrientes y un adecuado intercambio catiónico en la planta

como se muestra en la figura 6-23.

**Figura 6-23.:** Proceso de siembra



Fuente: Elaboración propia

A. Plántula de Fresa en sustrato de germinación con raíz completamente cubierta. B. Raíz de la plántula de Fresa completamente expuesta luego de ser sumergida en agua para retirar el sustrato de germinación. C. Colocación de la canastilla de caucho en la base de la corona de la fresa junto con el sustrato de coco 50-50. D. Siembra de las 40 plántulas de fresa en el sistema.

De esta manera se sembraron las plantas en el sistema NFT y finalmente se calibró la solución nutritiva a 1040 uS como se muestra en la figura 6-24 con un pH de 6.9 tomados con el equipo calibrador y en consecuencia con el equipo de monitoreo como se muestra en la figura 6-22 en la parte inferior.

**Figura 6-24.:** Conductividad en tanque

Fuente: Elaboración propia

Equipo de calibración de HM Digital COM-360 como referente de medición.

Por último, realizando la programación del temporizador correspondiente, se estipularon 7 riegos automáticos para realizar la hidratación de la raíz y para la correcta absorción de nutrientes por parte de la planta, cada riego se programó de 8 minutos, esto se estipuló luego de realizar el cálculo y la medición de caudal por parte de la entrada con respecto a la salida, teniendo en cuenta, en primer lugar la oxigenación del agua por la recirculación, ya que si la raíz pierde humedad comienza un proceso de estrés en la planta y sus procesos fenológicos se realizan más lento; en contraposición si se realizan demasiados riegos, esto causa un exceso de humedad en la raíz y puede presentar la condición de podredumbre de raíz. A partir de esto el sistema quedó en operación, realizando el monitoreo de las variables para el seguimiento y ajuste si fuese necesario.

Se tiene presente que la planta de fresa tiene un ciclo aproximado de 3 meses en estado vegetativo, luego da inicio a su floración, y finalmente entra en periodo de producción, en la figura 6-25 se puede observar el desarrollo vegetativo que desarrollaron las plantas en el sistema NFT, desarrollando hojas nuevas desde su corona principal, con características de hojas verdes y brillantes sin presencia de alguna enfermedad o estrés; por otro lado, en el cultivo en suelo, como se observa en la figura 6-26, que aunque desarrollaron mayor número de coronas las afectación por heladas, lluvias, y en particular arañita roja, dieron como resultado hojas más pequeñas, con un color verde menos intenso y sin brillo.

**Figura 6-25.:** Etapa Vegetativa plantas NFT.



**Fuente:** Elaboración propia

A. Desarrollo vegetativo y desarrollo de flor desde la corona. B. Crecimiento de nuevas hoja

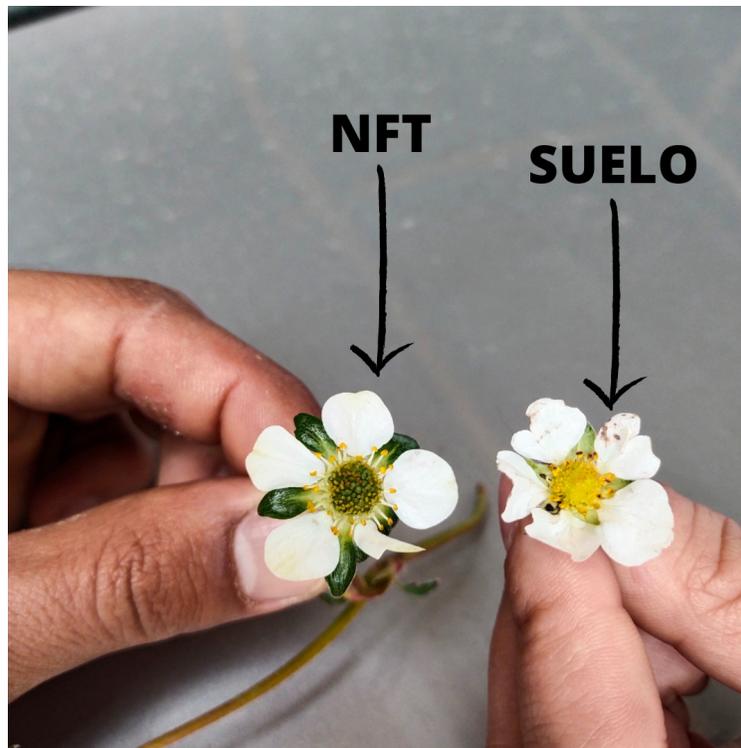
**Figura 6-26.:** Etapa Vegetativa plantas suelo.



**Fuente:** Elaboración propia

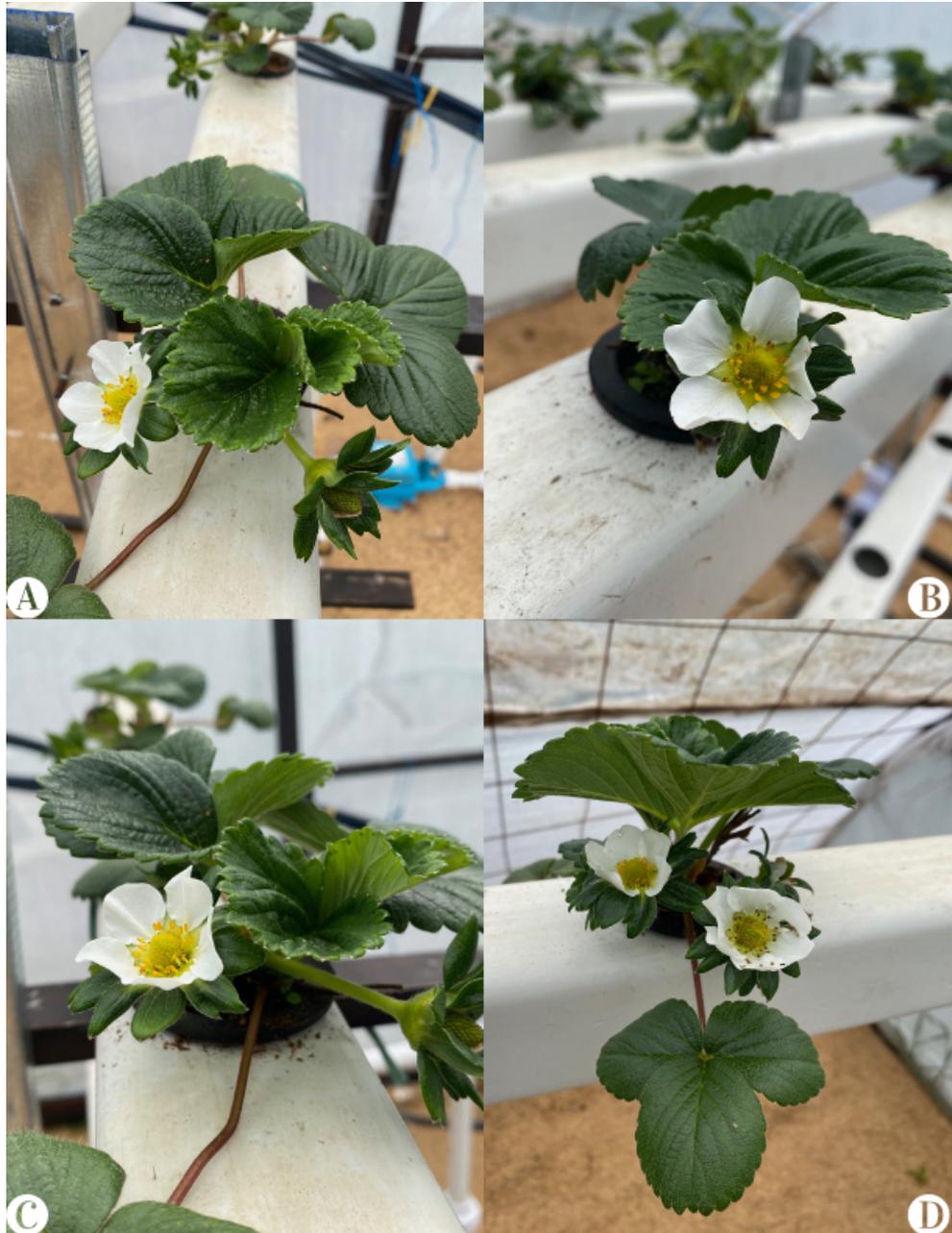
Ahora bien, en promedio por cada planta se generó 2 flores en el primer desarrollo floral, a medida del paso del tiempo, se evidencia la generación de más yemas florales desde la corona principal de la planta, es de suma importancia evidenciar el tamaño de la flor y sus características físicas ya que pueden ser indicio, por alguna decoloración o malformación, de deficiencias a nivel nutricional, lumínica o estrés hídrico para hacer las correcciones pertinentes; por lo cual como se muestra en la figura **6-27**, la flor de la planta de fresa en el cultivo NFT presente mayor vigorosidad, pétalos uniformes, hojas verdes y fruto en formación, a diferencia de la flor del cultivo en suelo, que presenta decoloración en pétalos, ausencia de hojas verdes y fructificación nula que puede ser debido a deficiencias a nivel nutricional, causando una mal formación de la yema floral, desarrollando pétalos incompletos y más delgados a comparación de las flores en el cultivo NFT.

