


|   |   |                     |                   |          |
|---|---|---------------------|-------------------|----------|
|  | <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b> |                     |                   |          |
|   | Documento   | Código              | Fecha             | Revisión |
|   | <b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>  | <b>F-AC-DBL-007</b> | <b>08-07-2021</b> | <b>B</b> |
| <b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>   | Dependencia   | Aprobado            | Pág.              |          |
|   | <b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>                          | <b>1(153)</b>       |                   |          |

## HOJA DE RESUMEN

|   |   |                    |           |
|---|---|--------------------|-----------|
| <b>AUTORES</b>  | Luis Miguel Peña Cadena; Adrián Said Bello Armenta.   |                    |           |
| <b>FACULTAD</b>   | INGENIERIAS   |                    |           |
| <b>PLAN DE ESTUDIOS</b>   | Ingeniería Mecánica.  |                    |           |
| <b>DIRECTOR</b>   | Wilson Antonio Pérez Torrado  |                    |           |
| <b>TÍTULO DE LA TESIS</b>   | Diseño de un prototipo de invernadero para cultivo hidropónico de forraje verde para la granja de la Ufpo |                    |           |
| <b>TITULO EN INGLES</b>   | Design of a greenhouse prototype for hydroponic cultivation of green fodder for the Ufpo farm             |                    |           |
| <b>RESUMEN</b>  |   |                    |           |
| <p>Este proyecto propone el diseño de un invernadero para el cultivo de forraje verde hidropónico (FVH), estos invernaderos son una alternativa para la producción de alimento para el ganado que permite tener disponible el alimento en cualquier época del año.</p> <p>En estos invernaderos se puede germinar, cultivar y cosechar sobre bandejas sin sustrato, utilizando fertirriego como método de fertilización y manejo de agua.</p> |   |                    |           |
| <b>RESUMEN EN INGLES</b>  |   |                    |           |
| <p>This project proposes the design of a greenhouse for the cultivation of hydroponic green fodder (FVH), these greenhouses are an alternative for the production of feed for livestock that allows food to be available at any time of the year.</p> <p>In these greenhouses it can be germinated, cultivated and harvested on trays without substrate, using fertigation as a method of fertilization and water management.</p>             |   |                    |           |
| <b>PALABRAS CLAVES</b>  | Hidroponía; Diseño; Modelamiento; SolidWorks; Estructura.   |                    |           |
| <b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>  | Hydroponics; Design; Modeling; SolidWorks; Structure.   |                    |           |
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |   |                    |           |
| PÁGINAS: 153  | PLANOS: 0   | ILUSTRACIONES: 140 | CD-ROM: 0 |



**Diseño de un prototipo de invernadero para cultivo hidropónico de forraje verde para la  
granja de la UFPSO**

**Luis Miguel Peña Cadena, Adrián Said Bello Armenta**

**Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería Mecánica**

**Esp. Wilson Antonio Pérez Torrado**

**Ocaña 23/01/2023**

## Agradecimientos

*Principiar dando gracias a Dios por permitir emprender el camino de este estudio y proyecto, que ha permitido grandes conocimientos y aptitudes conforme se avanza, de igual manera dar agradecimiento fervoroso a mis amados padres por haberse permitido el impulso que me llevo a emprender paso a paso el camino a una mejor calidad como persona y como profesional.*

*Los grandes esfuerzos y compromiso puesto igualmente en personas de forma directa e indirecta, que a sabiendas me ayudaron y pusieron a disposición tiempo, conocimiento e incalculables momentos que forman en gran parte de la motivación para el cumplimiento de estas metas logradas que posteriormente serán la siega de todos aquellos esfuerzos.*

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Índice.....                            | 3  |
| 1.1 Planteamiento del problema.....    | 15 |
| 1.2 Formulación del problema .....     | 16 |
| 1.3 Objetivos .....                    | 16 |
| 1.3.1 Objetivo General .....           | 16 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....       | 17 |
| 1.4 Justificación .....                | 17 |
| 1.5 Delimitaciones .....               | 18 |
| 1.5.1 Delimitaciones Geográficas.....  | 18 |
| 1.5.2 Delimitaciones Temporal.....     | 18 |
| 1.5.3 Delimitaciones Conceptuales..... | 19 |
| 1.5.4 Delimitaciones Operativa.....    | 19 |
| 2 Capítulo. Marco Referencial.....     | 20 |
| 2.1 Marco Histórico .....              | 20 |
| 2.2 Marco Contextual.....              | 24 |
| 2.3 Marco Conceptual.....              | 25 |
| 2.3.1 Invernaderos.....                | 25 |
| 2.3.2 Hidroponía .....                 | 25 |
| 2.3.3 SolidWorks .....                 | 26 |
| 2.3.4 Planchas de poliuretano .....    | 26 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.5  | Anaqueles.....  | 26 |
| 2.3.6  | Esfuerzos uniformemente distribuidos .....                  | 27 |
| 2.3.7  | Esfuerzos normales para vigas en flexión.....               | 27 |
| 2.3.8  | Factor de seguridad .....                                   | 28 |
| 2.4    | Marco Teórico.....  | 28 |
| 2.4.1  | Estructura .....  | 28 |
| 2.4.2  | Tipos de invernaderos .....                                 | 32 |
| 2.4.3  | Sistema de riego al Forraje Verde Hidropónico.....          | 35 |
| 2.4.4  | Absorción del agua .....                                    | 38 |
| 2.4.5  | La importancia del pH del agua .....                        | 38 |
| 2.4.6  | Calidad del Agua de Riego. ....                             | 39 |
| 2.4.7  | Iluminación .....   | 39 |
| 2.4.8  | Sistema de ventilación para Forraje Verde Hidropónico. .... | 43 |
| 2.4.9  | Tipos de ventilación .....                                  | 43 |
| 2.4.10 | Temperatura .....   | 44 |
| 2.4.11 | Sensores de temperatura. ....                               | 44 |
| 2.4.12 | Calidad de la humedad.....                                  | 45 |
| 2.4.13 | Sensores de humedad.....                                    | 46 |
| 2.5    | Marco Legal .....   | 46 |
| 2.5.1  | Aspecto Legal del FVH .....                                 | 50 |
| 3      | Capítulo. Diseño metodológico .....                         | 52 |
| 3.1    | Tipo de investigación .....                                 | 52 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2   | Cronograma.....   | 52 |
| 3.3   | Fases del proyecto.....   | 53 |
| 3.3.1 | Fase I: Modelamiento de la estructura del invernadero en el software CAD SolidWorks ..... | 53 |
| 3.3.2 | Fase II: Establecer los métodos más efectivos de ventilación, iluminación y riego         | 53 |
| 3.3.3 | Fase III: Elaboración de prototipo .....  | 54 |
| 4     | Capítulo. Administración del proyecto.....  | 55 |
| 4.1   | Recursos humanos .....  | 55 |
| 4.2   | Recursos institucionales.....   | 55 |
| 4.3   | Recursos financieros .....  | 55 |
| 5     | Capítulo. Resultados .....  | 56 |
| 5.1   | Desarrollo de fases.....  | 56 |
| 5.1.1 | Invernaderos de capilla .....   | 56 |
| 5.1.2 | Invernaderos de doble capilla .....   | 58 |
| 5.1.3 | Fase I: Diseño y modelado estructural de Invernadero.....                                 | 58 |
| 5.1.4 | Estructura del invernadero .....  | 59 |
| 5.1.5 | Techo o cubierta del invernadero.....   | 65 |
| 5.1.6 | Anaqueles o módulos de las bandejas.....  | 67 |
| 5.1.7 | Análisis estáticos estructurales en SolidWorks.....                                       | 71 |
| 5.1.8 | Análisis estático de los anaqueles .....  | 75 |
| 5.2   | Fase II: sistemas de ventilación, iluminación y riego.....                                | 78 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.2.1  | Ventilación.....  | 78  |
| 5.2.2  | Sistema de riego.....   | 88  |
| 5.2.3  | Sistema de iluminación.....                                       | 103 |
| 5.3    | Fase III: prototipo.....  | 108 |
| 5.3.1  | Construcción de prototipo.....                                    | 112 |
| 5.3.2  | Semilla y pre-germinación.....                                    | 115 |
| 5.3.3  | Germinación.....  | 119 |
| 6      | Costos.....   | 127 |
| 6.1    | Estudio técnico.....  | 127 |
| 6.1.1  | Estudio legal.....  | 127 |
| 6.1.2  | Estudio financiero.....   | 128 |
| 6.2    | Costos de producción.....   | 128 |
| 6.3    | Costos generales.....   | 129 |
| 6.3.1  | Costos fijos.....   | 130 |
| 6.4    | Estructura del invernadero, anaqueles y plástico de cubierta..... | 130 |
| 6.5    | Sistema de riego.....   | 131 |
| 6.6    | Sistema de control y producción.....                              | 132 |
| 6.7    | Costos variables.....   | 133 |
| 6.8    | Costos del prototipo.....   | 134 |
| 6.9    | Determinación de los Costos Variables.....                        | 135 |
| 6.10   | Determinación del Precio \$/kg de F.V.H.....                      | 135 |
| 6.10.1 | Utilidad.....   | 135 |

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| 6.11 | Punto de Equilibrio..... | 136 |
| 6.12 | Costos Totales.....      | 137 |
| 6.13 | Ingresos por Ventas..... | 137 |
| 6.14 | Flujo de caja.....       | 139 |
| 7    | Conclusión.....          | 141 |
| 8    | Referencias .....        | 144 |



## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 <i>Imagen satelital zona de la universidad francisco de paula Santander Ocaña .</i> | 24 |
| Figura 2 <i>Viga recta en flexión positiva .....</i>   | 27 |
| Figura 3 <i>Invernadero tipo parral .....</i>  | 32 |
| Figura 4 <i>Invernadero en raspa y amagado .....</i>   | 33 |
| Figura 5 <i>Invernadero asimétrico .....</i>   | 34 |
| Figura 6 <i>Invernaderos Multitúnel Capilla .....</i>  | 34 |
| Figura 7 <i>Invernadero túnel o semicilíndrico .....</i>                                     | 35 |
| Figura 8 <i>Muestra el riego del invernadero hidropónico .....</i>                           | 38 |
| Figura 9 <i>Tipos de luz para iluminar un invernadero. ....</i>                              | 41 |
| Figura 10 <i>Pigmentos vegetales en función de la longitud de onda.....</i>                  | 42 |
| Figura 11 <i>Ventilación en un Invernadero .....</i>   | 46 |
| Figura 12 <i>Invernaderos de capilla .....</i>   | 57 |
| Figura 13 <i>Invernaderos de doble capilla .....</i>   | 58 |
| Figura 14 <i>Sección estructural de 80 X 80 X 4 AL PIPE ESTRUCTURAL 2 S40, ASTM</i>          |    |
| <i>A36 Acero.....</i>  | 60 |
| Figura 15 <i>Estructura diseñada en SolidWorks. ....</i>                                     | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 16 Estructura, dibujo vista frontal diseñado en SolidWorks. ....    | 62 |
| Figura 17 Estructura, dibujo vista lateral diseñado en SolidWorks. ....    | 63 |
| Figura 18 Propiedades físicas estructura invernadero. ....                 | 64 |
| Figura 19 Techo solido diseñado en SolidWorks. ....                        | 66 |
| Figura 20 Estructura de invernadero con plástico u techo. ....             | 67 |
| Figura 21 Acero angular ASTM A36 de 25x25x5 mm para las secciones. ....    | 68 |
| Figura 22 Anaqueles de soporte para bandejas. ....                         | 69 |
| Figura 23 Propiedades físicas de anaquel. ....                             | 70 |
| Figura 24 Medidas específicas del anaquel. ....                            | 71 |
| Figura 25 Análisis estático, sujeciones, carga y mallado. ....             | 72 |
| Figura 26 Análisis estático desplazamiento URES (mm). ....                 | 73 |
| Figura 27 Tensión axial y deflexión en el límite superior estructura. .... | 74 |
| Figura 28 Factor de seguridad estructura. ....                             | 75 |
| Figura 29 Tensión axial y deflexión en el límite superior de anaquel. .... | 76 |
| Figura 30 Análisis estático desplazamiento URES (mm). ....                 | 77 |
| Figura 31 Factor de seguridad del anaquel. ....                            | 78 |
| Figura 32 Sección abierta del invernadero para ventilación. ....           | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 33 <i>Estudio de vientos de SolidWorks Flow simulation.</i> .....                       | 81  |
| Figura 34 <i>Simulación flowsimulator de pressure y velocity del aire.</i> .....               | 82  |
| Figura 35 <i>puntos determinados por SolidWorks y vista de presión en (Pa) por el aire.</i> .. | 83  |
| Figura 36 <i>nodos en la estructura</i> .....  | 83  |
| Figura 37 <i>Desplazamiento en la superficie de la cubierta o techo del invernadero.</i> ..... | 84  |
| Figura 38 <i>Efecto de movimiento de la cubierta en la estructura en su punto máximo.</i> ...  | 85  |
| Figura 39 <i>Termocupla medición y el control de la temperatura</i> .....                      | 87  |
| Figura 40 <i>Distribución del sistema de riego.</i> .....                                      | 90  |
| Figura 41 <i>Bomba PK60 seleccionada.</i> .....  | 100 |
| Figura 42 <i>Grafica de la bomba del catálogo Pedrollo.</i> .....                              | 101 |
| Figura 43 <i>Grafica del sistema y del fabricante en EES.</i> .....                            | 102 |
| Figura 44 <i>Iluminación de En Un Invernadero</i> .....  | 104 |
| Figura 45 <i>Programación con LabVIEW interface</i> .....                                      | 105 |
| Figura 46 <i>Programación con LabVIEW</i> .....  | 107 |
| Figura 47 <i>Interfaces, de la programación en LabVIEW.</i> .....                              | 108 |
| Figura 48 <i>Vista general de prototipo para bandejas.</i> .....                               | 109 |
| Figura 49 <i>Vistas acotadas del prototipo en herramienta dibujo SolidWorks.</i> .....         | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 50 Modelamiento del prototipo en SolidWorks. ....                | 111 |
| Figura 51 Ensamble de techo y estructura prototipo en SolidWorks.....   | 112 |
| Figura 52 Proceso de construcción prototipo de madera.....              | 113 |
| Figura 53 Resultado de construcción prototipo.....                      | 114 |
| Figura 54 Cubierta de plástico prototipo.....                           | 115 |
| Figura 55 Semilla de maíz Sáenz fety.....                               | 116 |
| Figura 56 Semilla certificada lerl. ....                                | 117 |
| Figura 57 Lavado e inmersión de la semilla. ....                        | 118 |
| Figura 58 Permanencia de la semilla en inmersión durante 24 horas. .... | 118 |
| Figura 59 Bandejas de invernadero para germinación. ....                | 119 |
| Figura 60 Semilla con 3 días de germinación.....                        | 120 |
| Figura 61 Primeros brotes de hoja en la semilla.....                    | 120 |
| Figura 62 Formación de tallos, hojas y raíces FVH.....                  | 121 |
| Figura 63 Vista general de etapa de 8 días de crecimiento .....         | 122 |
| Figura 64 Forraje en etapa ultima de crecimiento. ....                  | 123 |
| Figura 65 Vista general de forraje en día 15.....                       | 124 |
| Figura 66 Raíz del forraje verde hidropónico prototipo.....             | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 67 <i>Forraje verde hidropónico producción.</i> .....                 | 126 |
| Figura 68 <i>Punto de equilibrio sobre los costos del invernadero.</i> ..... | 139 |

### Lista de tablas

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1 <i>Comparación entre propiedades nutricionales de diferente</i> .....                 | 18  |
| Tabla 2 <i>Secciones para los anaqueles del invernadero formulado.</i> .....                  | 30  |
| Tabla 3 <i>Secciones de los cubículos u anaqueles.</i> .....                                  | 31  |
| Tabla 4 <i>Cronograma de actividades</i> .....  | 52  |
| Tabla 5 <i>los rangos de medición que presentan los diferentes tipos de termocupla.</i> ..... | 87  |
| Tabla 6 <i>Tabla de especificaciones de la bomba.</i> .....                                   | 102 |
| Tabla 7 <i>color de luz y la intensidad, Combinando LEDs de longitudes de onda.</i> .....     | 103 |
| Tabla 8 <i>cotizaciones para la construcción del invernadero y anaqueles.</i> .....           | 130 |
| Tabla 9 <i>Costo de plástico para el invernadero.</i> .....                                   | 130 |
| Tabla 10 <i>Costos de los elementos del sistema de riego.</i> .....                           | 131 |
| Tabla 11 <i>Costos de elementos de sistemas riego e iluminación para instalación.</i> .....   | 132 |
| Tabla 12 <i>Costos variables de producción.</i> .....   | 133 |
| Tabla 13 <i>Costos de materias primas</i> .....   | 134 |
| Tabla 14 <i>Costos de nutrientes e irrigación de plagas.</i> .....                            | 135 |

### **Resumen del proyecto**

Este proyecto propone el diseño de un invernadero para el cultivo de forraje verde hidropónico (FVH), estos invernaderos son una alternativa para la producción de alimento para el ganado que permite tener disponible el alimento en cualquier época del año. En estos invernaderos se puede germinar, cultivar y cosechar sobre bandejas sin sustrato, utilizando fertirriego como método de fertilización y manejo de agua. El diseño está condicionado a la cantidad de bandejas diarias que se requiera para abastecer la demanda. Esta tecnología favorece el crecimiento de la semilla, es así como el tiempo de germinación y cosecha del FVH dura 15 días. El sistema automático cuenta con un invernadero en donde se realizará el control de las variables ambientales más importantes (Temperatura, humedad,  $CO_2$  y luz) y un sistema de reutilización del agua utilizada durante el proceso. Para el control de las variables ambientales del invernadero, se implementará un sistema de ventilación que permite la remoción de la masa de aire, controlar las concentraciones de  $CO_2$ , y también controlar la temperatura. El sistema de riego puede ser por microaspersión o por goteo además de fertirriego el FVH, también ayuda en el control de la humedad.

## **Capítulo 1. Prototipo de un Invernadero Mecatrónico para Cultivo Hidropónico de Forraje verde para la Granja de la Ufpso**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El tamaño de la población mundial y su crecimiento acelerado es el mayor problema y la más grave amenaza para la humanidad. Claramente, la relación del número de personas con la cantidad de alimento disponible tiene un impacto en la nutrición. Para una buena nutrición la proteína animal es parte indispensable en la dieta humana, debido a las propiedades biológicas y fuentes vitamínicas, minerales y aminoácidos, nutrientes que aplican directamente en los procesos vitales, y al desarrollo físico, y neuronal de los seres humanos. La carne de res aporta un 20% aproximado de proteína. (EFESA, 2016)

La ganadería su desarrollo ha implicado cambios en el uso del suelo y deterioros ambientales. De acuerdo, a la producción de carne y leche debe no superar los límites de uso de los recursos naturales y mitigar el deterioro ambiental ocasionado. El principal efecto asociado a la actividad ganadera es la emisión de gases de efecto invernadero, misma originada por la deforestación y cultivos forrajeros. Esta problemática requiere un análisis de la interacción ganadería-ambiente y la aprobación de herramientas tecnológicas idóneas para la mitigación del deterioro ambiental (Parra-Cortés et al., 2019).

Debido a los daños ambientales a causa de la deforestación para siembra de pastos, la emisión de gases de efecto de invernadero causante del calentamiento global que tanto afecta al planeta. La deforestación presenta impactos significativos para el país. Empeorando



la alarma natural. Otro efecto pertinente es que Colombia es uno de los países con más vulnerabilidad a sucesos de clima extremos, los cuales provocan alteración y consecuencias a los bosques. (Guerrero, 2019)

Se espera que con este proyecto se diseñe un invernadero hidropónico para el cultivo de forraje verde es desarrollar directrices adecuadas y sostenibles para la promoción de prácticas agrícolas eficientes que garanticen la seguridad alimentaria, generen empleo para los ciudadanos, proporcionen materias primas para todas las industrias agrícolas, y también para adquirir divisas. La agricultura puede colaborar con otros sectores de la economía para lograr un desarrollo más rápido, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad medioambiental (Emami et al, 2018).