**Figura 6-27.:** Desarrollo botón floral



**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, en la figura **6-28** podemos observar el paso de estado vegetativo ha estado en floración a partir de los 82 días desde la siembra en la mayoría de las plantas de la unidad.

**Figura 6-28.:** Desarrollo botón floral

Fuente: Elaboración propia

Nota: Botón floral al día 82 desde la siembra en el sistema NFT.

En las figuras 6-29 se muestra la afectación que presentaron en total 2 plantas de fresa, se evidencia una falta de desarrollo a nivel vegetativo tanto foliar como a nivel radicular por causa de la pudrición de la raíz, ya que esta tornó a un color marrón oscuro emitiendo un olor fétido, por lo que se procedió a retirarla completamente del sistema y reemplazar la planta para evitar que contamine las demás plantas que se encuentran en buen estado, ya

que esta pudrición de la raíz puede causar un hongo en el agua y transmitirlo a las demás plantas al ser un sistema recirculante.

**Figura 6-29.:** Planta seca



**Fuente:** Elaboración propia

A. Deficiencia de crecimiento a nivel vegetativo B. Pudrición de raíz

Luego de su paso del desarrollo del botón floral, poda de hojas marchitas, retirado de plantas afectadas, revisión de variables ajustando manualmente el control de pH y conductividad, la planta dio inicio a la etapa de cuajo y llenado de los frutos del primer desarrollo floral obtenido, como se puede observar en la figura 6-30, se evidencia un mejor crecimiento a nivel vegetativo y de desarrollo de nuevas yemas florales, así mismo, el primer botón floral desarrollado está en proceso de cuajo de fruto y de llenado del mismo, se realizó la revisión de la planta para evidenciar cualquier deficiencia o afectación que presentase, tanto las hojas, frutos y raíz, se encontraban en buenas condiciones físicas.

**Figura 6-30.:** Desarrollo cuajado del fruto con raíz sana.



**Fuente:** Elaboración propia

- A. Desarrollo del cuajado de fruto B. Crecimiento a nivel vegetativo y cuajado del fruto C. Crecimiento diferentes yemas florales y cuajado D. Raíz sana color blanco y cuajado de frutos

Finalizando el proceso del fruto en las plantas, se puede observar en la figura **6-31** algunos de los frutos en su etapa de maduración, llenado y frutos listo para cosecha, los cuales fueron tomados de la planta para su proceso de evaluación de variables físicas.

**Figura 6-31.: Llenado y Maduración del fruto**



**Fuente:** Elaboración propia

A. Fruto en proceso de llenado y en maduración B. Fruto en proceso de llenado, maduración y fruto sobremadurado C. Plantas con frutos D. Fruto madurado

En la figura **6-32**, se evidencia la afectación que presentaron en total 3 frutos por pudrición dada la alta humedad relativa, ya que, se presentaron altas precipitaciones en zona.

**Figura 6-32.:** Afectacion por pudricion en fruto



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6-33.:** Unidad productiva



Fuente: Elaboración propia

### 6.3. Desarrollo Objetivo Específico 4.

Finalmente para el cumplimiento del objetivo específico número 4, a medida que se fueron registrando los datos en la tabla A.4, como recolección de información de diámetro, peso y cantidad de frutos por planta del cultivo hidropónico en sistema NFT de 40 muestras, se obtuvo como datos promedio como se muestra en la tabla **6-12**, y al mismo tiempo como recolección de información de diámetro, peso y cantidad de frutos por planta del cultivo en suelo registrados en la tabla A.5, se obtuvo como datos promedio como se muestra en la tabla **6-13**.

**Tabla 6-12.:** Tabla de resultados promedio cultivo NFT.

Promedio Diámetro (cm)	Promedio Peso (gr)	Promedio Brix	Promedio Frutos por planta
3,70	15,97	11,02	2

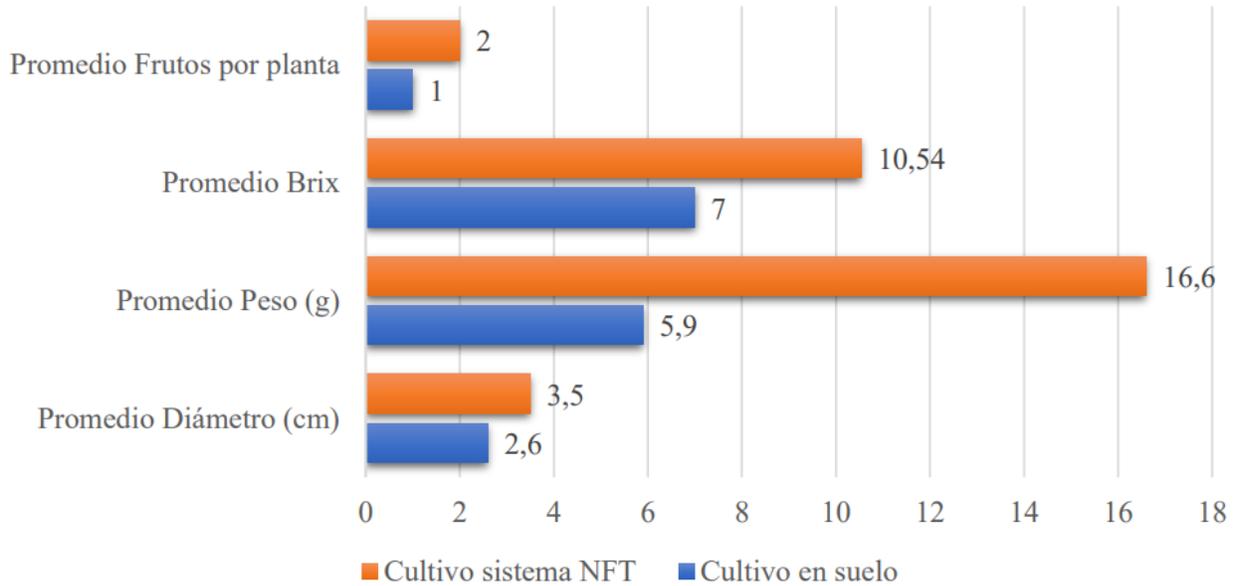
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6-13.:** Tabla de resultados promedio cultivo en suelo.

Promedio Diámetro (cm)	Promedio Peso (gr)	Promedio Brix	Promedio Frutos por planta
2,6	5,9	7	1

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos se construyó la figura **6-34**, en la cual se evidencia la diferencia a primera cosecha en términos de diámetro, peso, grados brix y número de frutos por planta del cultivo tradicional y el cultivo en el sistema NFT. Por un lado, se obtuvo una diferencia en diámetro promedio de 0,9092 cm, en peso una diferencia de 10,61 gramos, en grados brix una diferencia de 2,75 y finalmente una diferencia en promedio de frutos por planta de 0,6. Finalmente se obtuvo en la muestra de laboratorio de una muestra de 100 gr de la cosecha en suelo 0.052mg/Kg de clorpirifos y 0.150 mg/Kg de metamidofos, los cuales se encuentran 0.01 mg/Kg por encima del LMR permitido por el Codex alimentarius.

**Figura 6-34.:** Resultados promedio Cultivo en suelo VS cultivo NFT.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente como resultados del monitoreo de variables físicas y químicas, se tomaron datos desde el día 1 de siembra, hasta el día 82 en cuál se obtuvieron los primeros frutos en el sistema NFT y el cultivo en suelo, de esta manera se extrañaron los datos de la unidad de monitoreo obteniendo la tabla que se muestra en el anexo **6-22**, a partir de la cual se obtuvo como se muestra en la tabla **6-14** una temperatura promedio de 20,28°C y una humedad relativa de 72 %, así como las variables químicas, un pH con un promedio de 6.7 y conductividad eléctrica con un promedio de 942 uS.

**Tabla 6-14.:** Tabla de resultados promedio variables Físicas y Químicas del prototipo de invernadero.

Promedio Temperatura °C	Promedio Humedad relativa %	Promedio pH	Promedio Conductividad Eléctrica uS
20	72	6,7	943

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6-15.:** Productos de síntesis química utilizados por el agricultor en el cultivo tradicional de fresa. Fuente: Elaboración propia.

PRODUCTO	Toxicidad	Clasificación
Lorsban™ 4 EC	I	Insecticida/acaricida
Nadir® 600 SL	II	Insecticida
Amistar® TOP CS	II	Fungicida

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6-16.:** Productos de síntesis química utilizados por el agricultor en el cultivo tradicional de fresa. Fuente: Elaboración propia.

RESIDUALIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS		
	NFT	SUELO
Ingrediente Activo	Concentration (mg kg <sup>-1</sup> )	
Clorpirifos	0	0.052
Metamidofos	0	0.150
Azoxistrobina	0	0.037

Fuente: Adaptado de AQR labs, resultados de laboratorio.

**Tabla 6-17.:** Resultados del promedio de medición de temperatura y humedad relativa.

CULTIVO	Temperatura Promedio °C	Humedad relativa %	Conductividad eléctrica uS	pH
Prototipo de invernadero	20	72	943	6.7
Aire libre	15	89	NA	NA

Fuente: Elaboración propia.

## 7. Discusión

Partiendo desde el diseño del prototipo de invernadero, utilizando la metodología CDIO y la metodología AGILE, se logró identificar posibles mejoras al sistema en cuanto al dimensionamiento y escalabilidad del prototipo, pues se contaban con requerimientos de restricción asociados al espacio y dinero que limitaron el alcance del proyecto. En este caso, el levantamiento de requerimientos y diagnóstico inicial permitió acercarse al modelo más cercano a una implementación a nivel urbano productiva, pues los interesados en la finca por el desarrollo del proyecto evidenciaron un rendimiento mucho mejor en calidad de las plantas sembradas bajo el sistema, que en suelo. Por otro lado, en el diseño de camas de NFT, y el cálculo del tiempo de riego teniendo presente el requerimiento hídrico de la planta, permitió dar un acercamiento a la escalabilidad del sistema para aumentar la densidad de siembra, ya que con la capacidad diseñada para el sistema de riego se podrían sembrar en técnica NFT un aproximado de 60 plantas.

La implementación del prototipo de invernadero y el sistema elevado de siembra ofrece numerosas mejoras en el cultivo en comparación con el cultivo en suelo, teniendo presente la tabla **6-17**, los factores ambientales como la temperatura y la humedad influyeron directamente en el crecimiento foliar de las plantas. En comparación de las hojas desarrolladas dentro del sistema NFT vs el cultivo tradicional en suelo como se muestra en la figura **6-25** y **6-26**, se pudo inferir que la planta responde a estímulos ambientales y los manifiesta primero en la asimilación de nutrientes, pues es conocido que la nutrición en el sistema hidropónico está disponible inmediatamente para la planta, mientras que a nivel de suelo los nutrientes son de liberación lenta y generalmente no satisface completamente el requerimiento nutricional de la planta; es así como en la etapa vegetativa de la planta se evidencia una mayor asimilación de nitrógeno en el sistema hidropónico comparado con el suelo, elemento esencial para la formación de hojas de la planta. Asimismo, la orientación del cultivo juega un papel fundamental para el aprovechamiento de la luz solar, ya que influye en el proceso de fotosíntesis, en este caso teniendo el invernadero orientado en perpendicular al recorrido del sol y por medio de la estructura de túnel, da lugar a un aprovechamiento de las horas luz disponibles para mayor captación de fotones. A diferencia del cultivo en suelo, el cual estaba orientado paralelamente al recorrido del sol, pero sin ningún mecanismo que le permitiera contrarrestar efectos como las sombras o lluvias.

Respecto a las hojas, el desarrollo en suelo fue de mayor cantidad, pero más pequeñas a

diferencia del hidropónico, que con menor cantidad de hojas desarrollaron frutos de un tamaño mucho mayor, esto coincide parcialmente con lo reportado por (Gómez et al. 2003), quienes encontraron que NFT incrementó el área foliar y el número de hojas, en comparación con cultivo en riego por goteo en perlita. Dichos autores también otorgaron este incremento a que existe un mayor contacto entre las raíces y la solución nutritiva, la cual favorece la absorción de agua y nutrientes (Carrasco, 2000; Urrestarazu y Salas, 2000).

Por otro lado, ya que muchos organismos dañinos tienen requerimientos específicos de temperatura y humedad para su desarrollo, el prototipo de invernadero brindó una barrera física que protegió al cultivo del acceso directo a insectos y patógenos presentes en el suelo. Al ser hidropónico no garantiza la eliminación completa de plagas y enfermedades, pero sí puede reducir significativamente los problemas asociados al suelo. Además, al minimizar el uso de productos químicos fuertes, se promueve una agricultura más sostenible y se protege tanto la salud humana como el medio ambiente. En este caso demuestran mejoras significativas en el cultivo al reducir plagas y enfermedades en comparación con el cultivo en suelo, el cual experimentó pérdidas significativas de frutos debido a la pudrición o Botritis, causada por la alta humedad relativa, lo que favorece la presencia del hongo en la planta y el fruto. Además, la presencia de orugas, chizas e insectos resultó en frutos con mordeduras y larvas en su interior. La etapa vegetativa aproximadamente de 52 días en ambos casos, se vio afectada por heladas o exceso de frío donde se evidenció una coloración roja en la planta en suelo que indica una pérdida de la mitad de su capacidad fotosintética, lo que pudo ser una razón a la cual se le atribuye un retraso en el inicio de la etapa de floración la cual tardó 15 días más respecto al hidropónico. Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Taylor (2002), cuya floración se presentó a los 84 DDT (floración y fructificación) para NFT, en el cual el número de flores se considera bajo, debido a que las plantas son sensibles a factores ambientales, como el efecto del fotoperíodo, y a las altas temperaturas registradas en el invernadero (máxima 37 °C) durante el período de floración, Taylor (2002), quien realizó experimentos en los que midió el efecto del fotoperíodo y la temperatura sobre la iniciación floral, y demostró que altas temperaturas por encima de los 30 °C inhiben la floración, así como las bajas temperaturas, por debajo de los 10°C impiden y reducen la floración.