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo diseñar un invernadero mecatrónico para cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) para la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña? E implementarlo con un prototipo a escala.

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo General***

Diseñar un prototipo de un invernadero mecatrónico para el cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) para las instalaciones de la granja UFPSO.

### **1.3.2 *Objetivos Específicos***

Definir tipos de invernaderos hidropónicos (FVH), mediante el uso de recursos bibliográficos y el software CAD SolidWorks para el modelamiento y análisis estructural.

Establecer el sistema de ventilación, riego e iluminación automática por medio de la comparación entre tipos de invernaderos hidropónicos (FVH) con el propósito de disminuir costos.

Elaborar un prototipo considerando los datos suministrados en la modelación y simulación en CAD SolidWorks, para análisis de la funcionalidad, costos y factibilidad del Forraje verde hidropónico (FVH).

## **1.4 Justificación**

El forraje verde hidropónico FVH es una técnica de cultivo que aprovecha espacios en menor cantidad evitando deforestación para producción de pastizales que deterioran el suelo y causan ineficiencia ambiental, el proceso de producción permite la reutilización de agua y la optimización del espacio de cultivo, el control de variables ambientales con el objetivo de producir forrajes de alta calidad proteínica, y proveer al productor una alternativa económica y sustentable para la alimentación de los animales.

En la optimización planteada del invernadero para la producción de (FVH) forraje verde hidropónico, se ofrecen mejoras potenciales en aspectos de producción, acondicionamiento y distribución alusivo al método de cultivo permite a los usuarios la mejora significativa en cuanto a ahorro y espacio de producción con respecto al tiempo.

Respecto a la Tabla 1, se visualizan parámetros de las propiedades nutricionales de cuatro diferentes productos alimenticios para el consumo de ganado, en donde se muestra la ventaja semejante del FVH frente a los alimentos comunes en la industria pecuaria.

**Tabla 1**

*Comparación entre propiedades nutricionales de diferente*

*Comparación entre propiedades nutricionales de diferentes tipos de comida para ganado.*

| PARÁMETRO                 | FVH(CEBADA) | CONCENTRADO | HENO  | PAJA  |
|---------------------------|-------------|-------------|-------|-------|
| Energía (kcal/kg)         | 3.21        | 3.00        | 1.68  | 1.39  |
| Proteína cruda (%)        | 25.00       | 30.00       | 9.20  | 3.70  |
| Digestibilidad (%)        | 81.60       | 80.00       | 47.00 | 39.00 |
| kcal digestible/kg        | 488.00      | 2.16        | 400   | 466   |
| kg Proteína Digestible/Tm | 46.5        | 216         | 35.75 | 12.41 |

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO, 2001)

## 1.5 Delimitaciones

### 1.5.1 Delimitaciones Geográficas.

El proyecto se ejecutará de acuerdo a las condiciones geográficas y ambientales de la Granja Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Norte de Santander.

### 1.5.2 Delimitaciones Temporal.

El proyecto de ejecutará entre agosto de 2022 a diciembre de 2022.

### ***1.5.3 Delimitaciones Conceptuales.***

El proyecto esta contextualizado principalmente de acuerdo a las siguientes variables: investigación de antecedentes sobre los invernaderos hidropónicos, diseño estructural de invernaderos, sistema automático de riego, ventilación e iluminación.

### ***1.5.4 Delimitaciones Operativa.***

El proyecto se ejecutará con base en los parámetros del presente documento, con la intervención del director de proyecto y de las personas que se necesiten como asesores en el trascurso de la investigación para cumplir con los objetivos del proyecto.

## 2 Capítulo. Marco Referencial.

### 2.1 Marco Histórico

Históricamente el termino Hidroponía procede del griego Hidro(agua) y Ponnos (labor trabajo) que se refiere a trabajo en agua. La Hidroponía es una ciencia que estudia los cultivos sin tierra (Mexico, 2016).

Cuando se habla de hidroponía extiende a asociarlo con el Japón como poseedor de alta tecnología, pero esto no es necesariamente cierto. La hidroponía es una técnica ancestral de cultura y civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia. De igual forma los aztecas construyeron una ciudad en el lago de Descoco (la ciudad de México se encuentra ubicada sobre un lago que se está hundiendo), y cultivaban su maíz en barcos barcazas con un entramado de pajas, y de ahí se abastecían. Hay muchos ejemplos como este; los jardines colgantes de Babilonia eran hidropónicos porque se alimentaban de agua que fluía por unos canales esta técnica existían en la antigua China, India, Egipto, también la cultura Maya la utilizaba, es igualmente utilizada comercialmente, desarrollándose a niveles muy elevados, en países con limitaciones serias de suelo y agua. De allí nació la hidroponía, en Japón vino con la segunda Guerra Mundial, y los japoneses, por falta de espacio y de agua, desarrollaron la tecnología norteamericana a niveles asombrosos. La NASA la ha Utilizado para alimentar a los astronautas. La NASA ha producido con esta tecnología (Control led Ecological Life Support System), desarrollándola incluso para la base proyectada en Marte (Flora, 2021).

En la antigüedad, el crecimiento de plantas sin tierra, debe su desarrollo a los hallazgos de experimentos llevados a cabo para determinar que sustancias hacen crecer las plantas y su composición. Se conocen trabajos de este tipo de fechas cercanas al año 1600 Sin embargo, el crecimiento de las plantas y la cultura del cultivo sin suelo es conocida mucho antes que esto. El proceso hidropónico, muchos creen que empezó en la antigua Babilonia, en los famosos Jardines Colgantes que se listan como una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo (Flora, 2021).

En 1699, John Woodward, un miembro de la Sociedad Real de Inglaterra, cultivó plantas en agua que contenía varios tipos de tierra, la primera solución de nutrientes hidropónica artificial, y encontró que el mayor crecimiento ocurrió en agua con mayor cantidad de tierra. Puesto que sabían poco de química, no pudo identificar los elementos específicos que provocaban el crecimiento. Concluyó, el crecimiento de las plantas era un resultado de ciertas sustancias y minerales contenidas en el agua enriquecida, y no simplemente agua. Descubrieron que la planta toma minerales tanto del suelo como del agua y que las hojas expulsan dióxido de carbono al aire. Demostraron también que las raíces de las plantas toman oxígeno (Molnar, 2009).

Para el 1792 el científico inglés Joseph Priestley descubrió que al colocar una planta en una cámara a niveles elevados de aire frío (Dióxido de Carbono) ésta absorberá gradualmente el Dióxido de Carbono y emitirá gradualmente oxígeno. Jean Ingen-houzs, el trabajo de Priestley demostró que una planta encerrada en una cámara de Dióxido de Carbono reemplazaría los gases acumulados con oxígeno luego de dos horas, sí la cámara es exteriorizada a luz solar (Molnar, 2009).

Una lista se publicó conteniendo 9 elementos esenciales para que las plantas tengan un buen desarrollo en el crecimiento. Las porciones se verificaron por Jean Baptiste Boussingault mismo que fue considerado padre de la agricultura moderna en 1851 hoy los experimentos de este mismo hoy se usaron en medios inertes de crecimiento, alimentó plantas con soluciones de agua. Concluyó que el agua era esencial para el crecimiento de la planta proporcionando hidrogeno y que la materia seca de la planta consiste en hidrogeno más el carbono y por último el oxígeno que proviene del aire. Estableció que las plantas contienen nitrógeno y otros elementos minerales, así obtienen todos los nutrientes necesarios de los elementos de la tierra.; identifico los elementos minerales y las proporciones necesarias de crecimiento de la planta lo que fue un mayor (Molnar, 2009).

De igual manera en 1856 el señor Salm-Horsmar desarrolló técnicas para manejo de arena y otros sustratos inertes, otros investigadores habían demostrado por aquellos días que pueden crecer plantas en un medio inerte humedecidos que contienen los minerales requeridos por las plantas. El próximo paso era eliminar completamente el medio y cultivar las plantas en una solución de agua que tuvieran estos minerales.

Refinaciones grandes y técnicas de laboratorios químicos, científicos descubrieron siete elementos requeridos por las plantas en cantidades relativamente pequeñas, los micronutrientes o elementos residuales. Estos incluyen: hierro, cloro, manganeso, boro, zinc, cobre, y molibdeno (Molnar, 2009).

En la década de 1920 William F. Gericke de la universidad de California expandió sus experimentos en nutrición de plantas a cosechas en aplicaciones comerciales a mayor escala. A

estos sistemas de nutricultura le modifíco el nombre y lo llamó “Hidroponía” literalmente “trabajo en agua” mencionado antes (Molnar, 2009).

Pero con la llegada del plástico, la hidroponía dio otro paso grande, pues uno de los problemas más urgentes encontrados en todos los sistemas era la constante contaminación de la solución. Estos permitieron a los cultivadores dejar construcciones costosas como construcciones de concreto. Así se permitió que las cámaras se aislaran del sustrato cubriéndolas con láminas de plástico, luego se llenan con sustrato u otro medio de crecimiento. Al desarrollarse bombas, relojes, tubería de plástico, válvulas solenoides, el sistema hidropónico entero se puede automatizar, con el consecutivo ahorro de capital y de costo operativo. (Molnar, 2009).

La combinación de control medioambiental y los sistemas hidropónicos mejorados han sido los principales responsables del crecimiento de la industria durante los últimos años, y no hay duda que la hidroponía tendrá gran importancia en la alimentación del mundo en el futuro ya que se han implementado en la población y cada vez ha tomado más fuerza (Molnar, 2009).

La hidroponía es una rama concreta de ciencia agronómica, para la alimentación de millones de personas; estas unidades pueden encontrarse floreciendo en los desiertos de Israel, Líbano y Kuwait, en las islas de Ceylon, las Filipinas, en las azoteas de Calcuta y en los pueblos desérticos de Bengala Oriental. Pero podríamos afirmar que la combinación de control medioambiental y los sistemas hidropónico en estos últimos 20 años han mejorado satisfactoriamente, en 2019 tomo mucha fuerza por la pandemia del COV-19, debido a eso este tipo de sistema son actos para implementarlo en cualquier lugar, después que cuente con todo lo



referente al forraje verde hidropónico, se puede implementar en cualquiera de las zonas, incluso hasta en una azotea de un edificio.

## 2.2 Marco Contextual

Este proyecto de investigación se ejecutará en la ubicación geográfica de la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, este terreno cuenta con las especificaciones necesaria para la construcción pertinente del contextualizado invernadero para la producción de forraje verde hidropónico, esta alternativa de producción de alimento bobino permitirá una producción con mayor rapidez de manera automatizada, la cual no se verá afectada por las inclemencias del clima o temporada del año. La figura siguiente mostrará una vista satelital de la zona 8. 24° N, 73.32°W.

### Figura 1

*Imagen satelital zona de la universidad francisco de paula Santander Ocaña*



*Nota. <https://earth.google.com/web/@8.23868765,73.32130512,1192.6109343a,909.55408158d,35y,->*

*0h,0t,0r*

## **2.3 Marco Conceptual**

La sección del trabajo, se presentan conceptos que permitirán una mejor comprensión de los conceptos que se presentará en el documento, dando así a conocer términos que están presentes en esta investigación y diseño de un invernadero hidropónico (FVH).

### **2.3.1 Invernaderos**

Un invernadero es aquella estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes, o lonas dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima, ventilación y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas y fuera de fechas de temporada, es adecuado para locaciones donde el terreno es de baja extensión u escarpado, lo que permite mayor producción y calidad.(García et al., 2020. p 15)

### **2.3.2 Hidroponía**

La hidroponía proviene de las palabras griegas HYDRO que significa agua y PONOS que significa trabajo Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son suministrados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición.(Gilsanz, 2007)

### **2.3.3 *SolidWorks***

El CAD, SOLIDWORKS líder en la industria combinado con potentes soluciones de diseño, administración de datos. Puede crear diseños complejos y acelerar el progreso desde el concepto hasta las etapas de producción y mejorar la calidad del producto. Modelado de subdivisión en 3D para crear formas ergonómicas y orgánicas de manera fácil y rápida. Modifique y combine formas básicas 3D simples para crear rápidamente superficies funcionales y estéticas, dando calidad a los productos.(SolidWorks, nd.)

### **2.3.4 *Planchas de poliuretano***

Estos contenedores más conocidos como bandejas plásticas, que tienen una medida de 80 x 60 x 2.5 cm. Estas bandejas permitirán el proceso este crecimiento de cultivo, qué con los conceptos previamente investigados determina la cantidad de forraje verde hidropónico, qué será lo ideal para la producción de FVH.

### **2.3.5 *Anaqueles***

Generalmente, para sostener las charolas de forraje, se construyen anaqueles de 4 a 6 niveles, separados entre sí, por pasillos, para proporcionar las labores de siembra, cosecha. La altura que debe de existir, entre cada nivel debe ser entre 45 centímetros y 55 centímetros, el primer nivel distar del suelo alrededor de unos 30 cm, cada nivel debe tener una pendiente de 10° para evacuar la solución sobrante de las bandejas.(Gassó & Sergio, 2011)

### 2.3.6 *Esfuerzos uniformemente distribuidos*

Para este diseño se adopta una distribución uniforme del esfuerzo. Los resultados se denominan tensión pura, compresión pura o cortante puro, dado de cómo se aplique la carga externa al cuerpo bajo estudio. Esto es correspondiente a que el esfuerzo está uniformemente distribuido y se calcula con la ecuación.(Budynas & Nisbett, 2008, pág. 86)

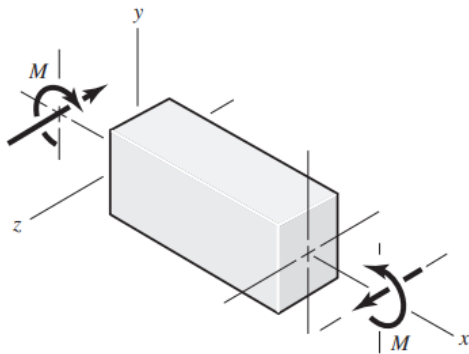
—

### 2.3.7 *Esfuerzos normales para vigas en flexión*

En las vigas la flexión genera momentos internos; en un diagrama de momentos flectores internos, un momento positivo significa que, en su sección transversal, El eje x coincide con el eje neutro de la sección, y el plano XZ que contiene los ejes neutros de todas las secciones transversales(Budynas & Nisbett, 2008, pág. 87).

#### **Figura 2**

*Viga recta en flexión positiva*



*Nota. Sección viga. Autor(es)*

### **2.3.8 Factor de seguridad**

Los valores de sobre diseño de las piezas para evitar fallas tempranas en su funcionamiento; todo diseño debe cumplir con condiciones de seguridad para constatar que no afecte la estructuración o la durabilidad de la máquina por ello se trabaja con diferentes factores que permiten salud a los esfuerzos menores de la tensión ultima de los materiales empleados, hay fallas que se deben tener en cuenta en el diseño como lo es a fatiga o el desgaste, y se les aplican a los elementos que son más tendenciosos a este tipo de fallas.(Hernández, 2020, pág.23)

## **2.4 Marco Teórico**

### **2.4.1 Estructura**

Invernadero hace referencia a una edificación que hace referencia a una estructura con cobertura transparente o parcialmente transparente soportado por una instalación metálica o con diversos materiales que encierra un área para el cultivo de plantas.

Concretamente, cuando el material de cobertura es de vidrio, la estructura puede denominarse "invernadero". Cuando se usan láminas de plástico se denominan "poli hogar". Cuando el material de cubierta es tejido o construido de otro modo dar paso a la luz del sol, la humedad y el aire pasen a través de los huecos, dicha estructura se denomina "casa de sombra" o "casa pantalla".

Cuando se quiere crear o ampliar un invernadero, es importante tener en cuenta de que las estructuras en las que se desee son adecuadas y satisfacen sus necesidades. La calefacción y

ventilación son esenciales para el ambiente controlado y natural. Materiales de recubrimiento, pantallas (térmicas y contra insectos). La circulación aire, también deben ser evaluados cuidadosamente. (Badgery-Parker et al, 2010, p.62)

Teniendo claro que el diseño del invernadero será en pro de las características (clima) que presente el lugar en que se desee implementar la producción de forraje.

El consumo de alimento para bovinos de la gran variedad de especies genera un gran reto para la cantidad de FVH que se debe suministrar a cada animal, teniendo en cuenta las raciones de otros alimentos como el forraje seco, sales, melazas y el consumo de agua calcular un promedio exacto resulta de una gran cantidad de variables.

A la hora de alimentar los animales se recomienda suministrar entre 12 – 18 kilos de F.V.H, dividido en dos raciones, que por lo general se dan durante el ordeño, lo que disminuye el uso de los concentrados.

Fuentes de información nos permiten analizar abastecimientos de F.V.H que suministran hasta 1,8 kilos de proteína diarios, lo que se refleja en un aumento de la producción de leche entre un 10 y 20%, comparándolos con animales alimentados a dietas habituales. (kdgonzalez, 2019)

La categoría de vacas que producen gran cantidad de leche permite a la sociedad beneficiarse al utilizar los excedentes de producción. Es estimado que, durante sus periodos de lactancia, el cual aproximadamente es de 300 días, producen más de 12 mil litros, lo que significa un promedio aproximado de 40 litros diarios. (Fedegán, 5 June 2018)

En regiones colombianas el potencial de producción de leche de vacadas situadas en zonas con dotación lechera y con animales doble propósito. Generan un promedio de 3 a 35 litros de leche. Es de mención que, debido el territorio nacional se hallan reses que han producido más de 40 litros día, este es un patrón diferencial a lo que normalmente se genera en las fincas por animal. (Ganadero, 20 de noviembre 2015)

El consumo bovino deriva de la masa, lo que determina un consumo del 10% peso vivo en kg o lb, haciendo una valoración de otros componentes alimenticios, materia seca y aditivos suplementarios (melaza), sales y agua.

De diferentes autores se llegó a la cifra promedio del consumo de vaca/día es de 21,2 kg de FVH/día. Con una estimación de vacas de entre 550 y 250 kg

Se empleará un cubículo día de FVH para el consumo de los animales a diario, la capacidad del forraje hidropónico generar alimento con una rapidez muy eficiente a los 15 días aproximadamente, los bovinos consumen el promedio de 21,2 kg de forraje verde/día proporcionado, se necesitan 30 cubículos o anaqueles para alimentar 20 animales de FVH/mes.

## **Tabla 2**

*Secciones para los anaqueles del invernadero formulado.*

|   |    |
|---|----|
| 1 | 16 |
| 2 | 17 |
| 3 | 18 |
| 4 | 19 |
| 5 | 20 |
| 6 | 21 |
| 7 | 22 |

|    |    |
|----|----|
| 8  | 23 |
| 9  | 24 |
| 10 | 25 |
| 11 | 26 |
| 12 | 27 |
| 13 | 28 |
| 14 | 29 |
| 15 | 30 |

*Nota. Secciones para anaqueles*

Cada sección o cubículo está compuesto por cuatro niveles.

### **Tabla 3**

*Secciones de los cubículos u anaqueles.*

|                 |
|-----------------|
| cubículos 1 + n |
| 1               |
| 2               |
| 3               |
| 4               |

*Nota. Secciones unitarias de cubículo.*

La producción que se necesita para alimentar a 20 bovinos según estudios previos en la investigación arroja una variedad de datos que se han estipulado en el mismo documento, el invernadero contará con 30 cubículos o anaqueles cada 1 con cuatro secciones verticales que contendrán 42 bandejas de germinación, cada anaquel generará aproximadamente 600 kg FVH/día.