En el sistema hidropónico, se utiliza riego por película de agua, suministrando la nutrición directamente a las raíces de las plantas. Este enfoque de riego preciso ayudó a reducir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, ya que evita el contacto directo entre las hojas y el agua. Asimismo, la raíz de la planta evidenció como se muestra en la figura **6-30** un crecimiento radicular menor pero con mayor número de raíces secundarias y microvellosidades al tener los nutrientes disponibles al instante. Además, los botones florales se desarrollaron antes en el sistema NFT, con pétalos blancos y uniformes, en comparación con el cultivo en suelo, donde la floración ocurrió más tarde, con pétalos descoloridos, sin hojas verdes y frutos más pequeños como se muestra en la figura **6-27**, lo que puede asociarse a

una deficiencia nutricional de calcio, boro y magnesio. Durante la etapa de cuajado y llenado de frutos, las plantas del sistema NFT fructificaron aproximadamente 15 días antes y presentaron un aumento en peso y grados Brix, pues el promedio de temperatura se mantuvo en 20°C a diferencia de 15°C que presentó el cultivo en suelo. Esto se logró gracias a la solución nutritiva específica proporcionada a través del sistema de riego.

Es importante destacar que, al ser un sistema NFT en lugar de un sistema en sustrato, como es común en el cultivo de fresas, la recirculación del agua y el flujo adecuado de la película de agua permitieron una adecuada oxigenación de las raíces y evitó que las raíces de las fresas estuvieran completamente sumergidas en agua, previniendo la pudrición de las raíces.

Finalmente, como se muestra en la tabla 6-18, el producto final a primera cosecha del cultivo de fresa en suelo presentó una concentración de clorpirifos, metamidofos y azoxistrobina por encima de los LMR especificados en la sección de estado del arte, ya que en una muestra de 100gr total enviado para muestra, se le había aplicado una serie de productos listados en la tabla 6-15 en menos de 30 días, sin respetar los periodos de carencia y la posible inhibición de alguno de los productos anteriormente mencionados.

## 8. Conclusiones

El cultivo hidropónico de fresas ofrece varias ventajas significativas en comparación con el método tradicional de cultivo en suelo. A partir de las conclusiones obtenidas, se pueden destacar los siguientes puntos:

El cultivo hidropónico NFT mejora el desarrollo tanto vegetativo como radicular permitiendo de esta manera obtener hojas con mayor capacidad fotosintética y flores de mayor tamaño frente a un cultivo en suelo, siendo capaz de obtener un fruto de mayor diámetro y con mejor calidad a nivel de grados brix, obteniendo a los 82 días la primera fructificación, que en comparación al tiempo en suelo de 105 días, brinda una oportunidad de cultivo independientemente de la disposición del suelo, a aumentar la densidad de siembra por metro cuadrado y reducir el tiempo de cosecha.

Uso más eficiente del agua y los nutrientes, ya que al suministrar directamente a las raíces de las plantas la solución nutritiva, permitió pasar de utilizar durante el ciclo de crecimiento a primera cosecha en suelo 2500 L de agua a utilizar 1600L de agua. Esto minimiza el desperdicio de nutrientes, lo que resulta en un cultivo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

La implementación de un prototipo de invernadero y un sistema elevado de siembra en el cultivo de fresas ofrece importantes mejoras en las condiciones de crecimiento y protección contra plagas y enfermedades. El invernadero proporciona una ventilación controlada, lo que ayuda a evitar el calor acumulado que puede generar deficiencias foliares y propiciar la entrada de enfermedades. Además, el intercambio gaseoso facilita la respiración de las plantas y la polinización de las flores, promoviendo un crecimiento saludable.

Por otro lado, el prototipo de invernadero de siembra permite mantener un delta de temperatura óptimo para el cultivo de fresas, con máximas de 25°C y mínimas de 8°C. Esto brinda un ambiente favorable para el crecimiento vegetativo, protegiendo a las plantas de las condiciones climáticas externas adversas que podrían afectar su desarrollo.

En conjunto, el uso de un prototipo de invernadero y un sistema elevado de siembra en el cultivo de fresas contribuye a crear un entorno controlado y favorable que minimiza los riesgos de enfermedades, optimiza el crecimiento vegetativo y maximiza la producción de frutas de alta calidad. Estas medidas fortalecen la salud de las plantas y mejoran la resistencia a las plagas y enfermedades, permitiendo un cultivo más exitoso y rentable.

## 9. Recomendaciones

- Para futuras aplicaciones, se recomienda implementar un sistema de dosificación de nutrientes automático para evitar y/o prevenir errores humanos en la aplicación correspondiente de la solución madre y asimismo facilitar el seguimiento y corrección oportuna al cultivo.
- Se recomienda implementar un mecanismo móvil que permita sumergir la sonda de pH para la medición y reducir el riesgo de solidificación de sales alrededor de la sonda.
- Se recomienda evaluar la producción en pleno tiempo de cosecha tanto en el cultivo NFT como en el cultivo en suelo para evaluar el comportamiento fisiológico de la planta y su respuesta en términos de producción, así como la rentabilidad del mismo.
- Para futuras implementaciones, se recomienda aumentar el tamaño del invernadero que pueda permitir el tránsito fácilmente una vez se dé el tiempo de cosechar la fresa.
- Se recomienda implementar un sistema de control de las variables químicas y físicas con el fin de estabilizar el sistema y permitir unas condiciones constantes dentro del invernadero.
- Se recomienda aplicar una solución hidropónica específica en la etapa de producción para garantizar el contenido nutricional de la planta y facilitar la translocación de calcio para llevar a cabo el cuajado del fruto.