## 2.4.2 Tipos de invernaderos

### 2.4.2.1 Invernaderos planos o tipo parral

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal. (Gassó & Sergio, 2011, p. 19)

#### Figura 3

*Invernadero tipo parral*



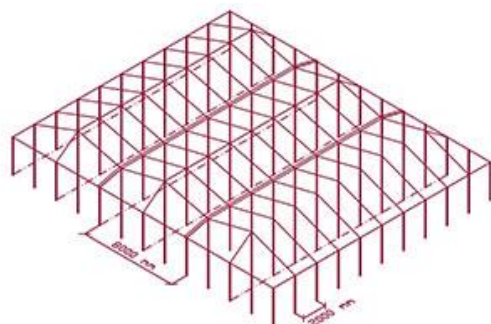
*Nota. (Invernaderos Multitúnel Asimétricos o Tropicales, s/f)*

### 2.4.2.2 Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral, pero varía la forma de la cubierta. La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 m y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste. (Gassó & Sergio, 2011, p. 19)

**Figura 4**

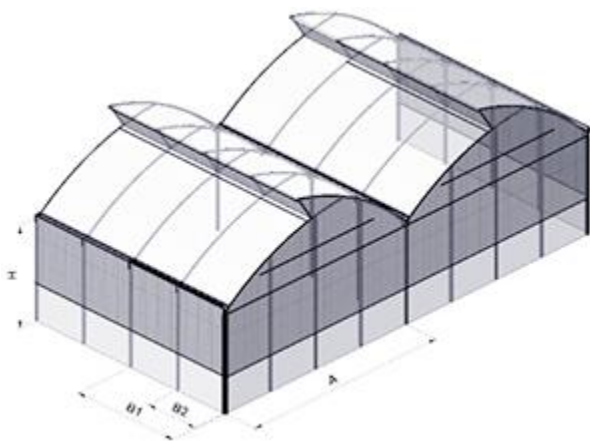
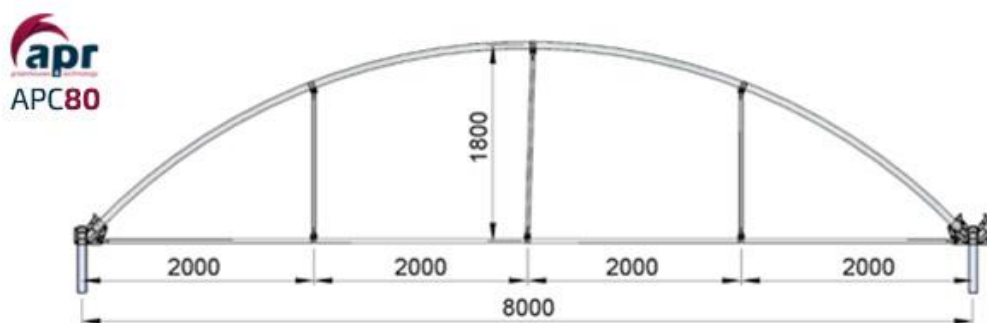
*Invernadero en raspa y amagado*



*Nota.(Invernaderos Raspa y Amagado - Parral - Almería, s/f)*

**2.4.2.3 Invernadero asimétrico**

Los invernaderos asimétricos se orientan comúnmente en sentido este-oeste, paralelo al recorrido del sol. La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar. El ángulo de inclinación del techo deberá ser próximo a  $60^\circ$ , se debe tener en cuenta la locación y las condiciones del área para su construcción.(Gassó & Sergio, 2011, p. 19)

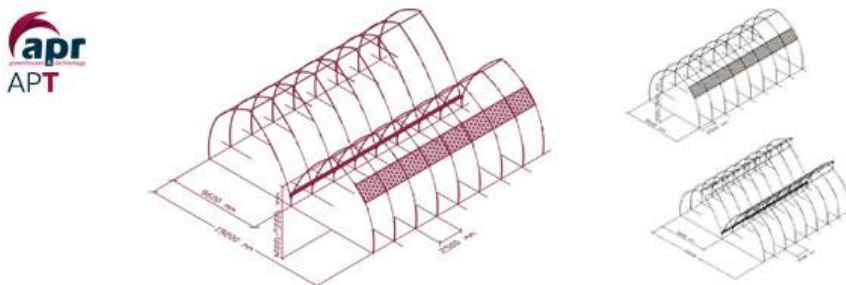
**Figura 5***Invernadero asimétrico**Nota. (Invernaderos Multitúnel Asimétricos o Tropicales, s/f)***Figura 6***Invernaderos Multitúnel Capilla**Nota. (Invernaderos Multitúnel Capilla - Multicapilla, s/f)***2.4.2.4 Invernadero túnel o semicilíndrico**

Son caracterizados por la forma de su cubierta y su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está ampliando a su mayor capacidad para el control de los

factores climáticos, su gran resistencia a grandes ráfagas de vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.(Gassó & Sergio, 2011, p. 19)

### Figura 7

*Invernadero túnel o semicilíndrico*



*Nota. (Invernaderos Túnel, s/f)*

#### 2.4.3 Sistema de riego al Forraje Verde Hidropónico.

Podemos definir el riego como el proceso de irrigar el terreno de forma artificial, con el propósito de suministrar a las variedades vegetales la humedad pertinente para su desarrollo (N. & S., 2000).

Con respecto a lo anterior podemos decir que el riego sigue los siguientes pasos: compensar deficiencias de humedad, mejorar las variaciones ambientales del terreno y el cultivo, y suministrar nutrientes (Nugteren, 1970, pág. 8).

Para dar un riego adecuado, se deben tener en cuenta factores de sistematización. La programación del riego es el conjunto de procedimientos, técnicos que permiten decidir cuándo y cuánto se debe regar. El tiempo transcurrido entre el inicio de dos riegos inmediatos, y la

segunda pregunta implica definir la dosis a aplicar, la cantidad de agua que el sistema de riego deberá suministrar en cada etapa (Nugteren, 1970, pág. 8).

El manejo de riego desde lo agrícola, es la herramienta que permite ensayar diferentes estrategias de riego y comparar resultados sin dañar a los cultivos. Las estrategias de riego son aplicadas al definir los valores de referencia de humedad según se requiera (N. & S., 2000).

Para este sistema de riego se requiere aplicar adecuadamente estrategias de riego que mejoren la relación kg producido por m<sup>3</sup> de agua suministrada. Esto da paso a la optimización de recursos al desarrollar sus labores en los proyectos (Bidwell, 1993).

#### **2.4.3.1 Principios básicos del análisis de varianza en el sistema de riego.**

El paralelo del rendimiento (toneladas por hectárea) de maíz grano entre los distritos de riego y de temporal se hace con base en el análisis de varianza, permite comparar dos o más valores medios. La comparación del rendimiento por hectárea se realiza con los valores medios nacional. El sistema de fluidos es primordialmente esencial operaciones en las plantas industriales o en los sistemas de riego. Siempre ocurre fricción, perdidas de los mismos con la tubería y en diferentes accesorios, ocasionando pérdidas de presión en el flujo a lo largo de su trayectoria. (Barr, 1981).

Las pérdidas de presión pueden obtenerse con un balance de energía, según la ecuación del Teorema de Bernoulli para flujos incompresible y la segunda ecuación la cual es de Darcy Weisbach, se requiere conocer un factor  $f'$ , llamado factor de fricción de Darcy, el cual es una variable adimensional y depende tanto del número de Reynolds ( $Re$ , es un factor adimensional

que relaciona las fuerzas dinámicas del fluido), la rugosidad relativa de la tubería ( $\epsilon/D$ ), este es un indicador de las irregularidades del material de la tubería (Barr, 1981).

#### **2.4.3.2 Control de riego.**

El sistema de riego debe ser capaz de cubrir la cantidad justa de agua para cubrir el consumo hídrico del cultivo. El riego lo podemos describir como la aplicación artificial de agua, con el objetivo de mantener constante el balance hídrico. El riego se puede aplicar bajo el concepto de que el grano o parte aérea debe permanecer húmeda, sin saturar las bandejas. Se pueden hacer aplicaciones de 8 riegos diarios, uno cada hora a partir de las 8:00 a. m. y hasta las 5:00 p. m, temporizando por minuto el ciclo de riego (R.G., 1998).

#### **2.4.3.3 Componentes de distribución de riego en el invernadero.**

El riego lo podemos clasificar tanto por vertido, irrigación, aspersion, goteo. Con su sistema de distribución. Cada uno de estos sistemas de riego tiene su forma de evacuar. Se pueden adaptar distintos tipos de soporte a las bandejas (Escalante S. d., 1998).

El Tanque

Bomba

Tubería y Mangueras

Aspersores o goteos

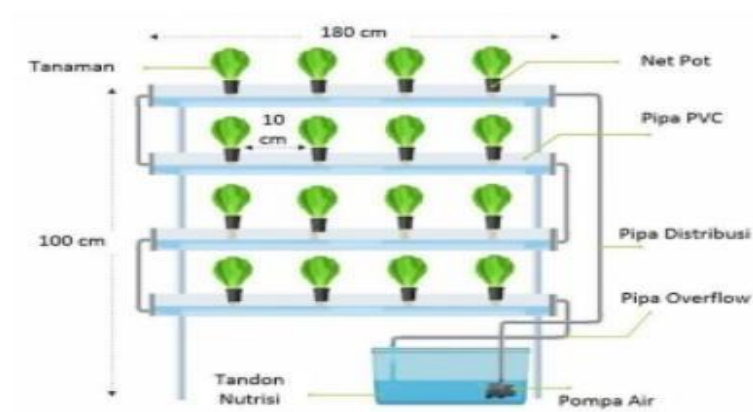
Válvulas

#### 2.4.4 Absorción del agua

En la primera fase en la primera fase hora de germinación de la semilla se determina hola una etapa de remojo de la semilla en este proceso aumenta el volumen por absorción se hincha el embrión y se restablecen las capas protectoras de la semilla hoy dando así procesos de reacciones químicas y biológicas en estas mismas.

#### Figura 8

Muestra el riego del invernadero hidropónico



**Gambar 1.** Sistem hidroponik DFT

*Nota.* El gráfico muestra el riego del invernadero hidropónico (Rodríguez, 2003)

#### 2.4.5 La importancia del pH del agua

El pH es importante ya que muchas reacciones químicas dentro de los organismos acuáticos con su (metabolismo celular) son necesarias para la supervivencia y crecimiento. Los organismos requieren un margen estrecho de valores de pH. Ya que en los extremos finales de la escala de pH (2 ó 13), los cambios en pH pueden alterar la concentración de otras sustancias en el agua modificando el nivel de toxicidad (3.1.4.0)

#### **2.4.6 *Calidad del Agua de Riego.***

El agua que se empleara para el sistema de riego es uno de los factores singulares a tener en cuenta para obtener éxito y calidad, el acondicionamiento básico que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos, ha de tener características de potabilidad (Martínèz, 2005).

El origen puede ser de fuentes subterráneas, lluvia, o agua corriente de tuberías. Si el agua disponible no es potable, se podrían presentar problemas sanitarios y nutricionales con el FVH. Dado el caso que la calidad de agua no sea conveniente, es pertinente realizar un detallado análisis químico, con base a esto reformular nuestra solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría que ser efectuado para asegurar su calidad como filtración, decantación, acidificación o alcalinización. La calidad de agua debe ser cuidada y existen casos donde por desconocer su importancia es causa de pérdidas de tiempo y presupuesto (Martínèz, 2005).

#### **2.4.7 *Iluminación***

##### **2.4.7.1 Luminosidad en el Invernadero De Forraje Verde Hidropónico.**

En el área de la iluminación se encuentra una variedad de luces, la cual consume demasiada energía lumínica, dado esto se sustituye por lámparas o las luces fluorescentes compactas o (LFC), dado que estas consumen menos energía comparada con la tradicional, ya que tiene mayor tiempo de horas luz, y mayor intensidad lumínica (Electricidad, 2014).



Cuando comienzan aparecer los primeros brotes de raíz y las primeras hojas, la planta está capacitada para obtener los nutrientes del medio externo y otros elementos, así con un buen sistema de iluminación para la producción de fotosíntesis, se debe exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrición, para que las plantas tengan mejor marcha de crecimiento (Resh M. H., 1997).

#### **2.4.7.2 Tipos de luz para iluminar un invernadero.**

Los variables tipos de luz para luminarias en un invernadero, y o qué tipo de luz es la más adecuada para invernadero y que esta pueda realizar la fotosíntesis correctamente con luz artificial pueden variar (Agrotecnia, 2021).

Debido a la presencia de clorofilas, pigmento que permite a la planta realizar la fotosíntesis para transformar CO<sub>2</sub>, agua y nutrientes en compuestos hidrocarbonados, podemos encontrar calidades y tipos de luz artificial adecuadas para diferenciar en los invernaderos.

Lámpara incandescente

Iluminación con fluorescentes

Lámparas HID

Iluminación LED

**Figura 9**

*Tipos de luz para iluminar un invernadero.*

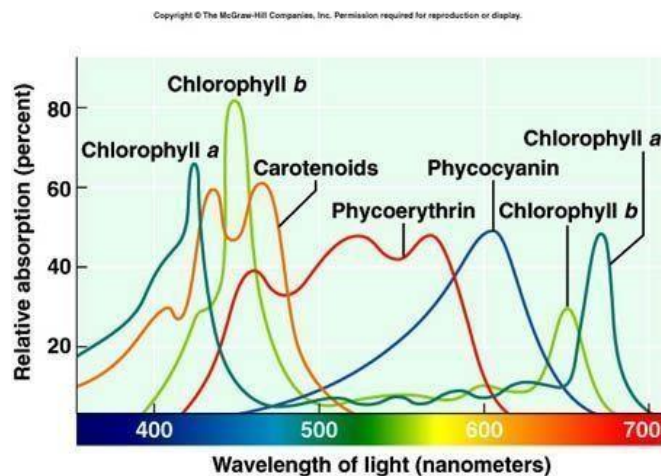


*Nota.* (Agrotecnia, 2021). <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/11/26/tipos-de-luz-para-iluminar-un-invernadero/>

A continuación, se presenta un gráfico de absorción relativa de los pigmentos vegetales en función de la longitud de onda del espectro electromagnético dentro de la radiación visible (Agrotecnia, 2021).

**Figura 10**

*Pigmentos vegetales en función de la longitud de onda*



*Nota.* <http://www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint1.htm>

Las clorofilas a y b de gran importancia tienen un pico de absorción de radiación principalmente en las longitudes de onda más energéticas dentro del espectro visible (400-500 nm) que corresponde a los colores violeta-azules. Los carotenos también tienen picos de absorción dentro de este rango. Es la longitud de onda más importante para el crecimiento vegetativo de la planta. Otro pico de estas clorofilas se muestra entre los 600 y 700 nm correspondiente a los colores anaranjados y rojos. En esta zona se favorece la emisión de tallos y la floración.

Estas son las luces, su rango de temperatura y su intensidad las cuales son: luz tiene una frecuencia de temperatura entre 2700K y 3500K, y la luz blanca natural tiene el rango de 3500K a 4500K, la luz led roja genera una intensidad de 1.9V, la luz led azul tiene una intensidad de 3.4V y la temperatura de la luz blanca es de 6000 K. (Agrotecnia, 2021).

#### **2.4.8 Sistema de ventilación para Forraje Verde Hidropónico.**

El sistema de ventilación en un invernadero lo podríamos definir como la sustitución del aire más caliente que se encuentra en el interior por otra masa de aire más frío que procede del exterior determinar las condiciones del ambiente es esencial para un control del forraje cultivado. (Ventilación, 2006).

Se debe mantener controlada las variables que están sujetas al control del ambiente, concentración de gases, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura. El sistema de ventilación que se debe emplear depende de las propiedades del edificio y del tipo de cultivo que se realice (Ventilación, 2006).

#### **2.4.9 Tipos de ventilación**

##### **2.4.9.1 Ventilación natural**

La ventilación natural, el aire caliente que está en el interior del invernadero sube y sale al exterior por las secciones abiertas situadas en la sección superior del invernadero, mientras que la admisión se realiza desde aperturas en las secciones laterales en ventanales dado el diseño del invernadero. (Ventilación, 2006).

Para este tipo de ventilación son necesarias grandes aberturas, entre un 15 % y un 25 % de la superficie de la cubierta, y no permite controlar los vientos de la velocidad del aire sobre el forraje (Cárdenas, 1999).

### **2.4.9.2 Ventilación mecánica simple**

Los sistemas mecánicos encargados de la ventilación del invernadero o ventiladores electromecánicos ubicado según se plantee el diseño del invernadero permiten el uso continuo del flujo de aire, mientras que las entradas de aire que proviene del exterior se localizan en las partes bajas laterales u opuestas (Ventilación, 2006).

### **2.4.10 Temperatura**

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma.

La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. El rango oscila entre los 18°C a 21°C. Sin embargo, el maíz, es deseado por el volumen de FVH que produce, aparte de su gran riqueza nutricional, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25°C y 28 °C. Cada especie presenta requerimientos de temperatura óptima para germinación. Las temperaturas extremas deben ser controladas en lo posible; un exceso de temperatura puede causar hongos y una alta temperatura puede retardar el crecimiento (Valdivia, 1997).

### **2.4.11 Sensores de temperatura.**

Se podría afirmar que los sensores de temperatura se usan para medir la temperatura de una superficie, ya sea del aire o de un cuerpo. Existen distintos tipos de sensores de temperatura según su principio de funcionamiento, o en lo que se esté aplicando.

#### **2.4.11.1 Termistor.**

Es un tipo de sensor semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Su funcionamiento se da a los cambios pequeños de temperatura. Generalmente son fabricados con materiales de óxido metálico y una mezcla de metales (Cadavid & Garcia, 2020).

#### **2.4.11.2 Termopar.**

Un termopar es un tipo de sensor que mide la temperatura, el cual suministra una señal de tensión eléctrica que se relaciona directamente y depende de la temperatura. Este tipo de sensor no necesita una fuente de alimentación externa constante para su funcionamiento. (Ecologicos, 2020).

#### **2.4.11.3 Detector Resistivo de Temperatura (RTD).**

Dispositivo común para realizar mediciones de temperatura en una gran variedad de aplicaciones industriales, ya que tiene un rango de detención muy amplio, para este tipo de sensor.

#### **2.4.12 Calidad de la humedad.**

El ambiente húmedo natural es de gran importancia para dar condiciones de asimilación adecuadas, ya que desempeña una influencia directa en el crecimiento de las hojas. (Resh H. , Hydroponic food production. 5th Ed., 1988)

El forraje hidropónico es un cultivo a raíz desnuda, sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una humedad determinada, mayor al 85%, esta humedad se da con la frecuencia de

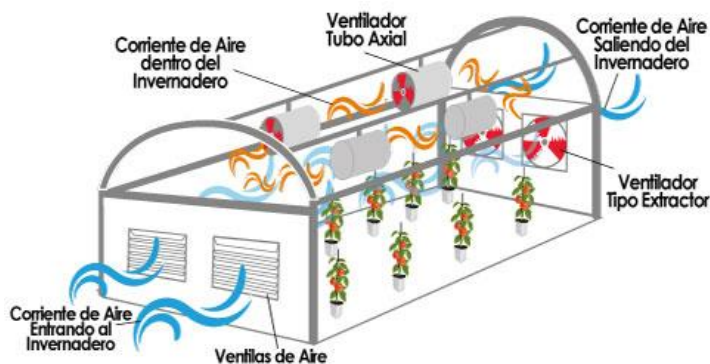
los riegos y la evapotranspiración de las plantas. La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior a 10%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios. (Resh H. , Hydroponic food production. 5th Ed., 1988)

### 2.4.13 Sensores de humedad.

Este tipo de sensores de humedad son aquellos que miden el nivel de líquido o la humedad relativa en un área específica, permiten controlar la humedad del aire y cualquier tipo de superficie, ya que su medición es entregada por el sensor de humedad se transforman en una señal eléctrica análoga y digital según el su principio de funcionamiento (trabajo, 2020).

## Figura 11

### *Ventilación en un Invernadero*



*Nota.* (Guía: Hydro Environment: Hidroponia en Mexico, n.d.)

## 2.5 Marco Legal

- Universidad Francisco de Paula Santander.

El estatuto estudiantil proporcionado el 26 de agosto de 1996; presenta el *acuerdo 065* el cual proporciona:

**ARTICULO 140.** El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado.

**Proyecto de Investigación**

- Monografía
- Trabajo de Investigación: Generación o aplicación de conocimientos
- Sistematización del conocimiento.

**Proyecto de Extensión.**

- Trabajo social
- Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Pasantía
- Trabajo dirigido

**PARÁGRAFO 1.** El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

**PARÁGRAFO 2.** Para algunos Planes de Estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

**ARTICULO 141.** El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:



- Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.
- Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto
- Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

**PARÁGRAFO.** Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

**ARTICULO 142.** Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

**PARÁGRAFO.** La Universidad incorporará los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.

**Artículo 65.** La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras.

De igual manera, el Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad.

**ASTM A36.** Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado.

Los aceros ASTM A36 son aceros al carbono estructurales para la construcción de puentes y el sector de la construcción en general que cumplen los requisitos de las normas ASTM A36/ A36M.

Norma ASTM A 36/A 36M – 00a. Norma emitida por la asociación americana de ensayo de materiales, se encarga de proveer los parámetros para diseño y selección de elementos de sujeción de estructuras.(Acero ASTM A36n.d.)

Norma ASTM A 66-01. Esta se encarga de dar dimensiones específicas de tolerancias, deformaciones y elongaciones permisibles en tornillos de acero y además especifica algunos de los calibres comerciales más usados en la industria.(Norma ASTM A36, s/f)

ley 603 de 2000. ley de licenciamiento de software en Colombia, ley de licencias de software. Presenta revisiones para garantizar que se cumpla la legalidad de los programas que tenga instalados en sus equipos de hardware.(Ley Sobre Licenciamiento de Software En Colombia Optimiza, nd.)

A36/A36M-08 Especificación estándar para acero estructural al carbono.

**La norma ISO 9001:** Es un modelo utilizado en relaciones cliente, proveedores nacionales e internacionales, presenta requisitos para gestión de sistema de calidad estas pueden utilizarse para aplicación interna de organizaciones.

### **2.5.1 Aspecto Legal del FVH**

El aspecto legal de cada país, está fijado por su constitución política, leyes, reglamentos, decretos y costumbres, entre otras, el cual determina diversas condiciones que se traducen en normas permisivas o prohibitivas, que pueden afectar directa o indirectamente el flujo de caja que se elabora para el proyecto que se evalúa. Cabe destacar que ningún proyecto, por muy rentable que sea, podrá llevarse a cabo, si no se establece el marco legal de referencia en el que se encuentran incorporadas las disposiciones particulares que establecen lo que legalmente esta aceptado por la sociedad; es decir lo que se manda, prohíbe o permite a su respecto para el proyecto que se llevara a cabo.

**DECRETO 1840 DE 1994, ARTICULO 1o.** El ámbito de aplicación del presente Decreto cubre todas las especies animales y vegetales y sus productos, el material genético animal y las semillas para la siembra existentes en Colombia o que se encuentren en proceso de introducción al territorio nacional, como también los insumos agropecuarios.

**ARTICULO 2o.** El manejo de la sanidad animal, de la sanidad vegetal, el control técnico de los insumos agropecuarios, así como el del material genético animal y las semillas para siembra comprenderán todas las acciones y disposiciones que sean necesarias para la prevención, el control, supervisión, la erradicación, o el manejo de enfermedades, plagas, malezas o cualquier otro organismo dañino, que afecten las plantas, los animales y sus productos, actuando en permanente armonía con la protección y preservación de los recursos naturales. Las acciones y disposiciones a que hace alusión este artículo estarán relacionadas con: Las campañas

de prevención, control, erradicación y manejo de enfermedades, plagas, malezas y otros organismos dañinos a las plantas, a los animales y a sus productos.

**CAPITULO VI, ARTICULO 9o.** Corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, ejercer el control técnico de los insumos agropecuarios, material genético animal y semillas para siembra y para tal efecto tendrá atribuciones para determinar los requisitos para el registro de las personas naturales o jurídicas que se dedique a la fabricación, formulación, importación, uso y aplicación de insumos agropecuarios; Determinar los requisitos para el registro de las personas naturales o jurídicas acreditadas para la certificación de la calidad, la eficacia y la seguridad de los insumos agropecuarios; Reglamentar, supervisar y controlar la producción, certificación, multiplicación, comercialización, importación y exportación de las semillas para siembra y el material genético animal, utilizado en la producción agropecuaria nacional; Reglamentar y planificar la producción y asignación de semilla básica de los materiales de propiedad del Estado; Aplicar el régimen de protección a las variedades vegetales.

**RESOLUCION 10 MARZO DE 2010, ARTÍCULO 1.** Reglamentar y controlar la producción, acondicionamiento, importación, exportación, almacenamiento, comercialización, uso de semilla, plántulas de todos los géneros y especies botánicas de mejoramiento convencional, incluyendo dentro de estos, la selección de mutaciones espontaneas o inducidas artificialmente y por métodos no convencionales como los organismos modificados genéticamente a través de ingeniería genética, con el fin de velar por la calidad de las semillas y la sanidad de las cosechas.

### 3 Capítulo. Diseño metodológico

#### 3.1 Tipo de investigación

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, caracterizándose por indagar la aplicación o utilización de los conocimientos conseguidos, después de implementar y sistematizar la práctica asentada en investigación. La usanza del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma inclemente, organizada y sistemática de conocer la situación.(Vargas & Zolia, 2009, pág. 6)

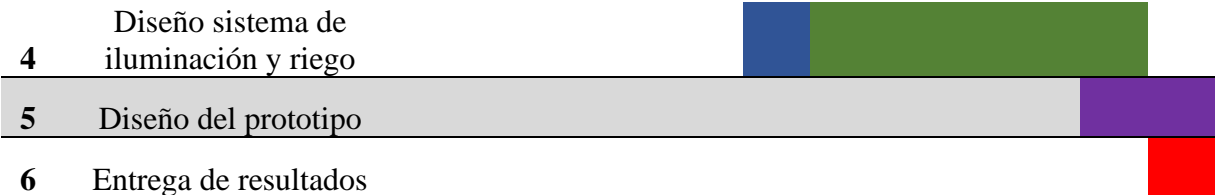
Para el desarrollo de este trabajo se efectuará el tipo de investigación aplicada, debido a qué se tendrá en cuenta los resultados adquiridos en la investigación para determinar el funcionamiento de los métodos aplicados y habiendo alcanzado los objetivos propuestos se podrá determinar con los conceptos metodológicos y las etapas experimentales que se efectuarán podríamos concluir la aplicación de los diseños consolidados.

#### 3.2 Cronograma.

**Tabla 4**

*Cronograma de actividades*

| N° | ACTIVIDADES                          | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|----|--------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|    |                                      | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1  | Revisión del estado del arte         | ■     |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2  | Diseño de estructura del invernadero |       | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 3  | Diseño sistema de Ventilación        |       |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |    |    |    |

|   |                                       |  |
|---|---------------------------------------|--|
| 4 | Diseño sistema de iluminación y riego |  |
| 5 | Diseño del prototipo                  |  |
| 6 | Entrega de resultados                 |  |

### 3.3 Fases del proyecto

#### 3.3.1 Fase I: Modelamiento de la estructura del invernadero en el software CAD SolidWorks

Modelamiento de la estructura del invernadero en el software CAD SolidWorks, realizar las respectivas simulaciones para soporte de cargas estáticas y cargas dinámicas con respecto a la acción de los vientos.

**Actividad 1:** Análisis de tipos de estructuras para el modelado del invernadero.

**Actividad 2:** Modelado de estructuras internas y propiedades de materiales específicos.

**Actividad 3:** Realizar análisis de la simulación de los datos arrojados del software SolidWorks.

#### 3.3.2 Fase II: Establecer los métodos más efectivos de ventilación, iluminación y riego

Establecer los métodos más efectivos de ventilación, iluminación y riego, posteriormente diseñar sistemas adecuados y para el cumplimiento de objetivos planteados en la investigación.

**Actividad 1:** Realizar los análisis de los sistemas basados en información previa.

**Actividad 2:** Planteamiento y desarrollo de cálculos para el cumplimiento de la funcionalidad de los sistemas.

**Actividad 3:** Análisis de los cálculos simulados y automatizados de los sistemas caracterizados.

### **3.3.3 Fase III: Elaboración de prototipo**

Elaboración de prototipo acuerdo a los parámetros establecidos en los objetivos establecidos.

**Actividad 1:** Elaboración del diseño prototipo para invernadero a escala en SolidWorks.

**Actividad 2:** construcción de prototipo de forma manual con cálculos previos de diseño.

**Actividad 3:** realizar los análisis de los cálculos obtenidos del crecimiento de forraje verde, concentrados en el prototipo.

## **4 Capítulo. Administración del proyecto**

### **4.1 Recursos humanos**

En la realización de este trabajo de grado será ejecutado por los estudiantes: Luis Miguel Peña cadena y Adrián said bello Armenta. Estudiantes del programa de ingeniería mecánica. Dirigido por el ingeniero mecánico Wilson Antonio Pérez torrado. Selecto como director del proyecto, se ha recurrido a docentes de la Universidad Francisco de Paula Santander para asesorías respectivas acerca de los temas de investigación de este proyecto.

### **4.2 Recursos institucionales**

Sea requerido para la realización de este proyecto el software institucional SolidWorks de forma educativa para el desarrollo y estudio de los diseños aplicados, así como también sea solicitado el acceso a salas de computación aptas y adecuadas para el proceso de compilación de datos analizados en este documento.

Así como también sea tenido acceso a salas de centros de estudios del programa de ingeniería mecánica.

### **4.3 Recursos financieros**

Los gastos efectuados en la elaboración del proyecto serán envanecidos por los autores.



## 5 Capítulo. Resultados

### 5.1 Desarrollo de fases.

La estructuración del invernadero se realizará con base a la cantidad de forraje que se desee tener diariamente, asumiendo que siempre se debe dejar cierto margen de seguridad. Teniendo en cuenta que se puede producir en un área de tres metros cuadrados (3 m<sup>2</sup>), en circunstancias de temperatura y factores estables alrededor de unos 600 – 624 kilogramos de forraje verde hidropónico día. Si, se desea obtener una mayor producción, hay que tener en cuenta las proporciones de espacio se recomendado utilizar racks o anaqueles del tamaño deseado (Viloria, 2019).

El modelamiento de diseño para la estructura del invernadero e igualmente para todos los componentes internos tales como anaqueles y sujeciones requeridas, están acogidos de información previa y seguida en este documento y las características a tener en cuenta de acuerdo a los tipos de invernadero que se aplican correspondiente a las necesidades que el productor necesite y también a la zona donde se quiera aplicar.

Se encuentra una gran variedad de invernaderos, para este proyecto se tuvieron como referencia los más comunes de acuerdo a la zona, teniendo así, seguido el que se estudió y aplico como referencia para este trabajo.

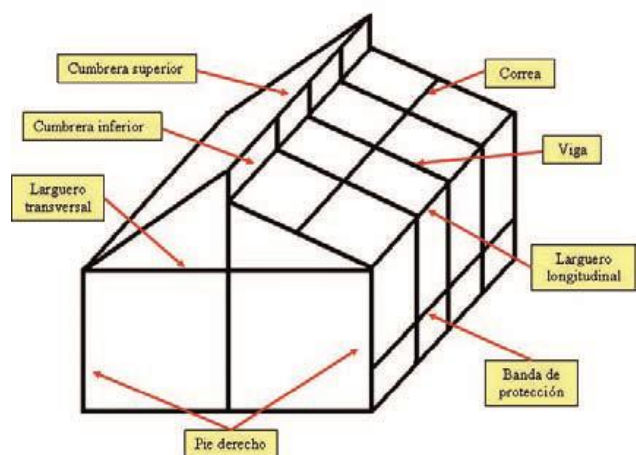
#### 5.1.1 *Invernaderos de capilla*

El invernadero tipo capilla simple que se muestra en la figura 12, tiene la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas; la inclinación de la

techumbre se diseñará en favor de las condiciones del área donde se desee construir el invernadero. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves o secciones dobles unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación (Gassó & Sergio, 2011, p. 19).

### Figura 12

#### *Invernaderos de capilla*



*Nota. (Construcción de Un Invernadero de 40m2 Para La Producción de Hortalizas Con Aguas Lluvias - PortalFruticola.Com, s/f)*

Otro tipo que se puede aplicar en caso de aumento de producción, siendo el caso se puede optar por el invernadero tipo capilla doble, las variables de construcción pueden ser progresivas y unidas a este tipo, seguido se da una especificación del modelo doble y una visualización en la figura 13.

### **5.1.2 Invernaderos de doble capilla**

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves aproximadas. Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa. Derivado de la capacidad en ventilación debido a sus construcciones agrupadas. (Gassó & Sergio, 2011, p. 19)

#### **Figura 13**

*Invernaderos de doble capilla*



*Nota. (Invernaderos Multitúnel Capilla - Multicapilla, s/f)*

### **5.1.3 Fase I: Diseño y modelado estructural de Invernadero.**

En los capítulos anteriores, se dieron a conocer elementos que conformaran de manera adecuada las ventajas, innovaciones que se adecuaran para el diseño, los componentes establecidos están estudiados y ejecutados coexistirán mostrando en los siguientes ítems o subsistemas que lo componen. Estos tipos de invernaderos anteriormente mencionados y son una base del modelamiento estipulado del invernadero el software SolidWorks.

#### **5.1.4 Estructura del invernadero**

El diseño de la estructura del invernadero, fue definido usando los tipos de invernadero para forraje verde hidropónico, entre los cuales se tomó como predeterminado para esta investigación un diseño de invernadero de tipo capilla, teniendo en cuenta características propicias para un mejor desempeño y producción de forraje verde hidropónico (FVH).

El diseño fue modelado en el software CAD SolidWorks, se estipularon medidas correspondientes a la necesidad de producción que se necesita para la alimentación de ganado bovino en el transcurso de un mes, las capacidades de producción se especifican dado que la capacidad de producción en el caso propuesto es para el abasto de veinte animales.

La estructura del invernadero tipo capilla, se modelo con unas dimensiones de 12 m de ancho por 22 m de profundidad a 4.5 m de alto, como se muestra en la figura 14 las herramientas usadas en el software para el ensamble de la estructura, se determinó un tipo de material con la resistencia y diámetros de 40 X 40 X 4 AL PIPE ESTRUCTURAL 2 S40, ASTM A36 Acero.

**Figura 14**

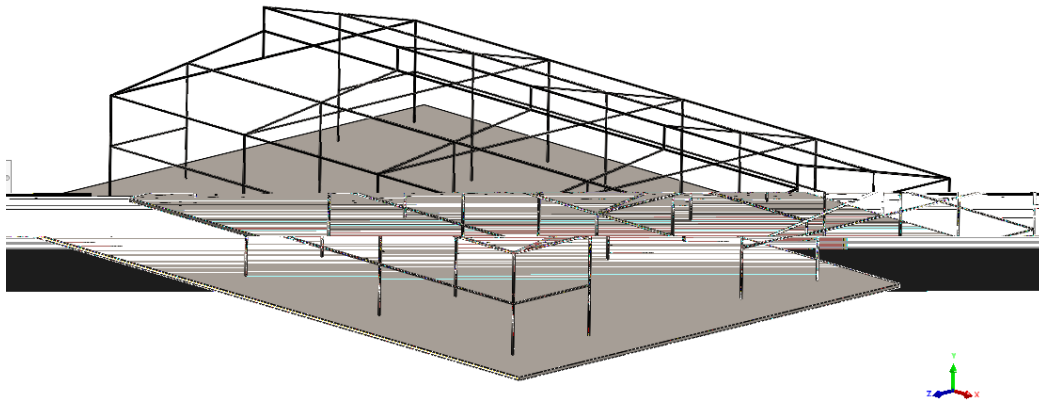
*Sección estructural de 80 X 80 X 4 AL PIPE ESTRUCTURAL 2 S40, ASTM A36 Acero.*



Seguidamente en la figura 15 se muestra el diseño del invernadero tipo capilla previamente realizada en el software, la estructura de tubos cuadrados se visualiza en una placa proporcional a las medidas establecidas para el desarrollo del invernadero el cual cuenta con unas magnitudes en sistemas de referencia y métricas de 12 m de ancho por una profundidad de 22 m, con una vista isométrica.

**Figura 15**

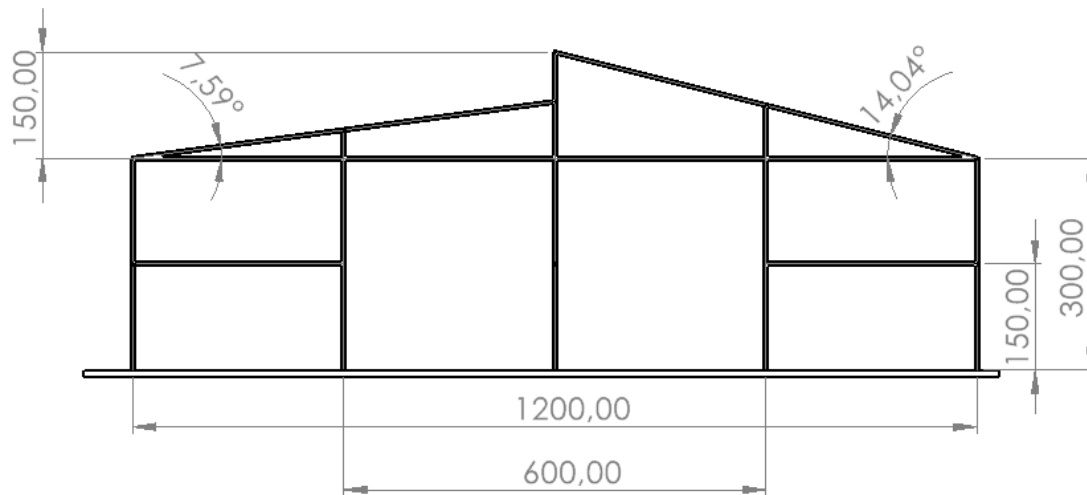
*Estructura diseñada en SolidWorks.*



Las medidas que se realizaron en el diseño en el software de SolidWorks, tienen los siguientes parámetros, los cuales se encuentran en sistema métrico mm. Se presentarán acotados en el módulo de dibujo del software mostrando así las medidas que previamente fueron diseñadas. Se muestra la figura de cara frontal con acotaciones generadas por el programa SolidWorks como se muestra en la figura 16.

**Figura 16**

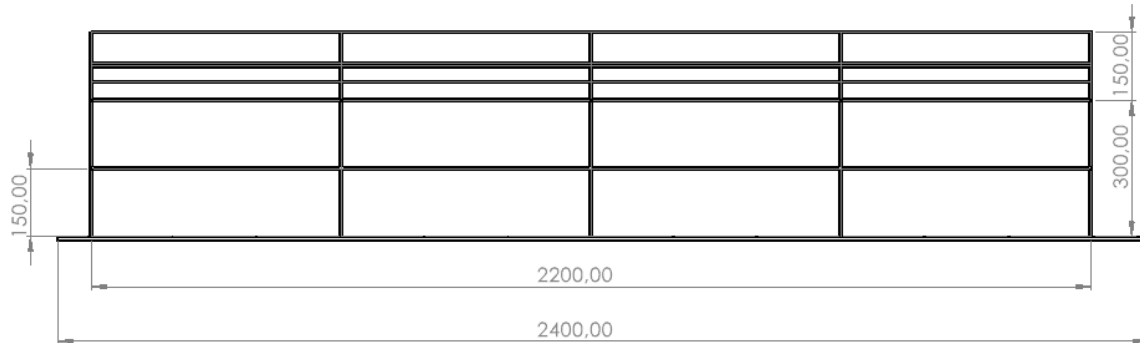
*Estructura, dibujo vista frontal diseñado en SolidWorks.*



Así mismo podemos observar en la figura 17 una vista lateral de las medidas del invernadero modelado donde se especifican las medidas de profundidad y altura del diseño.