# A. Anexos:

## A.1. Estado del Arte

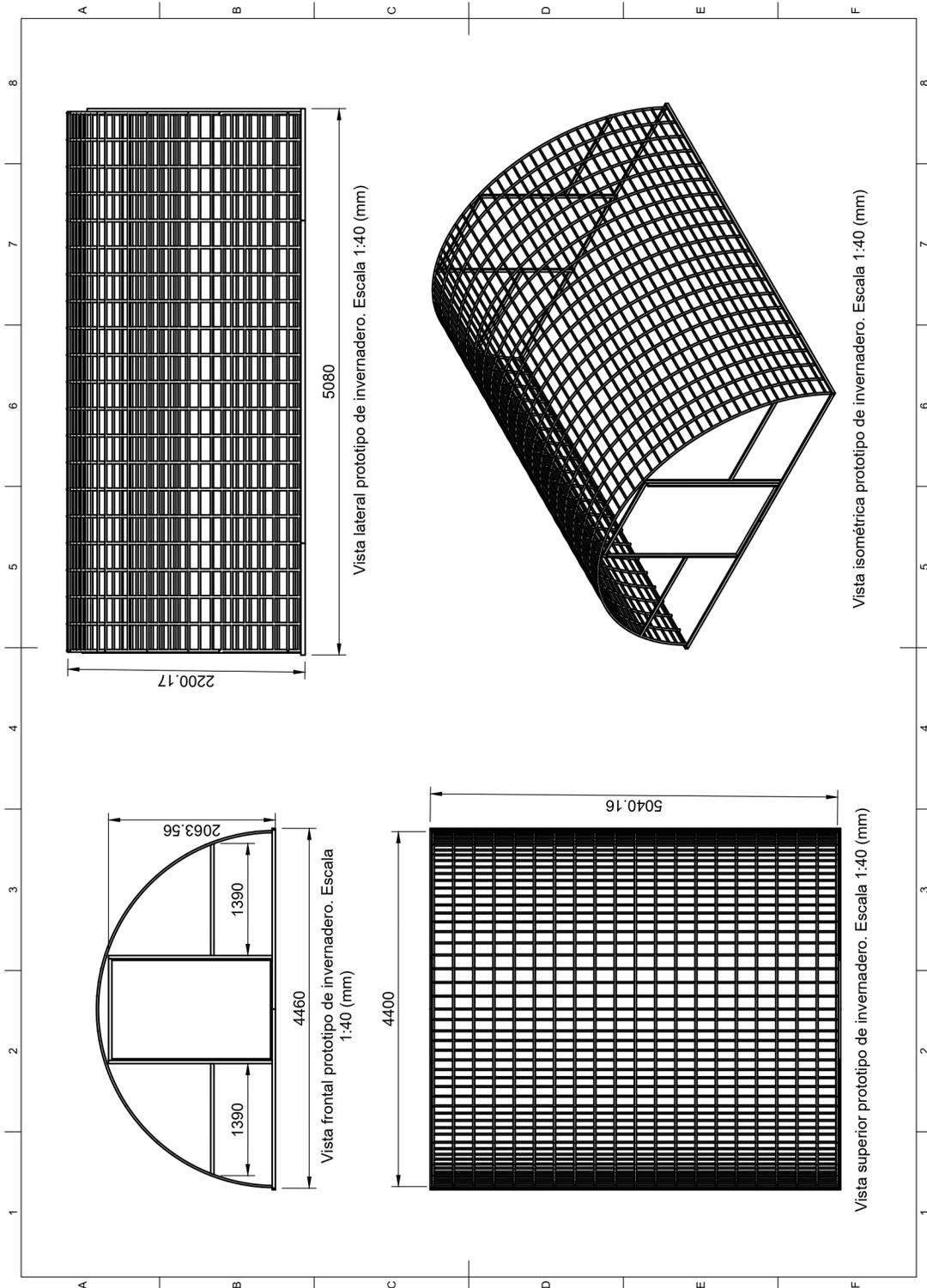
Título/Autores	Objetivo general	Relevancia
<p><b>Desarrollo Morfológico Y Rendimiento De Tres Variedades De Fresa Mediante Un Sistema Hidropónico NFT Cantón Guayaquil, Guayas. (2020)</b> Huacon Coello Ruben Dario</p>	<p>Evaluar el desarrollo morfológico y rendimiento de tres variedades de fresa (<i>Fragaria Vesca L</i>) mediante un sistema hidropónico NFT, en el cantón Guayaquil (Guayas).</p>	<p>Se evaluó el desarrollo morfológico y rendimiento de 3 variedades de fresa bajo un sistema hidropónico NFT, con un diseño al azar (DCA) con el método de Tukey al 5 % de probabilidad en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.</p> <p>Discuten acerca de que ninguna de las 3 variedades presenta productividad significativa para la zona, sin embargo, la variedad Albión presenta el mayor porcentaje de supervivencia, un promedio de diámetro, gramos de peso del fruto más alto respecto a las demás variedades utilizando la misma técnica.</p> <p>El principal factor fue la solución nutritiva monitoreada constantemente ya que es el principal factor de suministro de nutrientes de la planta.</p>
<p><b>Automatización De Un Cultivo Hidropónico Para El Control De Variables (2014)</b> Zambrano Cortés Nelson Humberto Behrentz Pfalz Mery Catherine</p>	<p>Diseñar un sistema de medición de variables físicas y químicas para un invernadero experimental, y el control de dosificación de nutrientes, en un invernadero experimental.</p>	<p>Los autores realizaron diferentes experimentos con diversos sistemas de monitoreo y control de temperatura, humedad relativa y el control de la mezcla de la solución nutritiva. Teniendo como resultados el manejo inteligente de nutrientes y condiciones ambientales que en cultivos en suelo resultan ser inmanejables. Concluyen que debido a las variaciones que se pueden presentar en el manejo de cultivos hidropónicos, la recirculación de sustancias nutritivas, mejorar las condiciones físicas y químicas en el crecimiento de una especie vegetal, pueden aportar en la calidad y el tiempo de maduración del fruto.</p>
<p><b>Medición De Ph Y Conductividad Eléctrica Para El Control De Un Sistema Hidropónico NFT (2020)</b> Oña Paucar Edwin Steeven</p>	<p>Medir el potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE) para el control de un sistema hidropónico NFT.</p>	<p>El estudio propuesto por el autor, muestra el desarrollo de un sistema de medición de potencial de Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) para cultivos hidropónicos NFT (Nutrient Film Technique), obteniendo mediciones con un error de 1.85 % para CE en comparación con una sustancia estándar, y para el pH un error relativo de 1 % experimentando con una plantación de lechugas crespas (<i>Lactuca sativa</i>) cuyos resultados a la semana 6 fueron hojas grandes, sin manchas y de color verde intenso.</p>
<p><b>“Evaluación Del Rendimiento Y Calidad De Fresa En Dos Sistemas Hidropónicos” (2017)</b> Hernández Pérez Brenda Vanessa</p>	<p>Demostrar que el sistema hidropónico cerrado tipo revolver (SHCR) en comparación con el sistema hidropónico abierto convencional (SHAC) aumentará el rendimiento y la calidad de la fresa.</p>	<p>En el estudio se relaciona la necesidad en la investigación de la productividad de sistemas hidropónicos, de manera que se compara el Sistema Hidropónico Cerrado tipo Revolver (SHCR) y un sistema hidropónico abierto convencional, adicionalmente durante la etapa de desarrollo de la planta se proporcionaron riegos con solución nutritiva al 25 % y para la etapa de fructificación al 50 %, obteniendo la primera cosecha a los 153 días después del trasplante y de manera continua por 62 días obteniendo que en cuanto a la densidad de plantas el SCHR, aumenta la producción en 300 % pero se contraponen con una disminución de la firmeza y el color 21 % y 10.52 % respectivamente. Lo que sienta un precedente de la implementación de cultivos hidropónicos con oportunidades de mejora en la calidad, así como el tiempo requerido para obtener Fresa con un rendimiento esperado.</p>
<p><b>Construcción y Automatización Remota de un Invernadero Hidropónico Tipo N.F.T. (2019) Remota de un Invernadero Hidropónico Tipo N.F.T. (2019)</b> Pérez Pradel Alejandro Romero Molotla Raúl Rafael</p>	<p>Realizar la construcción de un invernadero hidropónico automatizado tipo piramidal N.F.T. (Nutrient Film Technique) con monitoreo de las variables de los eventos ocurridos en el invernadero.</p>	<p>En el artículo desarrollado por los autores, se realiza la implementación del monitoreo y control de temperatura, pH, control de flujo de la solución nutritiva en el sistema NFT y la oxigenación de la solución nutritiva, de un invernadero hidropónico tipo NFT registrando de manera autónoma basado en la lógica de programación mediante LabVIEW, esto permitió obtener un mejor producto sin el uso de pesticidas y plaguicidas, con la particularidad de poder monitorear a distancia el proceso de crecimiento de la planta haciendo eficiente y rentable su implementación. Por lo que para el desarrollo del proyecto es un referente en el diseño, herramientas y variables a tener en cuenta para el uso de esta técnica.</p>

Fuente: Elaboración propia.



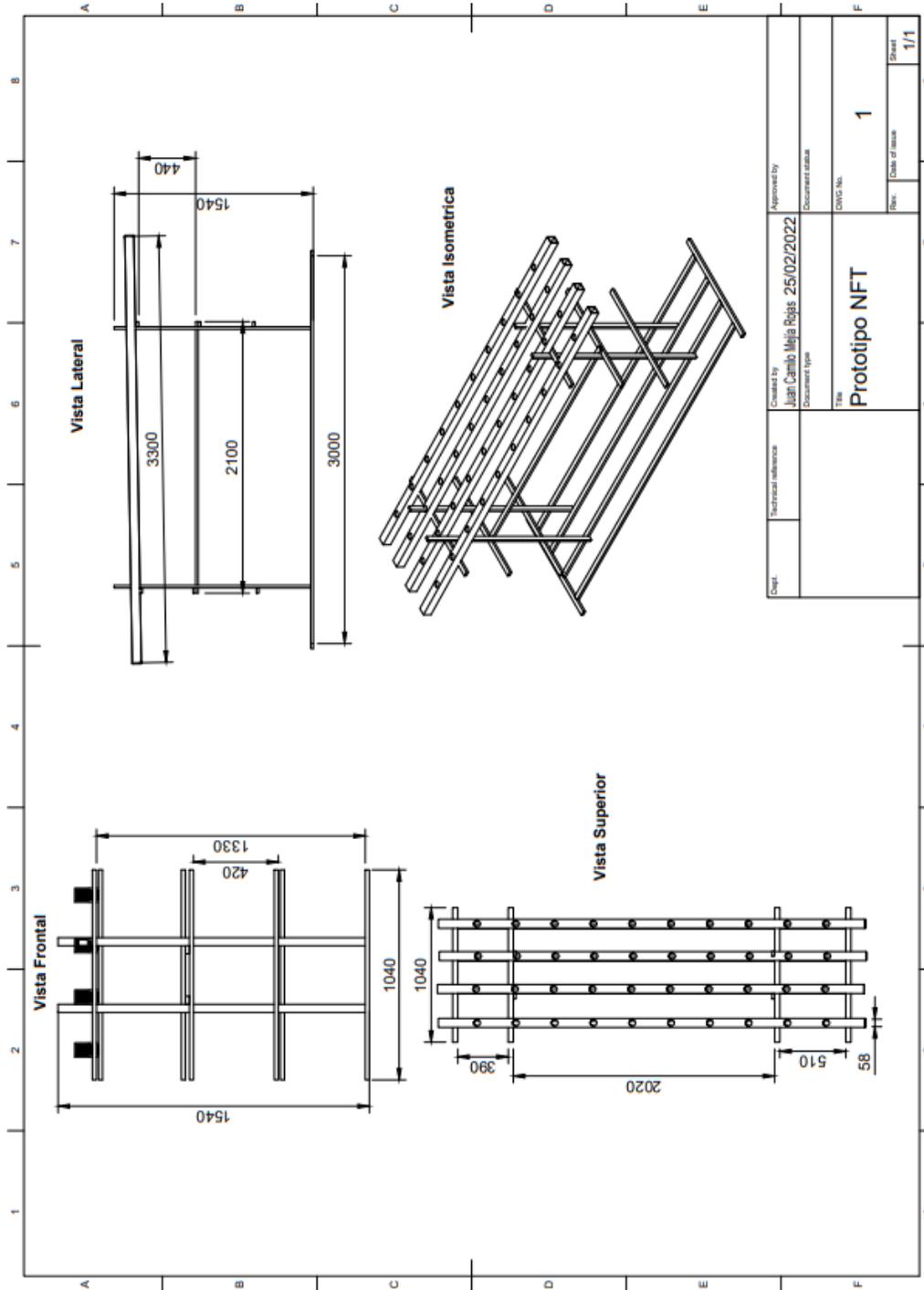
## A.2. Planos prototipo de Invernadero.

Figura A-1.: Planos prototipo de invernadero.



### A.3. Planos sistema NFT.

Figura A-2.: Planos sistema NFT.



Fuente:Elaboración propia.

**A.4. Tabla de resultados cultivo NFT.**

Tabla A-1.: Tabla de resultados Cultivo NFT.

CULTIVO EN SISTEMA NFT				
No. Planta	Diámetro (cm)	Peso (g)	Grados Brix	Cantidad de Frutos
1	2,2	15,3	14	3
	3,4	14,25	10	
	2,8	11,13	9	
2	4,1	17,2	10	2
	5	26,1	9	
3	5	24,3	11	4
	4,4	23,1	13	
	3,9	14,25	12	
	4,5	21,9	11	
4	4,4	22,4	12	3
	4,3	21,4	10	
	3,9	17,9	13	
5	2,2	12	10	3
	2,5	13,2	8	
	2,8	14,25	9	
6	3,1	16,8	10	2
	2,7	15,8	9	
7	2,9	16,7	11	1
8	3,9	19,7	14	3
	4,7	24,9	13	
	4,2	23,9	13	
9	4,1	22,1	10	2
	3,9	19,2	11	
10	3	10,48	11	1
11	3,7	16,9	10	3
	3,8	17,9	9	
	4,2	22	8	
12	4	21,8	11	2
	3,6	19	10	
13	3,5	18,7	11	2
	2,9	14,25	10	
14	3,2	20,4	13	2
	3,2	14,9	10	

Tabla A-1 continuación página anterior

CULTIVO EN SITEMA NFT				
15	2,7	12,5	11	1
16	3,7	16,3	10	3
	3,6	15,1	11	
	3,3	14,3	9	
17	3,5	20,77	10	2
	2,8	12,1	9	
18	4,1	16,95	12	2
	5	24,1	11	
19	5	22,2	8	1
20	4,4	21,6	12	1
21	3,6	18,2	13	3
	3,9	18,9	12	
	3	11,2	12	
22	3,7	20,1	8	2
	2,8	12,3	7	
23	3,4	15,3	11,6	2
	2,7	13,2	10	
24	2,9	18,60	12	2
	3,9	14,1	11	
25	4,7	22,08	8	1
26	4	23,1	11	2
	2,5	11,3	12	
27	3,6	15,2	9	1
28	3,3	15,3	12	2
	2,9	13,1	11	
29	3,5	12,5	7	1
30	3	11,13	8	2
	3,8	13,2	5	
31	3,7	12,9	9	3
	4,7	22,08	8	
	4,3	17,3	7	
32	2,6	10,28	12	2
	2	7,8	11	
33	2,9	11,78	12	1
34	3,7	14,1	10	3
	3,5	13,7	9	
	3,4	14,2	7	

Tabla A-1 continuación página anterior

CULTIVO EN SITEMA NFT				
35	2,8	11,9	12	2
	2,9	12,8	11	
36	5,3	21,2	13	2
	5	19,6	12	
37	4	17	13	3
	3,8	15,5	12	
	3,2	13,2	11	
38	3,4	14,8	9	2
	2,9	13	10	
39	3,7	15	13	3
	3,5	15	12	
	3,4	15,4	13	
40	2,8	12,15	11	1

Fuente: Elaboración propia.

## A.5. Tabla de resultados cultivo en suelo.

Tabla A-2.: Tabla de resultados cultivo en suelo.

CULTIVO EN SUELO				
No. Planta	Diámetro	Peso	Grados Brix	Cantida de frutos
1	2,7	6,76	8	2
	1,6	2,6	7	
2	2,1	5	8	1
3	3,5	8,1	7	3
	2	3,5	9	
	1,6	2,9	10	
4	3	7	6	1
5	2,7	6,2	11	2
	1,7	3,6	7	
6	1,7	4,5	5	1
7	2,2	5,4	6	2
	2	3	11	
	2,1	3,9	8	
8	2,6	6,3	8	1
9	1,7	4,2	10	1

Tabla A-2 continuación página anterior.