**Figura 17**

*Estructura, dibujo vista lateral diseñado en SolidWorks.*



#### **5.1.4.1 Propiedades físicas de la estructura.**

Compilando la información en el software SolidWorks esta herramienta nos permite verde forma ordenada y definitiva las propiedades físicas que presenta el diseño de forma concisa, como se muestra en la figura 18.



**Figura 18**

*Propiedades físicas estructura invernadero.*

|   |                   |                    |
|---|-------------------|--------------------|
| Propiedades de masa de estructura invernadero 1   |                   |                    |
| Configuración: Predeterminado<Como mecanizada>  |                   |                    |
| Sistema de coordenadas: -- predeterminado --  |                   |                    |
| Densidad = 7850.00 kilogramos por metro cúbico  |                   |                    |
| Masa = 246943.67 kilogramos   |                   |                    |
| Volumen = 31.46 metros cúbicos  |                   |                    |
| Área de superficie = 765.92 metros cuadrados  |                   |                    |
| Centro de masa: ( metros )  |                   |                    |
| X = 11.26   |                   |                    |
| Y = -0.03   |                   |                    |
| Z = -5.81   |                   |                    |
| Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * Medido desde el centro de masa. |                   |                    |
| lx = ( 1.00, 0.00, 0.00)  | Px = 3498986.62   |                    |
| ly = ( 0.00, 0.00, -1.00)   | Py = 11881527.44  |                    |
| lz = ( 0.00, 1.00, 0.00)  | Pz = 15346716.24  |                    |
| Momentos de inercia: ( kilogramos * metros cuadrados )  |                   |                    |
| Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas                                      |                   |                    |
| Lxx = 3498986.78  | Lxy = -1384.52    | Lxz = 110.31       |
| Lyx = -1384.52  | Lyy = 15346715.55 | Lyz = -1354.14     |
| Lzx = 110.31  | Lzy = -1354.14    | Lzz = 11881527.96  |
| Momentos de inercia: ( kilogramos * metros cuadrados)   |                   |                    |
| Medido desde el sistema de coordenadas de salida.   |                   |                    |
| lxx = 11826912.40   | lxy = -79539.81   | lxz = -16141781.71 |
| lyx = -79539.81   | lyy = 54962764.36 | lyz = 38966.79     |
| lzx = -16141781.78  | lzy = 38966.79    | lzz = 43170041.60  |

*Nota. Software SolidWorks.*

En la estructuración del invernadero en el software SolidWorks se especificaron medidas específicas y acotamientos, por los cuales sí siguió un procedimiento paso a paso, siguiendo conocimientos previos del software.

### ***5.1.5 Techo o cubierta del invernadero.***

La protección exterior de la mayoría de las estructuras que recubre un invernadero es plástica. Estos plásticos comprenden características que tienen como función la protección de los cambios en la temperatura, vientos y radiación de la zona en el cual se encuentra ubicado el invernadero.

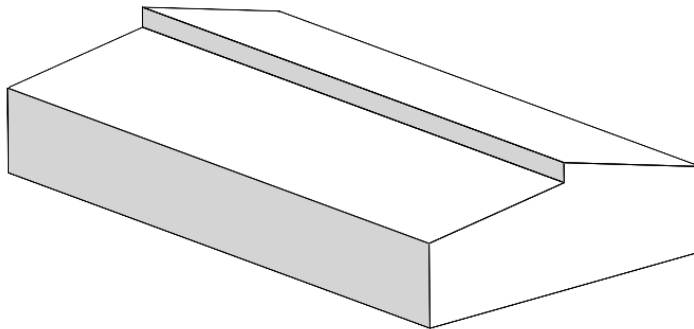
Existen una gran variedad de materiales los cuales pueden ser utilizados para la cubierta los invernaderos, policarbonato, poli metacrilato de metileno, poliéster, y vidrio estos se utilizan mayormente para invernaderos con cubiertas firmes, pero lo más común en esta zona se utiliza cubiertas de copolímero de etileno y acetato.

Para la invernada era cuestión de esta investigación en el software SolidWorks se definió una cubierta de lámina tereftalato polietileno (PET).

Para el diseño se usó una extrusión superficial, acorde con los diámetros definidos en la estructura, que posteriormente fue ensamblado en la estructura del invernadero, para así dar forma estética al diseño del invernadero de forraje verde hidropónico (FVH). Como se muestra en la figura 19.

**Figura 19**

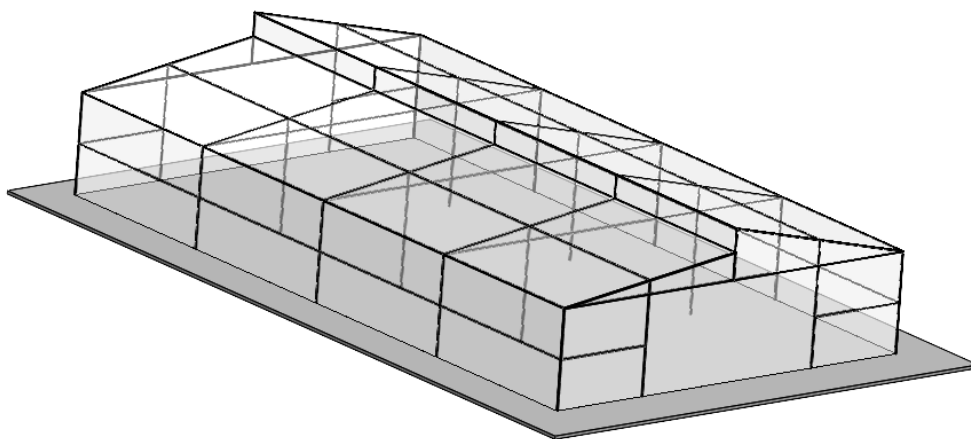
*Techo solido diseñado en SolidWorks.*



La cubierta o techo se realizó un ensamble simétrico con la estructura, como se muestra en la siguiente figura 20, la cubierta o techo se visualiza completamente en vista plástica transparente debido al material proporcionado al diseño, como protección en los eventos del medio, consta de una vista isométrica en el sistema de coordenadas disponible en el software SolidWorks.

**Figura 20**

*Estructura de invernadero con plástico u techo.*

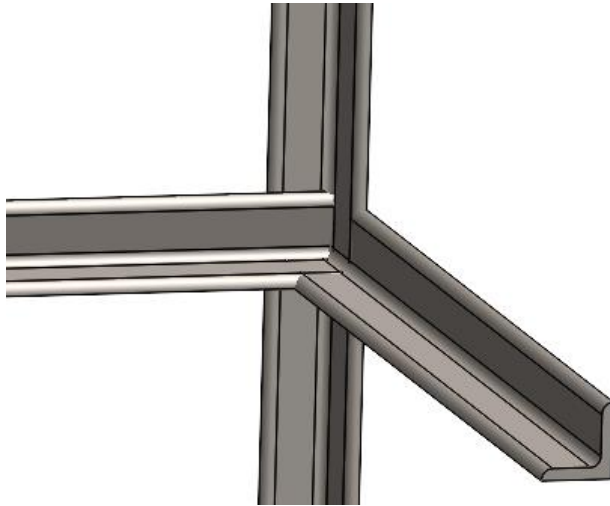
**5.1.6 Anaquel o módulos de las bandejas.**

La estructura del anaquel se diseñó con unas medidas de 5 m de largo por 60 cm de ancho con una altura 2.25 m, los casilleros tienen ángulos de  $10^\circ$  para permitir el flujo del agua por las bandejas, para una mejor distribución de líquidos y nutrientes, se estructuró con una distancia de 45 cm entre cada bandeja para permitir el espacio correspondiente para el crecimiento y cosecha miento del forraje verde hidropónico entre (FVH), respectivamente las bandejas se mantendrán con una inclinación de  $10^\circ$ , como se muestra en la figura 21.

Se implementó acero cuadrado de 20x20x2 mm para el marco principal y acero angular ASTM A36 de 25x25x5 mm para las secciones centrales de los módulos. Este diseño se implementó con el módulo de pieza soldada del software SolidWorks.

**Figura 21**

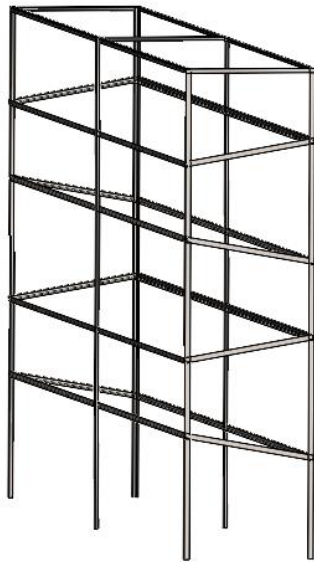
*Acero angular ASTM A36 de 25x25x5 mm para las secciones.*



El modelado de los anaqueles se muestra previamente en la figura 22, se puede apreciar las dimensiones subdivididas de los niveles entre espacios para las respectivas bandejas y los ángulos en los que se planteó el modelado para que drene el agua de las bandejas, se muestra en forma isométrica y al igual que la figura 21 se aprecia de forma general el resultado del diseño.

**Figura 22**

*Anaqueles de soporte para bandejas.*



Las propiedades físicas que arroja el software SolidWorks nos brindan la información completa de las dimensiones que conforman la estructura.

## Figura 23

### *Propiedades físicas de anaquel.*

Propiedades de masa de Modulación  
 Configuración: Predeterminado<Como mecanizada>  
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 kilogramos por centímetro cúbico

Masa = 90.99 kilogramos

Volumen = 11590.49 centímetros cúbicos

Área de superficie = 6.66 metros cuadrados

Centro de masa: ( metros )  
 X = 0.00  
 Y = 1.29  
 Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos \*  
 Medido desde el centro de masa.  
 lx = ( 1.00, 0.00, 0.00) Px = 41.36  
 ly = ( 0.00, 1.00, 0.00) Py = 270.71  
 lz = ( 0.00, 0.00, 1.00) Pz = 297.37

Momentos de inercia: ( kilogramos \* metros cuadrados )  
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

|             |              |              |
|-------------|--------------|--------------|
| Lxx = 41.36 | Lxy = -0.01  | Lxz = 0.00   |
| Lyx = -0.01 | Lyy = 270.71 | Lyz = 0.02   |
| Lzx = 0.00  | Lzy = 0.02   | Lzz = 297.37 |

Momentos de inercia: ( kilogramos \* metros cuadrados )  
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

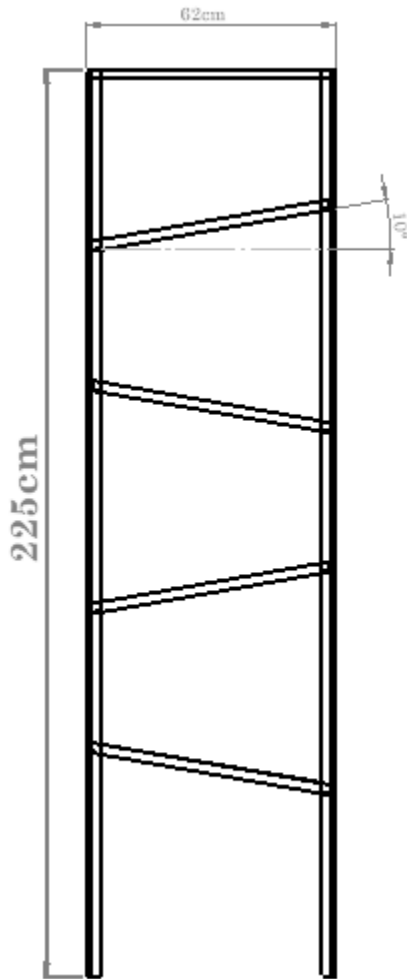
|              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| lxx = 193.47 | lxy = -0.01  | lxz = 0.00   |
| lyx = -0.01  | lyy = 270.71 | lyz = 0.02   |
| lzx = 0.00   | lzy = 0.02   | lzz = 449.48 |

*Nota. SolidWorks.*

Las vistas laterales de los anaqueles de la figura 24 en el módulo de dibujo de SolidWorks muestran las medidas utilizadas para la construcción específica de los módulos que contendrán las bandejas.

**Figura 24**

*Medidas específicas del anaquel.*



### ***5.1.7 Análisis estáticos estructurales en SolidWorks.***

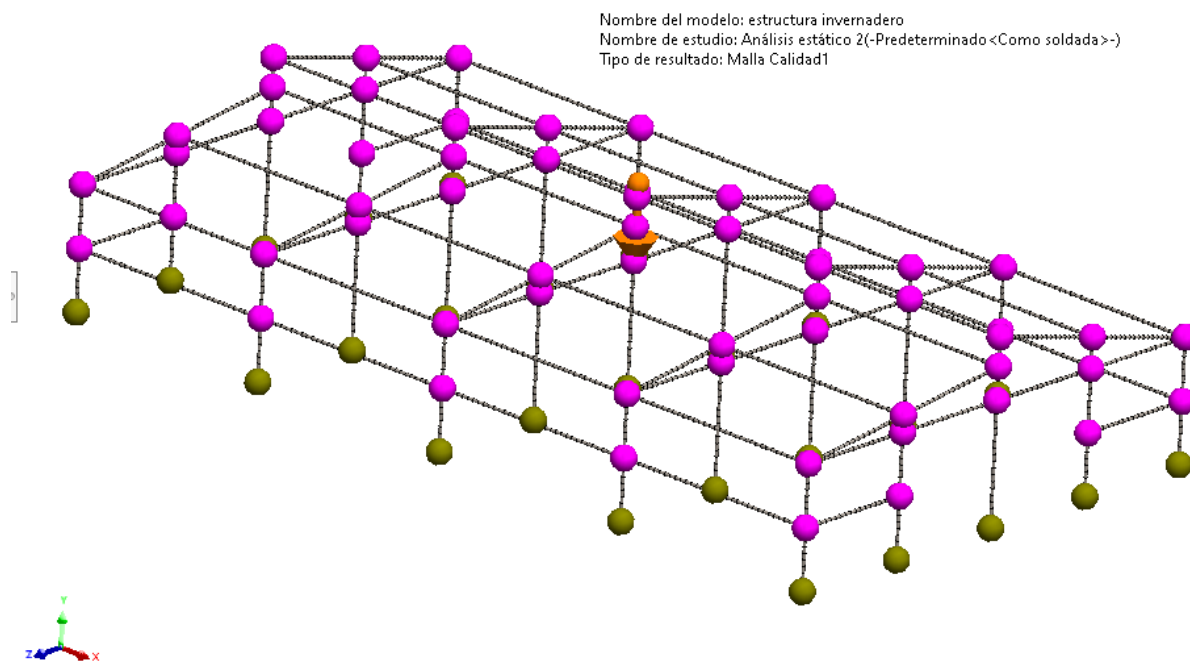
El modelamiento de la estructura en SolidWorks, permite determinar propiedades físicas de los diseños, así como también ejecutar series de pruebas y simulaciones con módulos específicos, con cálculos de medidas y espesores de las estructuras previas se efectuaron los estudios especificados posteriormente.



En la sección de complementos en el apartado de simulación se generó un estudio de análisis estáticos para las secciones estructurales del invernadero, el complemento permite crear una serie de sujeciones, cargas y mallados por el cual se generan los límites de resistencia de la estructura, en las siguientes figuras se detallará paso a paso los análisis.

### Figura 25

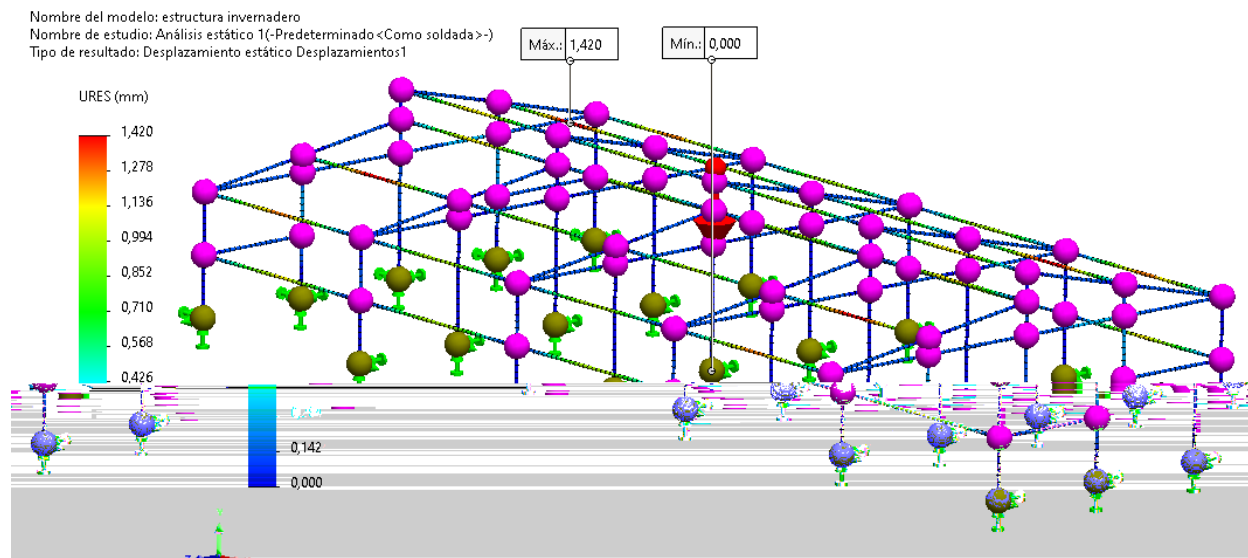
#### *Análisis estático, sujeciones, carga y mallado*



Dado los parámetros carga de gravedad y propiedades de la estructura se ejecuta el desplazamiento estático, que proporciona datos máximos y mínimos, la escala de colores generada del análisis URES (mm), muestra el desplazamiento generado por las cargas en la figura 26, es de 1.420 mm en su punto máximo y en su punto mínimo es 0.0.

**Figura 26**

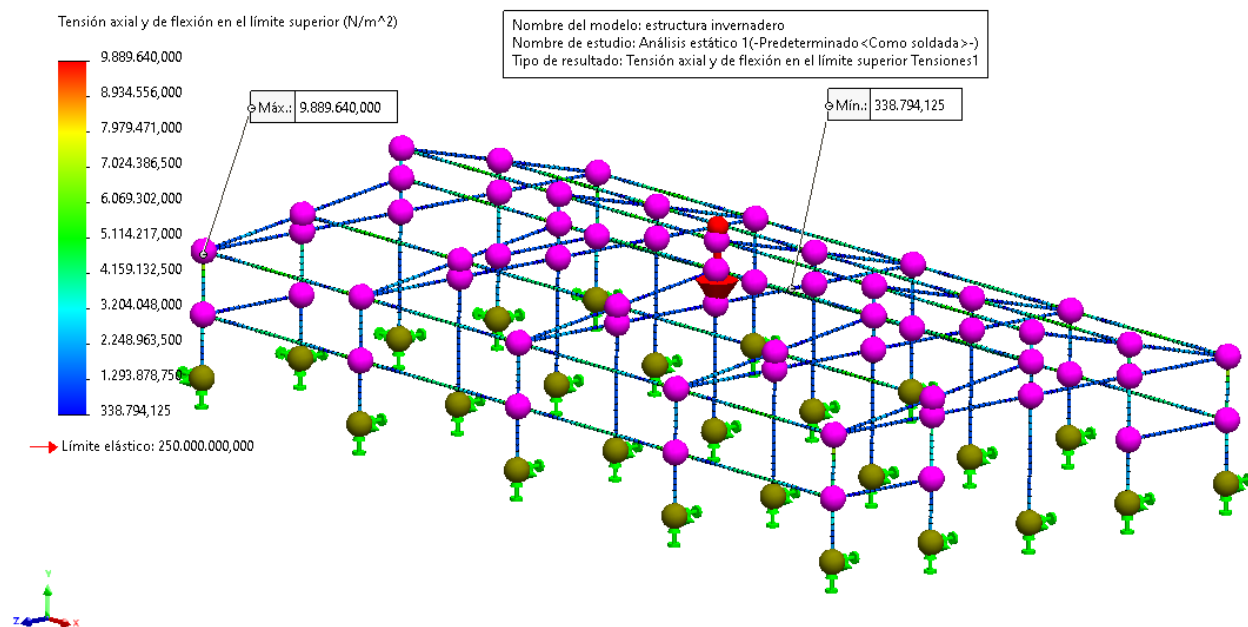
*Análisis estático desplazamiento URES (mm).*



Tensión axial y deflexión en el límite superior, las tensiones que soportan las estructuras se determinan teniendo en cuenta los materiales y diámetros utilizados, las tensiones dependen del límite elástico de material, la figura 27 muestra los datos generados, los datos generados por la simulación se muestra en el sistema internacional el límite elástico en N/ se puede apreciar que están por debajo del limite permisible por el material y la distribución de los esfuerzos lo que quiere decir que la estructura soportara adecuadamente las tensiones y deflexiones.