CULTIVO EN SUELO				
10	3,8	9,1	9	1
11	3,2	6,7	5	3
	2,1	3,9	8	
	2	3,5	11	
12	3,7	7,6	6	1
13	3	7,5	7	1
14	3,3	7	4	2
	2,3	2,9	10	
15	3	6,7	9	1
16	2,5	8	10	1
17	3	8,2	9	2
	1,7	3,6	7	
18	4	12	5	1
19	2,2	6,7	9	1
20	2,1	4,3	10	1
21	3,2	5,9	8	2
	2,6	4,9	8	
22	3	5,1	10	1
23	3,3	5,7	9	2
	3,5	6,5	8	
24	2,7	5,8	10	1
25	2,3	6,2	5	2
	2,1	3,9	8	
26	3,1	8,6	10	1
27	3,2	8,2	11	2
	2,1	3,9	8	
28	3	9,5	9	1
29	3,2	7,76	5	2
	2,3	2,9	10	
30	4,2	13	4	2
	2,6	4,9	8	
31	2,1	6,78	6	3
	2,2	3,9	11	
	3,7	4,8	9	
32	3,7	8,4	7	1
33	5	13	6	1
	2,1	6,2	8	

**Tabla A-2 continuación página anterior.**

CULTIVO EN SUELO				
34	1,6	2,6	7	2
35	1,8	1,9	9	1
36	3	8,3	7	2
	2,1	3,5	7	
37	2,1	6,4	6	1
38	3,4	7,3	7	1
39	2,7	6,5	4	1
40	3	6	2	1

**Fuente:** Elaboración propia.

## B. Bibliografía

- Adriana, K., Quintana, R. (2018). Evaluación de riesgo ambiental asociado al difenoconazol en los cultivos de fresa de una finca piloto en la vereda la estancia en madrid cundinamarca. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15363/2019cristianrojas.pdf?sequence=5isAllowed=y>.
- Albaho, M., Thomas, B., & Christopher, A. (2008). Evaluation of hydroponic techniques on growth and productivity of greenhouse grown bell pepper and strawberry. *International Journal of Vegetable Science*, 14(1), 23–40. <https://doi.org/10.1080/19315260801890492>.
- Alipio, M. I., dela Cruz, A. E. M., Doria, J. D. A., Fruto, R. M. S. (2019). On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12(3), 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.008>.
- Albuja, V., Andrade, J., Lucano, C., Rodriguez, M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Minerva*, 2(4), 45–54. <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>.
- Amán Quinga, D. M. (2021). Efectividad del jabón de coco como control alternativo de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) variedad Albión (Bachelor's thesis).
- Ameri, M., Moulod, M. (2010). Materiales de cubierta para invernaderos. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, 5, 71–88. ASIS. (2020). [https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2020/asis\\_urmeque2020.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2020/asis_urmeque2020.pdf).
- Asohofrucol. (2013). Plan de Negocios de Fresa Índice. Fondo Nacional de Fomento Hortifruticola.
- Asthor, invernaderos, equipamentos otras estructuras - Retrieved 03 March 2022, from <https://asthor.com/>.
- Beltrano, J., Gimenez, O. (2020). Cultivo en hidroponía. *Cultivo en Hidroponía*. <https://doi.org/10.35537/10915/46752>.
- Belalcázar, S. (2013). Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de arroz como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados. *Evaluación Del Biocarbón Derivado De Cascarilla De Arroz Como Potenciador Del Esta*, 3–59. [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/76991/1/belalcazar\\_evaluacion\\_biocarbon2014.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76991/1/belalcazar_evaluacion_biocarbon2014.pdf)
- Benítez-Díaz, Pedro, Miranda-Contreras, Leticia, Balza-Quintero, Alirio, Sánchez-Gil, Beluardi, Molina-Morales, Yuri. (2015). Residuos de plaguicidas en fresa (*Fragaria x ananassa*) cosechada en una región agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*, 27(3), 181-188. Recuperado en 13 de mayo de 2021, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612015000300007&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612015000300007&lng=es).

---

Bravo, F. S. (2015). Hidroponía familiar en sustrato: Hágalo fácil Sembrando hortalizas , cosechando salud. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10809.pdf>.

Bolivar, A., Camacho, C., Ordoñez, N., Gutiérrez, J., Álvarez, G., Guevara, M., Olivera, C., Olmedo, GF., Bunning, S., Vargas, R. 2021. Estimación de carbono del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio. *Ecosistemas* 30(1): 2019. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2019>.

Botia-Carreño, W. H. (2019). Unidad Agrícola Familiar (UAF), instrumento de política pública agropecuaria en Colombia — Pensamiento y Acción. *Pensamiento Y Acción*, 27(27), 59–89. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento\\_accion/article/view/10178](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/10178).

Boyacá, G. de. (2013). Plan departamental de extensión agropecuaria - PDEA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Buckseth, T., Sharma, A. K., Pandey, K. K., Singh, B. P., Muthuraj, R. (2016). Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics—A review. *Scientia Horticulturae*, 204, 79–87. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2016.03.041>.

Burrage, S.W. (1993). NUTRIENT FILM TECHNIQUE IN PROTECTED CULTIVATION. *Acta Hort.* 323, 23-38 DOI: 10.17660/ActaHortic.1993.323.1

Caldas Mejía, R. F. (2013). Entre la agricultura convencional y la agroecología el caso de las prácticas de manejo en los sistemas de producción campesina en el municipio de Silvania. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12482.YG9BkOwpfL0.mendeley>.

Calderón, L. (2015). Caracterización Del Sistema De Comercialización De La Fresa En Fresco En La Provincia De Soacha- Bogotá D.C. PhD Proposal, 1(c), 29–32. [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6451/1/Trabajo de grado Luis E. Calderón.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6451/1/Trabajo%20de%20grado%20Luis%20E.%20Calder%C3%B3n.pdf).

Calderón Medellín, L. A., Angulo Rivera, D. C., Rodríguez Caicedo, D., Grijalba Rativa, C. M., Pérez Trujillo, M. M. (2013). Evaluación de Materiales para el Acolchado de la Fresa Cultivada Bajo Invernadero. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.18359/rfcb.352>.

Calderón Bolívar, J. C., Pacheco León , K. A. (2021). Alternativas al Uso de Pesticidas en el Sector Agrícola de la Provincia de Sumapaz (Departamento De Cundinamarca), para Mitigar la Disminución de las Poblaciones de Abejas Silvestres del Género *Bombus* (Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Camacho, W. (2018). Cuantificación de Plaguicidas en Suelos y Aguas provenientes de Ventaquemada (Boyacá). *Repositorio.uptc.edu.co*. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3053/1/TGT1680.pdf>.

Cámara de comercio de Bogotá. (2015). Manual de fresa. Programa De Apoyo Agrícola Y Agroindustrial Vicepresidencia De Fortalecimiento Empresarial Cámara De Comercio De Bogotá, 1–54.

Cantó, M. C. S.-G., Mínguez, P. L., Olmo, P. F. del, Cortés, E. M. (2020). Uso de Sensores de Clima en Cultivos bajo Invernadero. *Instituto de Investigacion y Formacion Agraria y Pesquera*, 1–29.

Cano, M. A. (2013). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria*

spp.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 7(2), 263–276.  
<https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2240>.

Castellanos L, Baldovino A, Céspedes N, Rivera X. Biopreparados para el control de enfermedades foliares de fresa, Pamplona, Colombia, aun una solución parcial. JONNPR. 2020;5(9):933-51. DOI: 10.19230/jonnpr.3419.

Contreras Otálora, L. A. (2018). Diseño y simulación de un invernadero automático para un cultivo de lechugas empleando energías renovables como suministro energético. Corabastos. (2022). Calendario agrológico de cosecha.  
<https://www.corabastos.com.co/en/calendario-agrologico>.

Estrada Paredes, J. J. (2012). Guía para la construcción de invernaderos o fitotoldos. FAO Bolivia, 2, 80.  
FAO. (2008). El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum* Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial ducción. El Cultivo de La Papa, *Solanum Tuberosum* Alimento de Gran Valor Nutritivo, Clave En La Seguridad Alimentaria Mundial Ducción, 15, 1–7. FINAGRO. (2021). Agro Guía, Fresa Albión. Retrieved 24 February 2022.  
[https://www.finagro.com.co/sites/default/files/fresa\\_albion\\_cundinamarca0.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/fresa_albion_cundinamarca0.pdf).

FoodData Central. (2019, 16 diciembre). USDA.  
<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html/food-details/747448/nutrients>.

García Morillo, J. (2015). Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana.  
<http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/12639>,

Gilsanz, J. (2007) Hidroponía. Instituto Nacional De Investigación Agropecuaria.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>.

Gómez, J. (2006). Descripción del comportamiento de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de fresa (*Fragaria* spp, L) en el municipio de la sabana, departamento de Madriz. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.  
<http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh10g633d.pdf>.