**Figura 27**

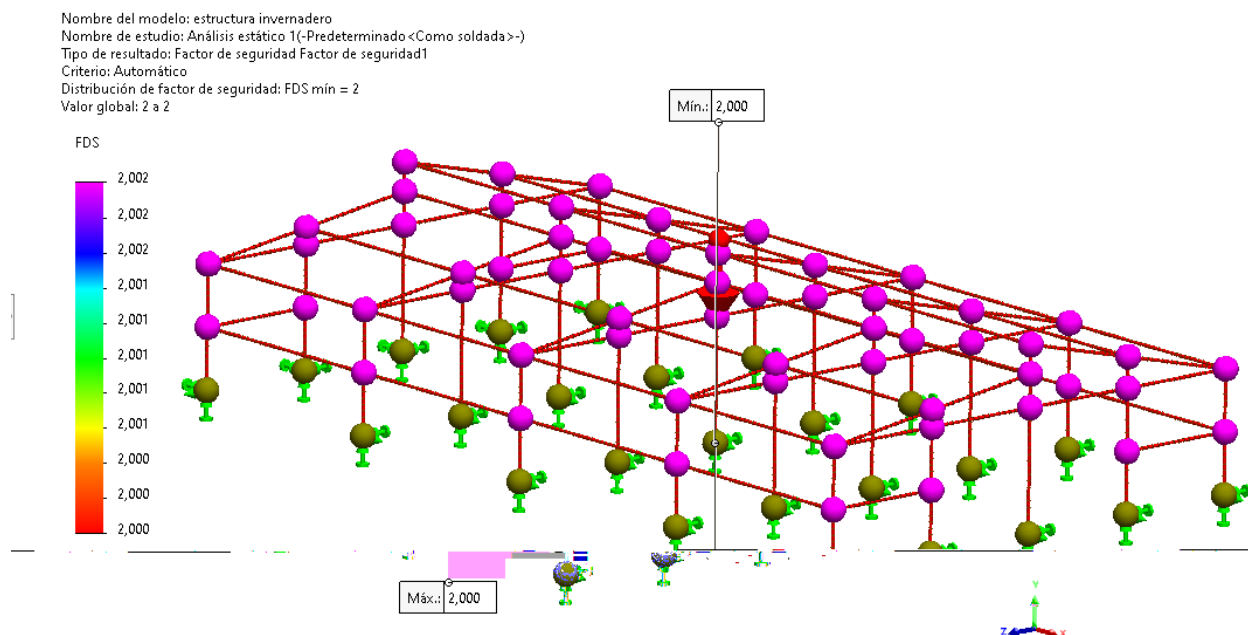
*Tensión axial y deflexión en el límite superior estructura.*



La distribución de factor de seguridad FDS en la figura 28, la estructura cuenta con un límite mínimo de 2.0 esto representa la capacidad mayor de los límites permisibles, este es un coeficiente de seguridad y es el que permite manifestar un margen por encima de las normas pertinentes y así evitar un colapso en las estructuras.

## Figura 28

### Factor de seguridad estructural



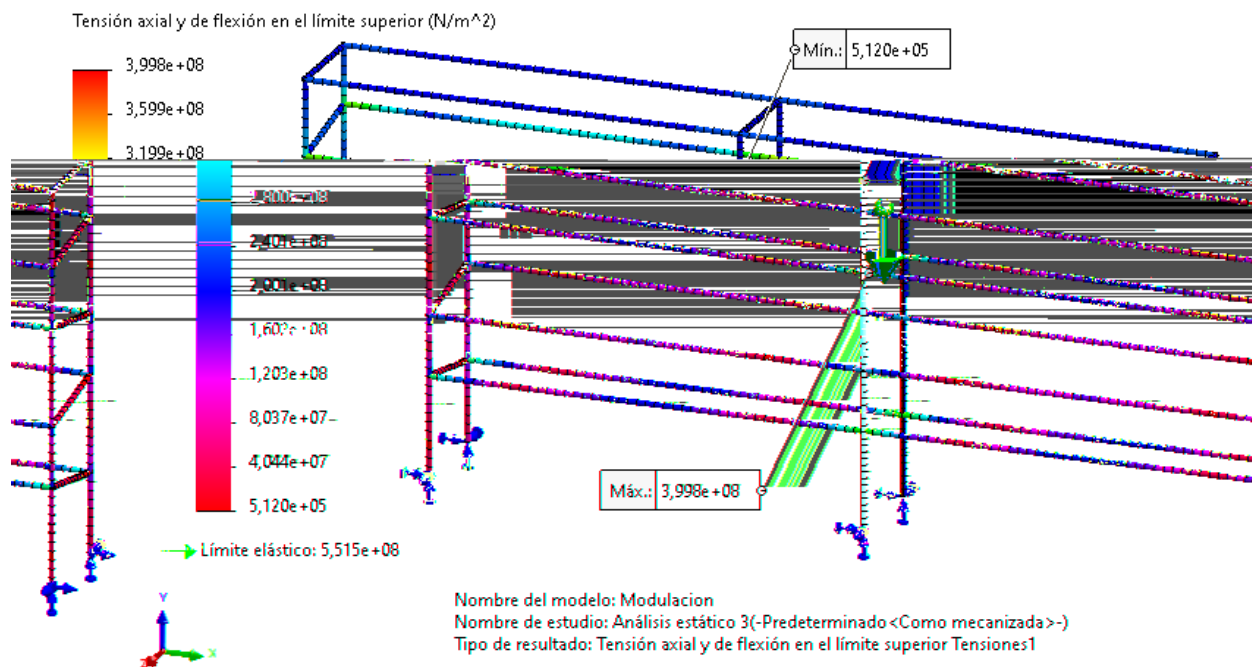
### 5.1.8 Análisis estático de los anaqueles

Se realizó la simulación para análisis en la figura 29, a los anaqueles que sostendrán las bandejas y las cargas de la cosecha con una distribución en todas las secciones, ejecutando se muestran los resultados en las siguientes figuras.

Tensión axial y deflexión en el límite superior, la carga distribuida de los anaqueles es de 600 kg, más la carga de la gravedad teniendo en cuenta las propiedades físicas de los materiales se obtuvieron los siguientes resultados.

**Figura 29**

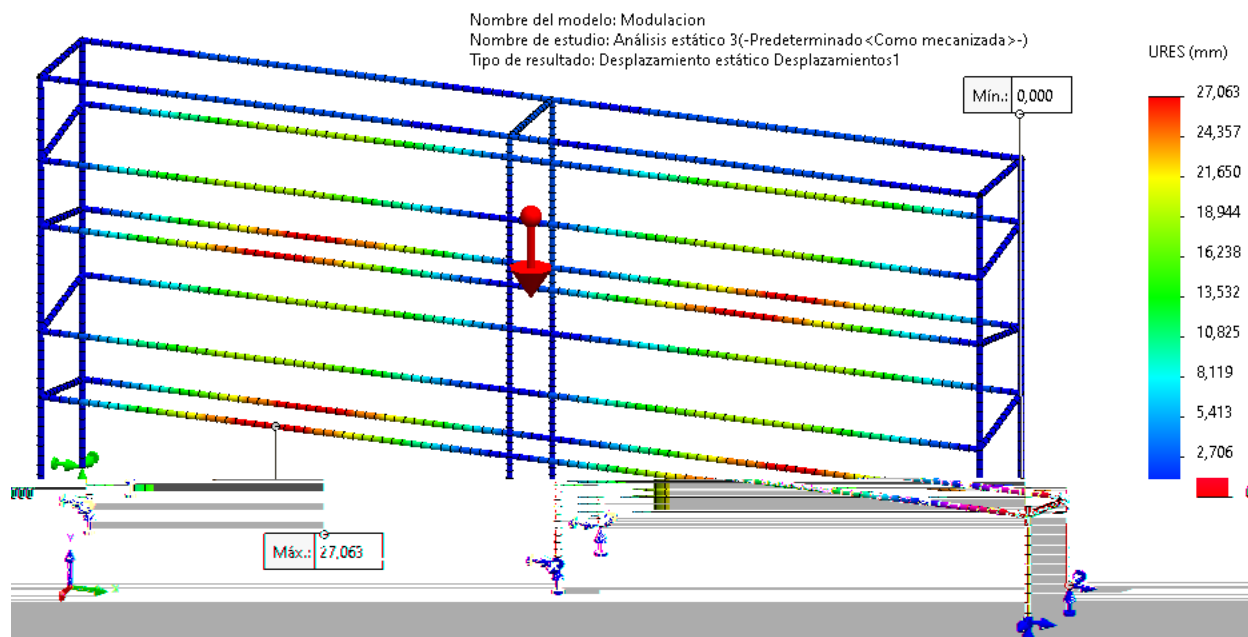
*Tensión axial y deflexión en el límite superior de anaquel.*



El desplazamiento estático de desplazamiento URES, en la figura 30 se muestra una flexión debido a la carga de 27.063 mm máxima, asumiendo las magnitudes y propiedades de la estructura los datos las cargas efectuadas se mantienen en el rango óptimo, para la producción de forraje.

**Figura 30**

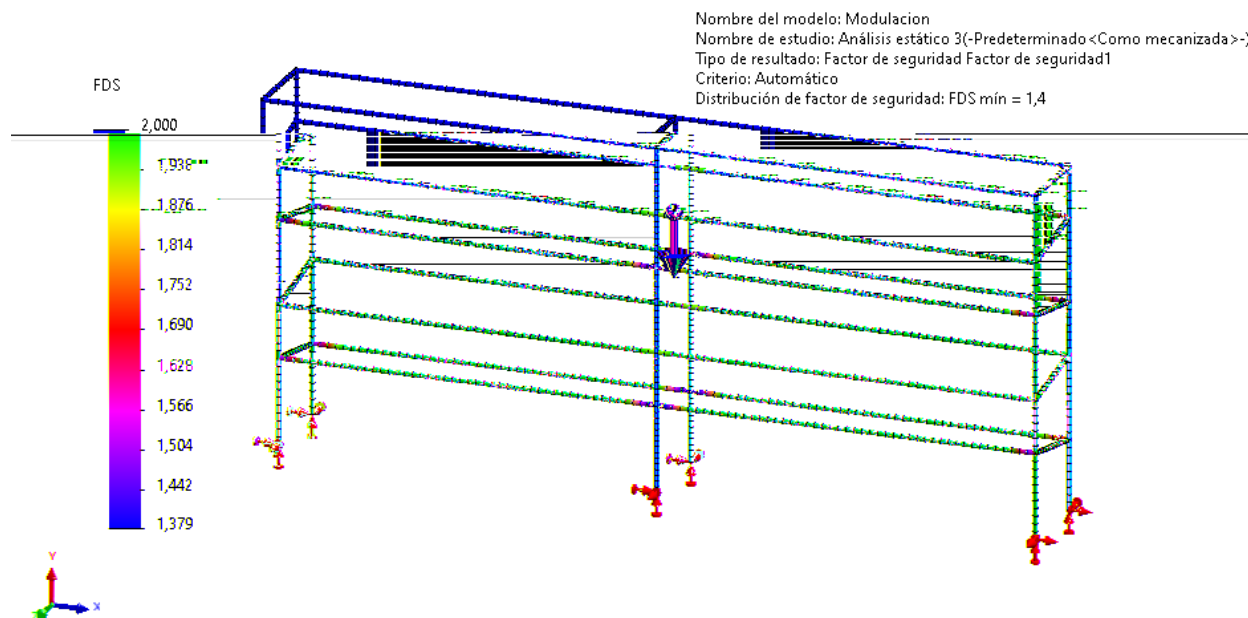
*Análisis estático desplazamiento URES (mm).*



La distribución de factor de seguridad FDS, la estructura cuenta con un límite mínimo de 1.4, esto representa la capacidad de los límites permisibles de la estructura. La figura 31 se modeló con respecto a las variables de diseño encontrados en las directrices de racks esto permite estructurar de forma adecuada con apoyos y sujeciones de diseño específicos que permiten mayor eficiencia a la hora de distribuir cargas en estructuras, en este caso cómo se ve en la figura 31 los valores arrojados por la simulación de SolidWorks se aprecian con un margen muy amplio de la capacidad superior del factor de seguridad con respecto a la carga.

**Figura 31**

*Factor de seguridad del anaquel.*



## 5.2 Fase II: sistemas de ventilación, iluminación y riego.

### 5.2.1 Ventilación.

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire que actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO<sub>2</sub> y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada (Infoagro., 2015).

La consideración en la ventilación es esencial para regular condiciones de temperatura y humedad y balance del CO<sub>2</sub> al interior del invernadero. La ventilación natural es muy importante para el crecimiento óptimo de las plantas, especialmente en verano y en zonas cálidas. Durante la

mayor parte del año, un buen sistema de ventilación natural permitirá mantener condiciones de microclima adecuado dentro del invernadero para los cultivos. (Pizarro & Contreras, 2022, pág. 4)

Los invernaderos deben considerar aberturas o ventanas de ventilación que representen al menos un 25 % respecto de la superficie del suelo.

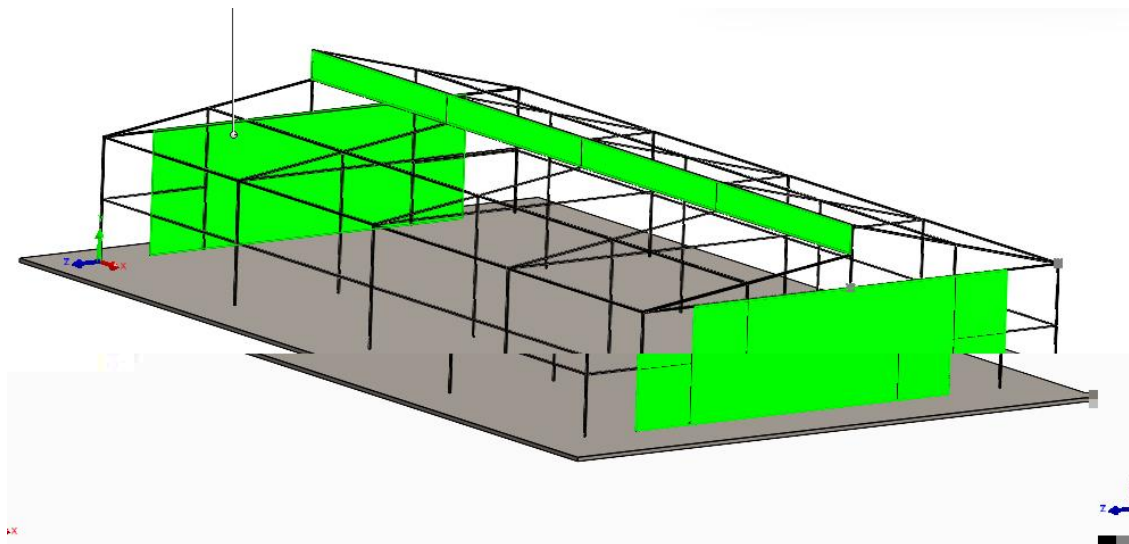
En el caso de invernadero diseñado las dimensiones del invernadero son aproximadamente 246 m<sup>2</sup>, por ende, el porcentaje que se debe mantener abierto para que fluya el aire correctamente adecuadamente es de 61.5 m<sup>2</sup>; esto permitirá una ventilación básica, económica y sustentable.

En la figura 32 se muestra el área libre o abierta para la ventilación en las secciones de color verde se calcula el área con la herramienta de medición de SolidWorks la cual es de 68.79 m<sup>2</sup>, lo cual representa más de un 90 % del área de ventilación requerida.

### **Figura 32**

*Sección abierta del invernadero para ventilación.*





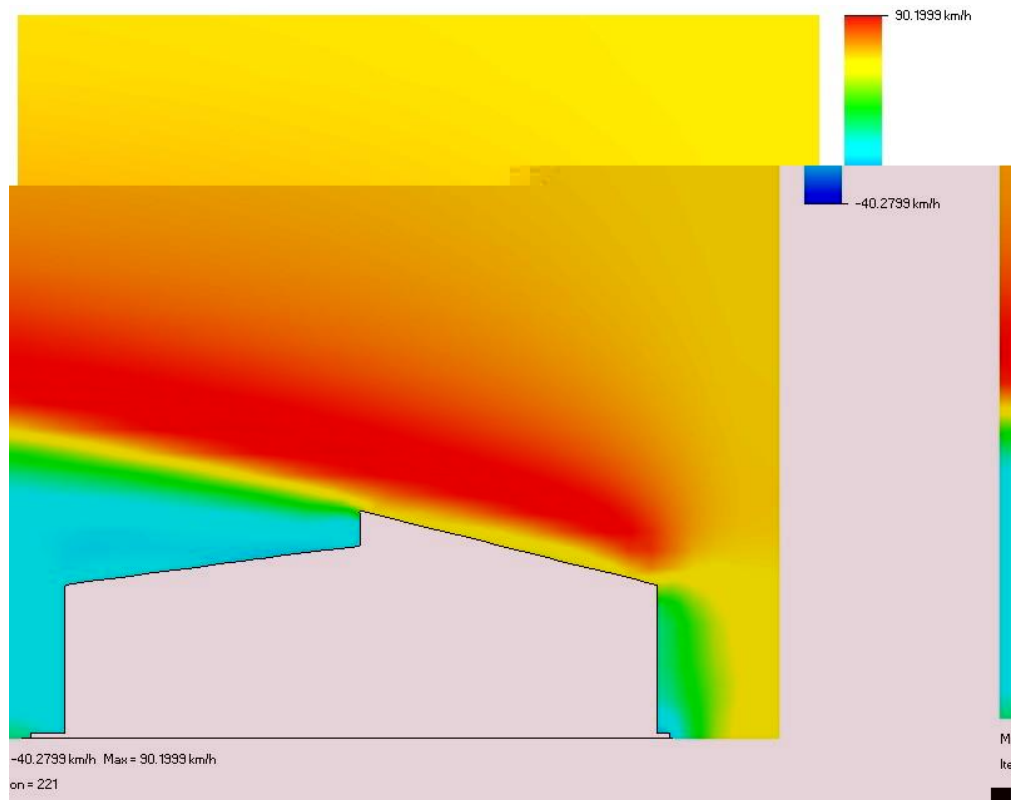
Para este tipo de ventilación se recomienda tener en cuenta los efectos de acciones del exterior, como plagas, mosquitos que puedan afectar el cultivo.

Mallas con una granulometría entre 40 a 55 mesh protegen de minadores, moscas, y ácaros, generalmente también tienen propiedades sobre el comportamiento al perturbar los vientos por medio de la refracción de luz. La altura del invernadero, también es un factor a considerar, ya que regula de mejor forma la fluctuación de temperatura interior y reduce el porcentaje de sombra interior hacia los cultivos. Se recomienda que estos tengan al menos 4 m en la parte más alta y 2,5 m en los laterales. (Pizarro & Contreras, 2022, pág. 4)

En la siguiente la figura 33 se representa una simulación del efecto del aire en la estructura superficial del invernadero que muestra el comportamiento del aire en la zona del norte de Santander que es según datos del IDEAM 60 km/h en su punto más alto del año, 15° 73'14" W 08° 05' N ábrigo centro administrativo norte de Santander 2.5 m/s. (IDEAM, 2019)

**Figura 33**

*Estudio de vientos de SolidWorks Flow simulation.*



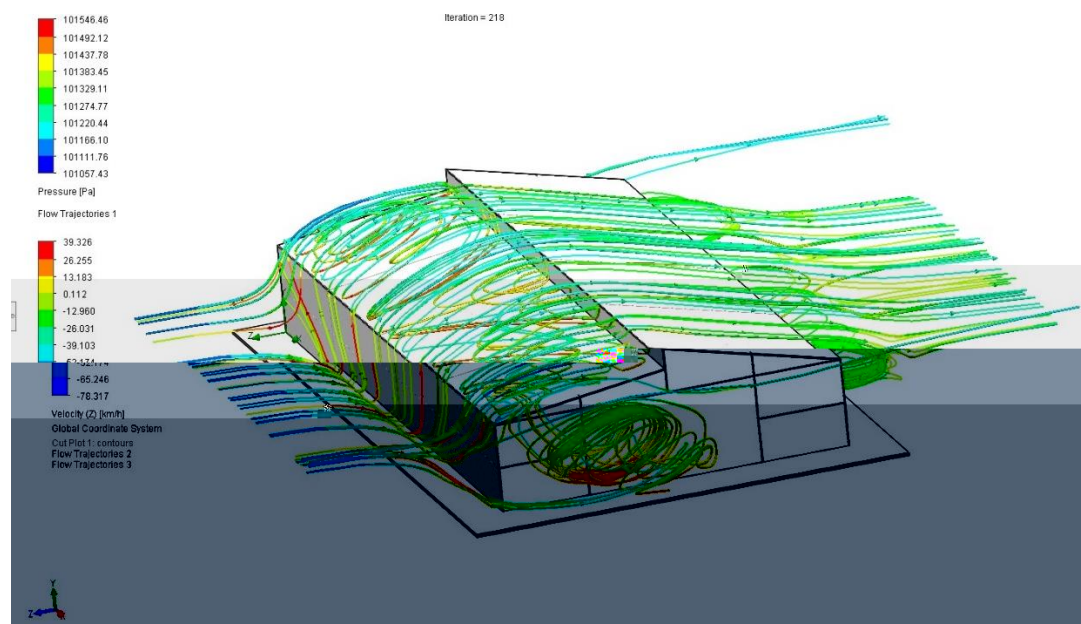
### 5.2.1.1 Efecto del aire externo.

Los efectos del aire y velocidades especificados anteriormente, y con las simulaciones generadas en SolidWorks con el módulo de simulación Flowsimulator, entregados los datos de velocidad del viento de 60km/h en su capacidad máxima de la zona de norte de Santander, con una temperatura promedio 25 grados Celsius, a las secciones laterales y transversales de la estructura se simula las capacidades y movimientos de los vientos al chocar con la estructura.

En las figuras 34 a 35 se muestra las simulaciones modeladas en SolidWorks que muestran los efectos de tensión y movimiento en pascales y km/h del aire en la superficie de la estructura dando así una vista dinámica del movimiento, la simulación presenta una vista del comportamiento del viento con respecto a las velocidad del mismo, en la estructura con las dimensiones variables del modelamiento, se puede apreciar las ondulaciones y vórtices dónde el aire se estrella con la superficies, así mismo se muestra de colores cálidos dónde el aire ejerce las mayores presiones y variaciones depresión y velocidad.

### Figura 34

*Simulación flowsimulator de pressure y velocity del aire.*

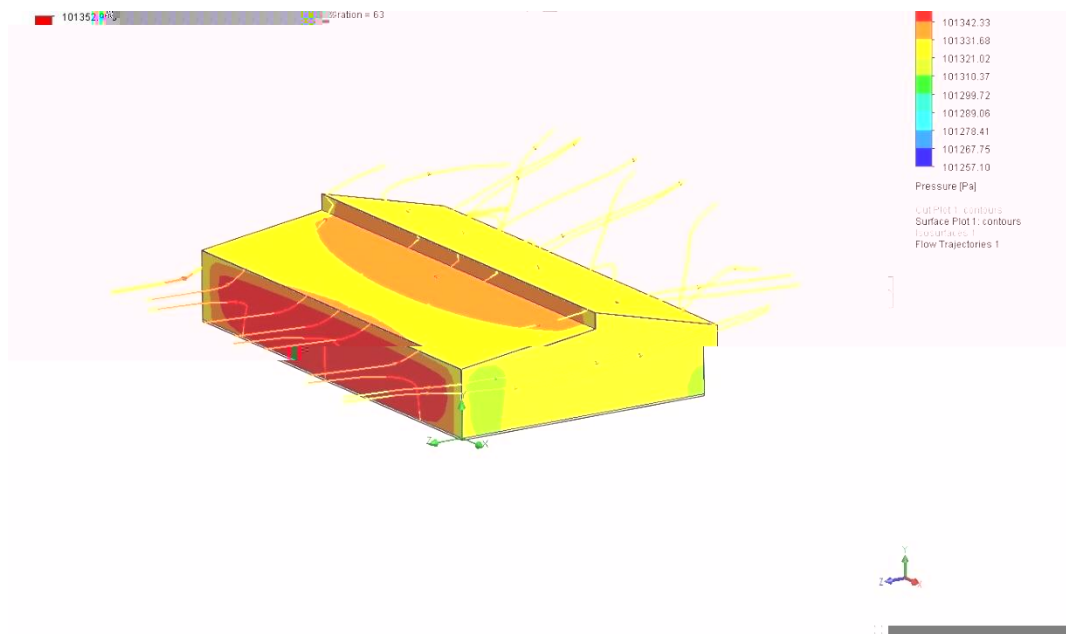


En la figura 35 gracias al Flowsimulator podemos determinar y apreciar las zonas de la distribución dónde el aire ejerce su fuerza de efecto, de igual forma se aprecia gracias a la gama

distribuida de colores las partes de mayor impacto de los vientos en este caso desde una vista lateral.

### Figura 35

*puntos determinados por SolidWorks y vista de presión en (Pa) por el aire.*

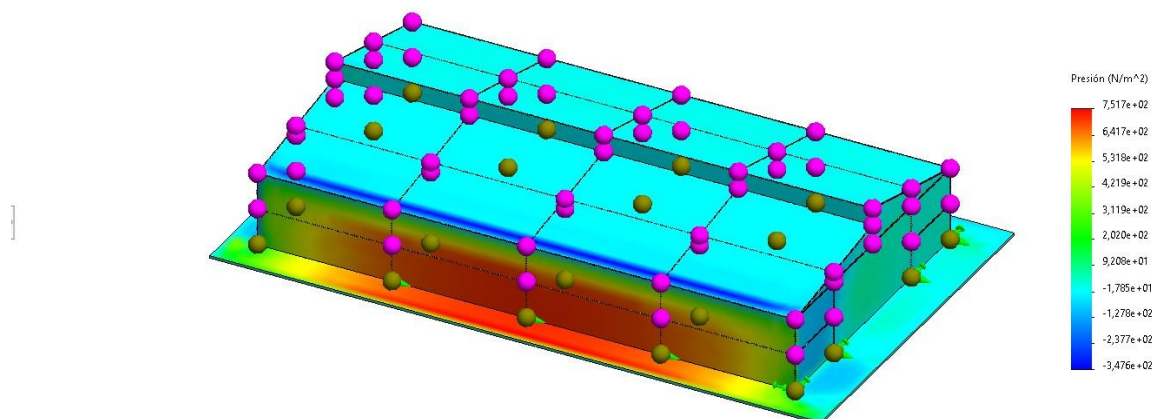


Las superficies mayormente afectadas por la presión ejercida por el viento son las zonas laterales y superior como se muestra en la figura 35, los parámetros que presta SolidWorks permiten apreciar los puntos de nodos en la estructura que permite la ubicación de las zonas con mayor efecto como se muestra en la figura 36.

### Figura 36

*nodos en la estructura*

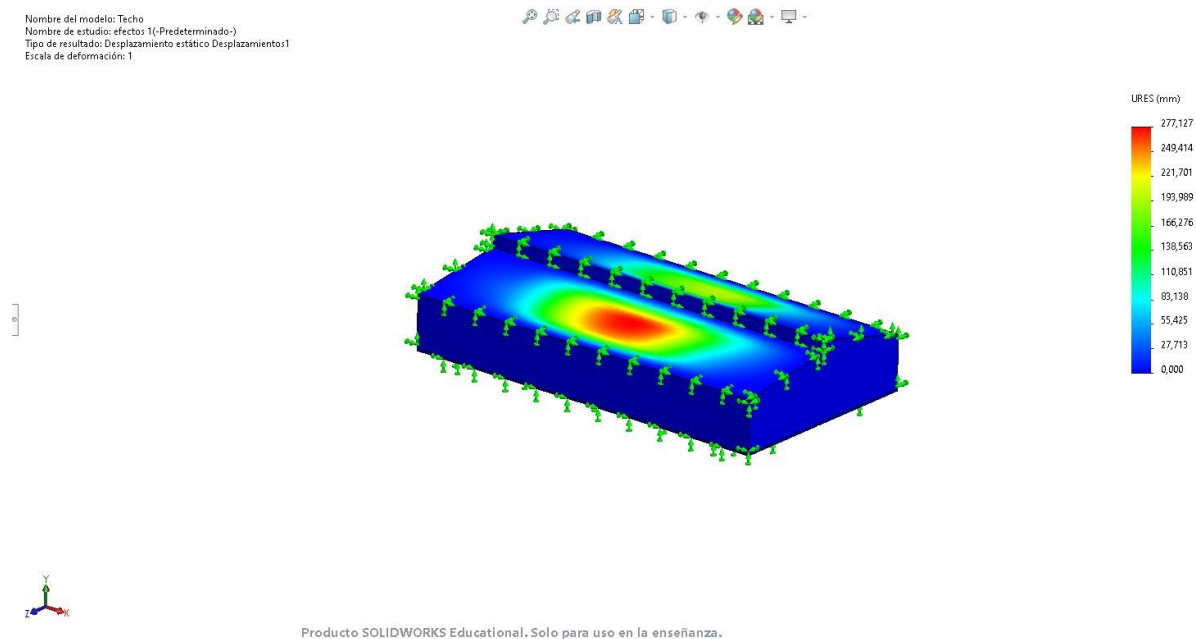
Nombre del modelo: Ensamblaje estructura  
 Nombre de estudio: efecto aire  
 Tipo de resultado: Presión de Flow Simulation (Nodal) (Inferior)



Las presiones ejercidas por el viento con una velocidad de 6 m/s dada por información bibliográfica presentada, generan zonas de mayor desplazamiento en la superficie de la cubierta o techo del invernadero, debido a las presiones del mismo en la figura 37, se observa las formaciones de movimiento que se simulan con los parámetros insertados en el software para este proceso se debe generar las sujeciones que hacen las veces de estructura y cargas dadas.

### Figura 37

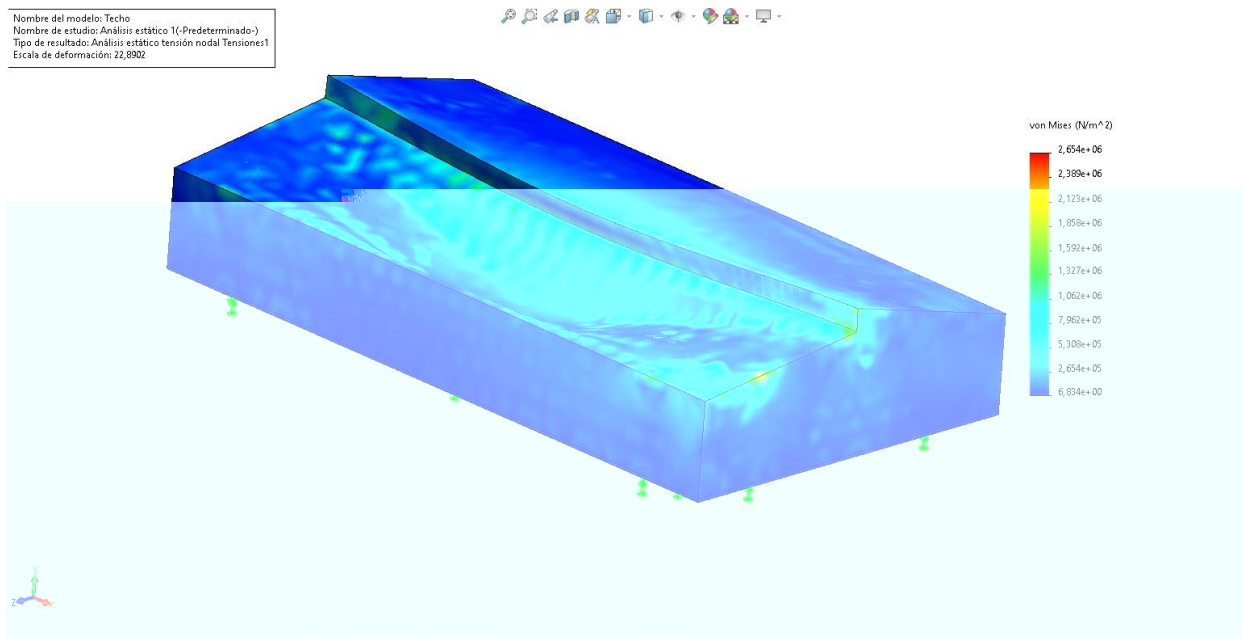
*Desplazamiento en la superficie de la cubierta o techo del invernadero.*



Correspondiente a los factores de presión y acciones de velocidad del viento como flujo turbulento la estructura presenta variaciones en la cubierta lo que se presenta como desplazamientos en la superficie, este se muestra en la escala de medición URES (mm) equivalente a 277.1 mm que representa el efecto de movimiento de la cubierta en la estructura en su punto máximo, la tensión generada en la cubierta se muestra en la figura 38, simulada en flowsimulator y exportada como análisis estático en el software SolidWorks en la escala de Von mises  $N^*$  donde se aprecian las curvaturas efectuadas por la acción del viento.

### Figura 38

*Efecto de movimiento de la cubierta en la estructura en su punto máximo.*



### **Subsistema de Control de Temperatura y humedad relativa.**

Los parámetros óptimos del ambiente interno del invernadero, influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre mayor sea la temperatura habrá una mayor absorción de agua y evaporación, cuando estos parámetros varían en rangos altos, los resultados de dichas variaciones se verán reflejadas en el tiempo de producción y la calidad del producto final. La temperatura ideal para los cultivos hidropónicos en general está considerada alrededor de un rango entre 15 y 20°C esto debe ser constante para un óptimo crecimiento de las plantas, aunque en algunos cultivos y casos especiales alcanza variar este rango (agricultura., 2014).

#### **5.2.1.2 Sistema de medición para temperatura.**

El sistema de medición que se ocupó para este proyecto de investigación son las termocuplas, ya que éstas son muy eficientes, bajo costo y de un manejo sencillo.

Las termocuplas son el sensor de temperatura más utilizado industrialmente, está compuesta de dos alambres de distintos materiales unidos en un extremo soldados, al aplicar temperatura en la unión de dichos materiales, se generará un valor de voltaje muy pequeño (orden de mili voltios), que aumentará a medida que aumenta la temperatura (Banner., 2014).

### Figura 39

*Termocupla medición y el control de la temperatura*



*Nota. <https://www.alutal.com.br/es/termopar>*

La tabla siguiente muestra los rangos de medición que presentan los diferentes tipos de termocupla.

**Tabla 5**

*los rangos de medición que presentan los diferentes tipos de termocupla.*

| Tc | Cable + Aleación | Cable – Aleación | °C          | Rango (Min, Max) mV |
|----|------------------|------------------|-------------|---------------------|
| J  | Hierro           | cobre/nickel     | (-180, 750) | 42,2                |
| K  | Nickel/cromo     | nickel/aluminio  | (-180,1372) | 54,8                |



|   |             |              |             |        |
|---|-------------|--------------|-------------|--------|
| T | Cobre       | cobre/nickel | (-250, 400) | 20,8   |
| R | 87% Platino | 100% Platino | (0, 1767)   | 21,09  |
| S | 90% Platino | 100% Platino | (0, 1767)   | 18,68  |
| B | 70% Platino | 94% Platino  | (0, 1820)   | 13,814 |

Nota. Arián, *Control & Instrumentación* (2015).

Cómo se menciona en el apartado de marco teórico las mediciones de temperatura pueden determinarse de diferentes maneras y tipos, se recomienda tener un control de temperatura con dos tipos de detectores de temperatura para obtener un porcentaje promedio real, así manteniendo humedades y temperatura optimo en el invernadero.

### 5.2.2 Sistema de riego.

Para la implementación del proyecto se realizó un diseño del sistema de riego, el cual consiste de una distribución de agua para la conexión y control del mismo, este sistema parte del momento de la siembra el cual se suministra el líquido y la solución nutritiva, este concepto permite que el grano o semilla permanezca húmedo evitando encharcamientos en las bandejas, la variable de medida y control del suministro del agua es importante ya que el éxito de este proyecto proviene en gran parte del riego que le demos a nuestro cultivo.

Por tal motivo se implementa la distribución correspondiente del fluidos, seleccionando el tanque de almacenamiento del líquido, también los accesorios correspondientes para nuestra distribución y una bomba hidráulica, por el cual se analizó la cantidad adecuada de agua diaria, para tener un riego viable y confiable, por tal motivo se presenta el tipo de riego denominado

goteo, este sistema maneja un ahorro considerable del recurso hídrico, el cual es capaz de aplicar una cantidad justa de agua para cubrir la mayor parte del consumo hídrico del cultivo de forraje verde hidropónico. En los cálculos que realizaremos a continuación, vamos a determinar los valores para nuestro sistema por ende debemos realizar un ensamble en todo el sistema de riego y en los anaqueles.

Para tener una mayor claridad para nuestro sistema de riego debemos argumentar que el sistema de riego por goteo usa un caudal bajo y no necesita presiones altas para su operación. El riego por goteo aplica el agua en puntos específicos donde se encuentra la planta y va a ser absorbido por el sistema radicular de esta. Los caudales de nuestro sistema van desde 0 a 60 — por anaquel aproximadamente. Escogimos este sistema ya que el riego por goteo es un tipo de riego localizado ósea es el más apropiado para nuestro proyecto, ya que este método es más eficaz debido a que la aplicación de agua se realiza solo donde se necesita, reduciendo las pérdidas de agua, el cual pueden reducir el consumo de agua del 30 al 60 por ciento, que en los demás sistemas. El riego por goteo incrementa el rendimiento en la producción del cultivo ya que la planta recibe la medida adecuada de agua para sus necesidades. Teniendo en cuenta el diseño del invernadero, su producción diaria será de 600 kg por sección anaquel, para la selección adecuada del tanque hallamos la demanda total de agua durante el cultivo de FVH. Teniendo en cuenta que la necesidad de agua del FVH irá en aumento según este vaya creciendo, la demanda de agua diaria de FVH está entre (0.9 % a 1.5 % de —). Las dimensiones del invernadero planteado serán de 12 metros de ancho, 22 metros de largo o fondo y 4,5 de altura.