González Castellanos, A. (2017). Diaporama: El sistema radicular, influencia y sus efectos en el establecimiento del frutal. Universidad Autónoma Del Estado México, 4. Retrieved from  
<https://core.ac.uk/download/pdf/154797636.pdf>.

González Ulibarry, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Obtiene Archivo.bcn.cl. from [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf).

Instituto Colombiano Agropecuario.(ICA) (2020, 23 diciembre). En Boyacá, el ICA hace vigilancia en plagas de control oficial en cultivos de fresa — ICA. Portal Corporativo ICA.  
<https://www.ica.gov.co/noticias/ica-vigila-plagas-control-oficial-cultivos-fresa>.

Instituto Colombiano De Bienestar Familiar.(2018). Tabla de Composición De Alimentos Colombiana. Recuperado de  
[https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac\\_w eb.pdf](https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac_w eb.pdf).

Instituto Nacional de Salud. (2020). Comportamiento de la Vigilancia de Intoxicaciones por Sustancias. . En Boletín Epidemiológico Semanal.

[https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2020\\_Boletin\\_epidemiologico\\_semana6.pdf](https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2020_Boletin_epidemiologico_semana6.pdf).

INTAGRI. (2014) Sistemas hidropónicos y soluciones nutritivas para fresas. Núm. 3. Artículos Técnicos de INTAGRI.México.4 p.

Izquierdo Rodas, J. J. (2017). Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de los agroquímicos en la parroquia San Joaquín (Bachelor's thesis).

Leyton Devia, C. A., Loaiza Criollo, P. A. (2021). Estudio De Prefactibilidad Para La Exportación De Fresa Fresca Desde Ibagué – Colombia Hacia La Ciudad De Panamá - Panamá (Pregrado). Universidad Antonio Nariño.

López Jarrín, M. (2021). Diagnóstico morfológico de la pudrición de la corona de la fresa (*Fragaria x ananassa Duchesne ex Rozier*) en el cantón Quito. Retrieved 22 February 2022, from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23969>.

Lucco, M. (2019). Saberes ancestrales y autonomía alimentaria en fincas de agricultura familiar campesina en tres municipios de Boyacá.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76482>.

MADR. (2019). Subsector Productivo de la Fresa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, 17.

[file:///Users/imac/Downloads/2019-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](file:///Users/imac/Downloads/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

Magallón, A. S., Eduardo, C., Vargas, S., Vel, M., Garc, G. T., Huerta, A., Daniel, L., Mart, O. (2017). Uso y manejo de plaguicidas en diferentes sistemas de producción de fresa en México. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 27–42.

Majeed, A. (2018). Application of Agrochemicals in Agriculture: Benefits , Risks and Responsibility of Stakeholders. Citation: Majeed A *J Food Sci Toxicol*, 2(1), 3–4.

Miller, K., Feucht, W., Schmid, M. (2019). Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. *Nutrients*, 11(7).

<https://doi.org/10.3390/nu11071510>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Gobierno de Colombia. (2009). Mis Buenas Prácticas Agrícolas. Guia para agroempresarios. In *Cartilla BPA*.<http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Inocuidad-Agricola/Capacitacion/cartillaBPA.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena de la Fresa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, 1–22.[https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

Montero, J. I., Stanghellini, C., Castilla, N. (2008). Invernadero para la producción sostenible en áreas de clima de invierno suaves. *Horticultura Internacional*, 65(Octubre), 31.

<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/37934>.

Novagric, Invernaderos Multitúnel Capilla - Multicapilla. Novagric.com. (2016). Retrieved 10 May 2021, from <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>.

Oasis, S. (2002). Manual de hidroponia. Oasis Easy Plant, 32.  
<http://www.oasisfloral.mx/pdf/manual-hidroponia.pdf>.

Oña Paucar, E. S. (2020). Medición de PH y conductividad eléctrica para el control de un sistema hidropónico NFT.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10622.YIjhUXY-oas.mendeley>

Pallanco Maiguashca Water, Stalin. (2019). Universidad Técnica De Ambato. Repo.Uta.Edu.Ec, 130.  
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>

Paraga, O. (2010). UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA ESCUELA DE BIOLOGÍA Evaluación de un cultivo de fresa ( *Fragaria x ananassa* Duch .) afectado por manchas foliares ocasionadas por *Mycosphaerella fragariae* ( Tul .) Lindau ( anamorfo: *Ramularia brunnea* Peck .). 0–53.

Peña, A. M. R. A. (2020). Hidroponía una oportunidad para la seguridad alimentaria de las comunidades rurales. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 13(36), 18.

Pérez Pradel, A., Romero Molotla, R. R. (2019). Construcción y automatización remota de un invernadero hidropónico tipo NFT (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de la Ciudad de México: Colegio de Ciencia y Tecnología: Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Electrónicos Industriales).

Prieto Poveda, D. O. (2019). La tecnificación como herramienta para incrementar la productividad agropecuaria en Colombia. Fundación Universidad de América.

Pujol Jose (2009). El microcontrolador Arduino. Tecnología IES Burguillos. Recuperado de <https://tecnopujol.files.wordpress.com/2009/12/arduino.pdf>.

Rodríguez Eugenio, Natalia; MsanchezLaughlin, M., Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura FAO. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>.

Sánchez Gil, H. M. (2018). Seguridad y soberanía alimentaria en la agricultura familiar campesina: el caso de los agricultores de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada, Boyacá.

Sierra Cogua, J. I., Cepeda Bustos, O. I., Empresas, M. en D. y G. de, time, F. (2019). Diseño de un sistema tecnológico basado en agricultura inteligente que permita mitigar el impacto del cambio climático en la productividad del cultivo de fresas. Caso de estudio Hacienda la Colorada en el departamento de Norte de Santander. Instname:Universidad Del Rosario.  
<https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/20551>

Superintendencia de industria y comercio. (2013). Estudio sobre plaguicidas en Colombia. *Estudios Económicos Sectoriales*, 7(7), 286. [http://www.sic.gov.co/drupal/recursos\\_ser/documentos/Estudios – Academicos /Documentos –Elaborados –Grupo –Estudios –Economicos/1\\_Estudio\\_Sector\\_Automotor\\_Colombia\\_Julio\\_2012.pdf](http://www.sic.gov.co/drupal/recursos_ser/documentos/Estudios-Academicos/Documentos-Elaborados-Grupo-Estudios-Economicos/1_Estudio_Sector_Automotor_Colombia_Julio_2012.pdf)

Tapia de la cruz J. (2015) Metodología e instrumentación Práctica 2 Medición de temperatura (LM35). Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Recuperado de:  
[https://www.academia.edu/12320975/Sensor\\_a\\_e\\_t\\_e\\_m\\_p\\_e\\_r\\_a\\_t\\_u\\_r\\_a\\_L\\_M35](https://www.academia.edu/12320975/Sensor_a_e_t_e_m_p_e_r_a_t_u_r_a_L_M35)

Universidad Nacional de la Molina, U. N. A. la. (2015). Fórmula de solución nutritiva para cultivo de Fresa

Floración y Fructificación Crecimiento. 1, 1.

V., D. L., SÁNCHEZ, M., FISCHER, G., ACUÑA, J. F., DARGHAN, A. E., V., D. L., SÁNCHEZ, M., FISCHER, G., ACUÑA, J. F., DARGHAN, A. E. (2019). Pesticide residues in strawberry fruits cultivated under integrated pest management and conventional systems in Cundinamarca (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(1), 35–45.<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13il.8409>

Zaragoza, R. D. (2013). Evaluación de hidropónicas en el cultivo de Fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo invernadero. 85. [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis MAP Ramon Donovan Zaragoza Nieto Dic 18 2013.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/67/1/Tesis%20MAP%20Ramon%20Donovan%20Zaragoza%20Nieto%20Dic%2018%202013.pdf)