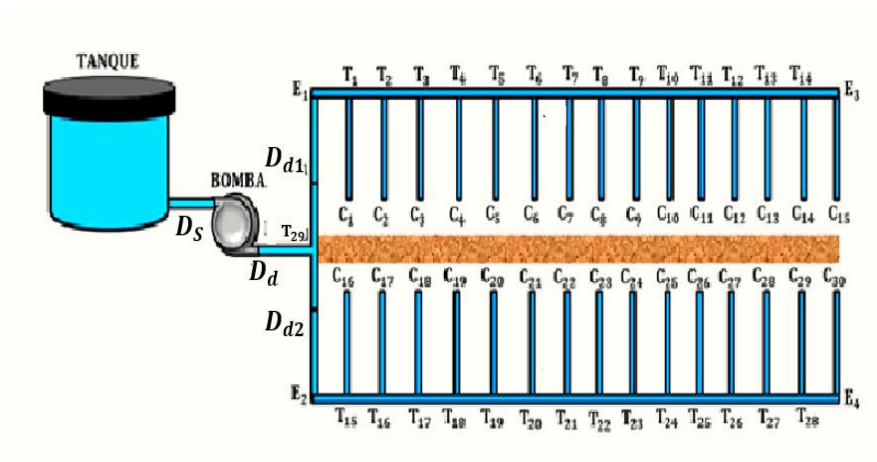
Entonces la longitud de la tubería de succión que se va a emplear es de 2 in de diámetro con una longitud de 10 metros, esta tubería cuenta con una unión universal al inicio de la entrada de la bomba y una válvula de globo.

La tubería de descarga es inicialmente de 1.5 in de diámetro con una longitud de 6 metros, esta cuenta con una unión universal, una válvula de globo y una TE. Luego esta tubería de descarga se divide en dos tuberías cada una con un diámetro de – y una longitud de 28 metros, cada una de estas tuberías de descarga cuenta con dos codos de 90° y catorce TE. La temperatura del agua será de 25 °C con una presión atmosférica de 100 KPa.

El caudal requerido para cada anaquel va a hacer de 60 litros / hora, esto quiere decir que en total son 30 anaqueles y caudal total que se necesita es de 1800 litros/ hora. Cada anaquel o secciones cuenta con 4 pisos para realizar la siembra y se realiza la instalación de la manguera o tuberías abarcando las líneas de riego por surco separadas a 45 cm, las mangueras de riego cuentan con una separación de cada sección en este caso, sería de los 4 pisos el cual se suministra agua para que entre goteos se pueda aplicar el riego adecuadamente, al final de cada línea se encuentran las mangueras para la distribución del agua. El sistema diseñado garantiza que al activar la electroválvula e iniciar el goteo el agua llegue a cada una de las plantas de maíz sembradas.

#### **Figura 40**

*Distribución del sistema de riego.*



Observamos una nomenclatura que indica desde el tanque de recolección de agua hasta los el cual significa los caudales en cada sección de nuestros sistemas, definimos como la distribución de agua por la tubería principal, también tenemos el el cual los definimos como los codos que están en este sistema y por último tenemos la , definimos con la letra T que conecta el sistema.

### 5.2.2.1 Cálculos del sistema de riego.

Datos:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

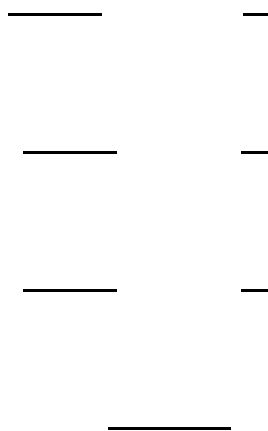
\_\_\_\_\_

—

Tubería de succión:

—— —

Tubería de descarga:



Perdidas en la tubería de succión.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

Perdidas en la tubería de descarga.

Tubería de 1.5 in de diámetro:

---



—

—————

—————

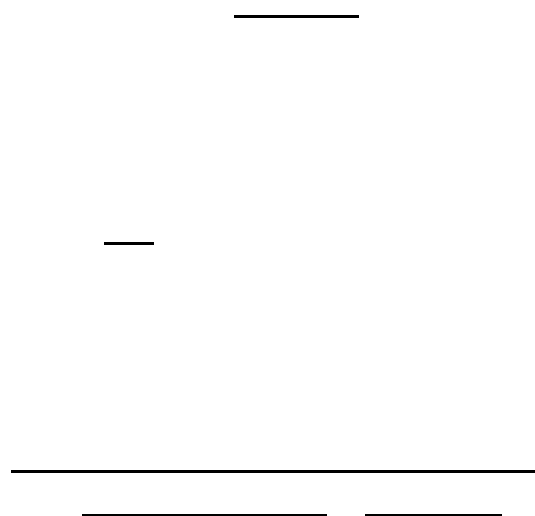
— —

—————

—————

—————

Tubería de  $\frac{3}{4}$  in de diámetro:



— ———

—————

—————

Como la tubería de descarga se divide en dos de  $\frac{3}{4}$  in de diámetro y las dos cuentan con las mismas medias de longitud y accesorios. Entonces la tubería de descarga de sección-d1 es igual a la sección-d2:

Ahora se sumarán las pérdidas totales de las tuberías de descarga.

Las pérdidas totales del sistema de bombeo es la siguiente:

Con                      y                      se calcula

A continuación, se calcula la potencia de la bomba:

A continuación, se procede calcular el NPSH disponible de acuerdo con las condiciones atmosféricas y de instalación.

### **5.2.2.2 Selección del tanque y bomba hidráulica.**

#### **5.2.2.2.1 Selección de tanque**

Como el caudal requerido para el sistema de riego es de 1800  $\text{m}^3/\text{h}$  y este sistema está diseñado para 8 horas de riego diario el tanque de almacenamiento según los cálculos anteriormente realizados debe de ser del siguiente volumen.

Entonces, el volumen requerido es de 14400 litros, pero en este diseño se colocará un tanque de volumen de 15000 litros, para prevención se dejarán 600 litros más, por cualquier situación inesperada.

#### **5.2.2.2.2 Selección de la bomba**

Con el caudal y HA se selecciona la bomba adecuada en el catálogo del fabricante de bombas Pedrollo, se traza la curva del sistema y la curva de desempeño de la bomba del catálogo del fabricante para hallar el punto de operación de esta con la ayuda del programa EES.

### **Figura 41**

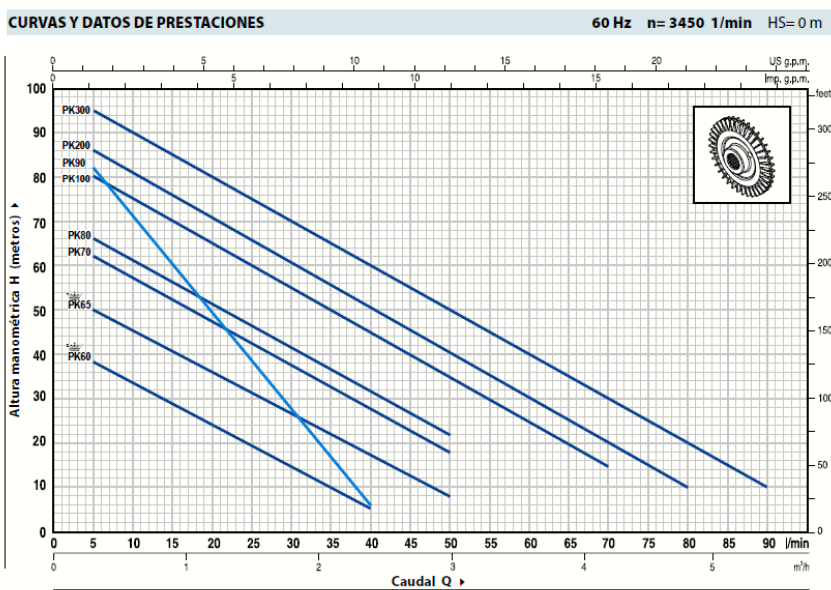
*Bomba PK60 seleccionada.*



Nota. <https://cisealco.com/producto/bombas-pedrollo/>

**Figura 42**

Grafica de la bomba del catálogo Pedrollo.



Nota. Curvas y datos de prestaciones.

Datos de la bomba seleccionada:

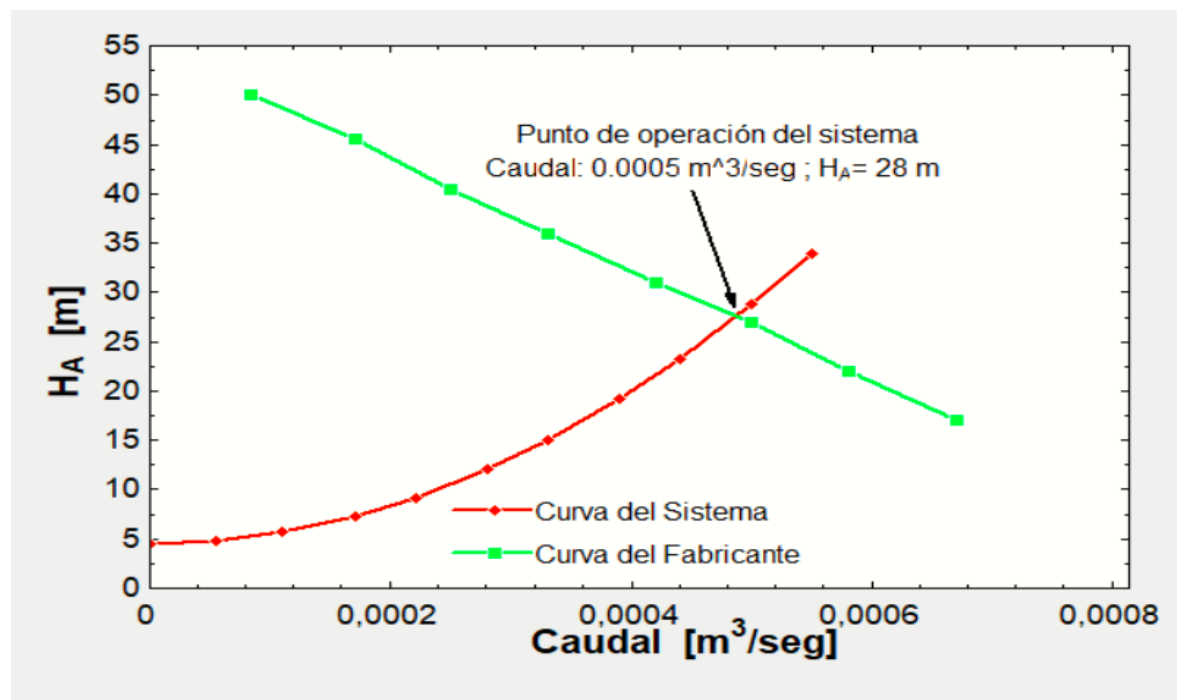
**Tabla 6**

*Tabla de especificaciones de la bomba.*

| Modelo    | Potencia |     | Eficiencia | Caudal   | Altura      | NPSH       |
|-----------|----------|-----|------------|----------|-------------|------------|
| Trifásica |          |     |            |          | Manométrica |            |
| PK 60     | 0.37     | 0.5 | 65%        | 0.0015 — | 100 metros  | 3.4 metros |
|           | KW       | HP  |            |          |             |            |

**Figura 43**

*Grafica del sistema y del fabricante en EES.*



El punto de operación del sistema es:

### 5.2.3 Sistema de iluminación.

Para el sistema de iluminación que debe recibir el forraje será suministrada una vez que se pongan verdes los primeros brotes, esto sucede aproximadamente al 4 día de la germinación y se deben colocar las bandejas en anaqueles donde la luz solar pueda darles de manera directa durante el día, buscando que reciban al menos 9 horas luz por bandeja; y por lo tanto se utilizará el tipo de luz llamado iluminación LED: el cual está basado a la tecnología lumínica ha encontrado el elemento disruptor, podemos modular el tipo de luz, el color de luz y la intensidad, Combinando LEDs de longitudes de onda muy específicas en los azules, violetas y los rojos podemos conseguir las longitudes de onda perfectas para equilibrar el crecimiento vegetativo y la floración de los cultivos. Además, el consumo es mucho menor. Este tipo de luz será instalado a una altura aprox. de 50 cm. para que pueda cubrir cada anaquel de nuestro invernadero.

**Tabla 7**

*color de luz y la intensidad, Combinando LEDs de longitudes de onda.*

| COLOR           | CAIDA DE TENSION (VLED) | INTENSIDAD MEDIA (ILED)mA |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Rojo</b>     | 1.6                     | 5-10                      |
| <b>Verde</b>    | 2.4                     | 5-10                      |
| <b>Amarillo</b> | 2.4                     | 5-10                      |
| <b>Naranja</b>  | 1.7                     | 5-10                      |

*Nota. elaboración propia*



## Figura 44

### *Iluminación de En Un Invernadero*



*Nota.* Tomada de (Agrotecnia, 2021). <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/11/26/tipos-de-luz-para-iluminar-un-invernadero/>

Para el sistema de forraje verde hidropónico en nuestra literatura o nuestra bibliografía se menciona que su intensidad requerida es de 1.500 micro watts/ m<sup>2</sup>. Ya que cada sección de estantería tiene un área de 30.000 por lo que necesitaría 45 mili watts. Mediante esta información obtenida en la bibliografía, necesitaríamos usar un potenciómetro, esta sería la mejor forma de instalar este sistema de iluminación para nuestro invernadero.

#### **5.2.3.1 Sistema de control para la iluminación**

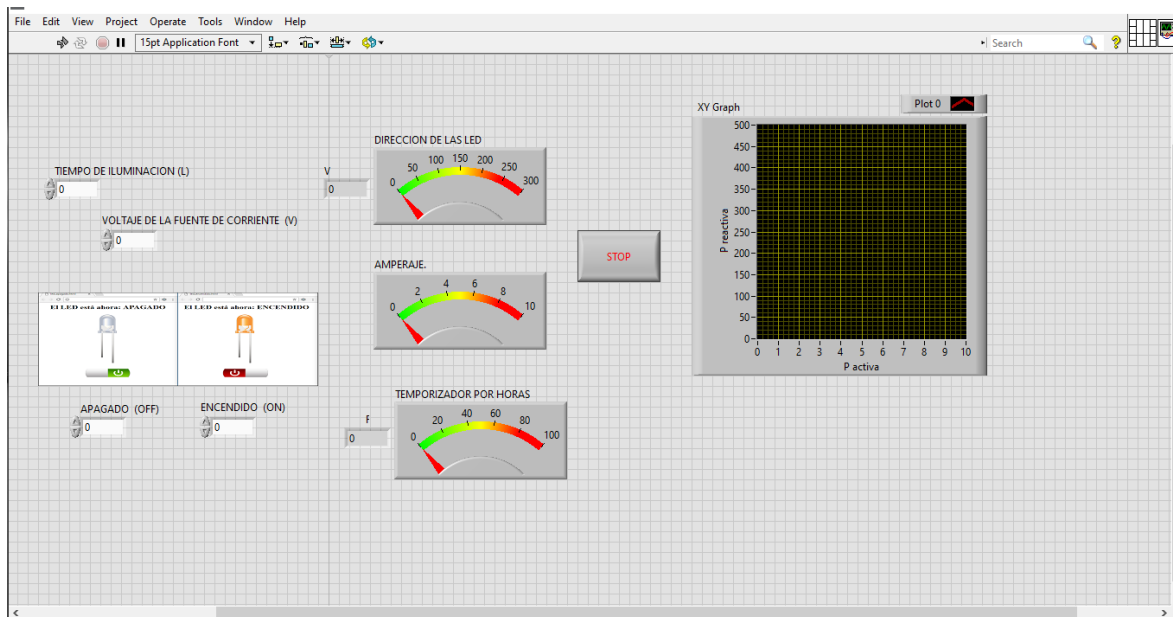
Para el sistema de iluminación trabajamos con controladores de tiempo, para prender y apagar nuestro sistema de luces Led, en un determinado periodo de tiempo el cual se realizó implementando un software NI LabVIEW 2020, este programa proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de Ingeniería de adquisición de datos,

análisis de medidas y presentación de datos gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de otras herramientas de desarrollo. Por tal motivo implementamos esta herramienta para tener los mejores resultados en nuestro proyecto, ya que es muy versátil porque es posible implementar esta programación en la realidad.

La figura 44, se muestra la interfaz del programa, donde van nuestra adquisición de datos, para tener un sistema de iluminación programable, en esta figura se muestra el entorno de la programación el cual incorporamos el tiempo donde la luces Led van a prender y apagar, cuando lo deseemos, incorporamos también el amperaje, el temporizador, la dirección de las luces Led.

### Figura 45

#### *Programación con LabVIEW interface*

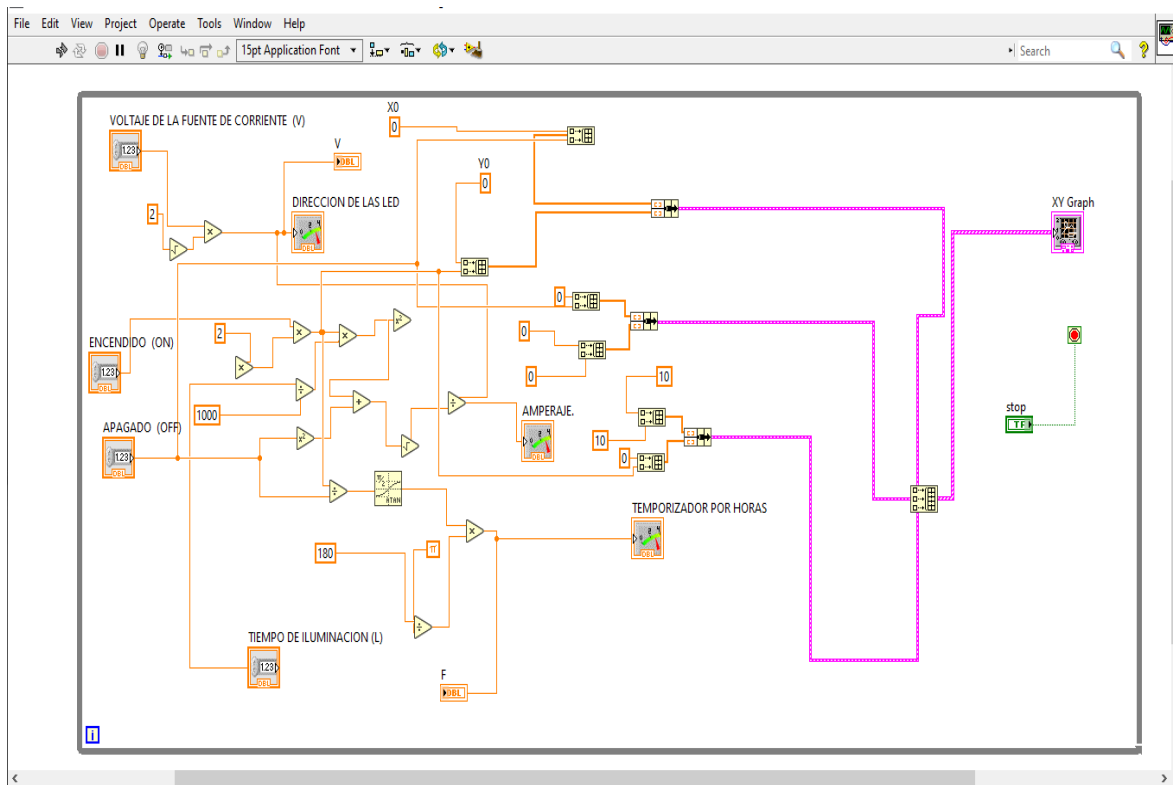


En la figura 45 se muestra la programación como tal de nuestro sistema de iluminación, observamos todo lo referente al circuito y los caminos para que este lenguaje de programación

capte lo implementado. Aplicamos el tiempo en el cual nuestro sistema se apague y encienda automáticamente, por un tiempo que nosotros le establezcamos para que las plantas tengan un mayor crecimiento, este tiempo lo logramos programando adecuadamente, por eso introducimos iconos, como encendido ON, apagado OFF, iconos como sumas, multiplicación y división de la distribución de los circuitos, también se implementó STOP que significa alto en la secuencia de ejecución del circuito, introducimos iconos llamados relés este icono lo que significa es que, el sistema permite realizar los programas con componentes similares a los de una automatización eléctrica. Temporizador por horas XY Graph, que es el monitor donde se muestra si el circuito está funcionando adecuadamente, entre otros iconos que hacen posible la programación de nuestro sistema de iluminación para las plantas, para que aproveche al máximo esta luz artificial, para su respectivo crecimiento.

**Figura 46**

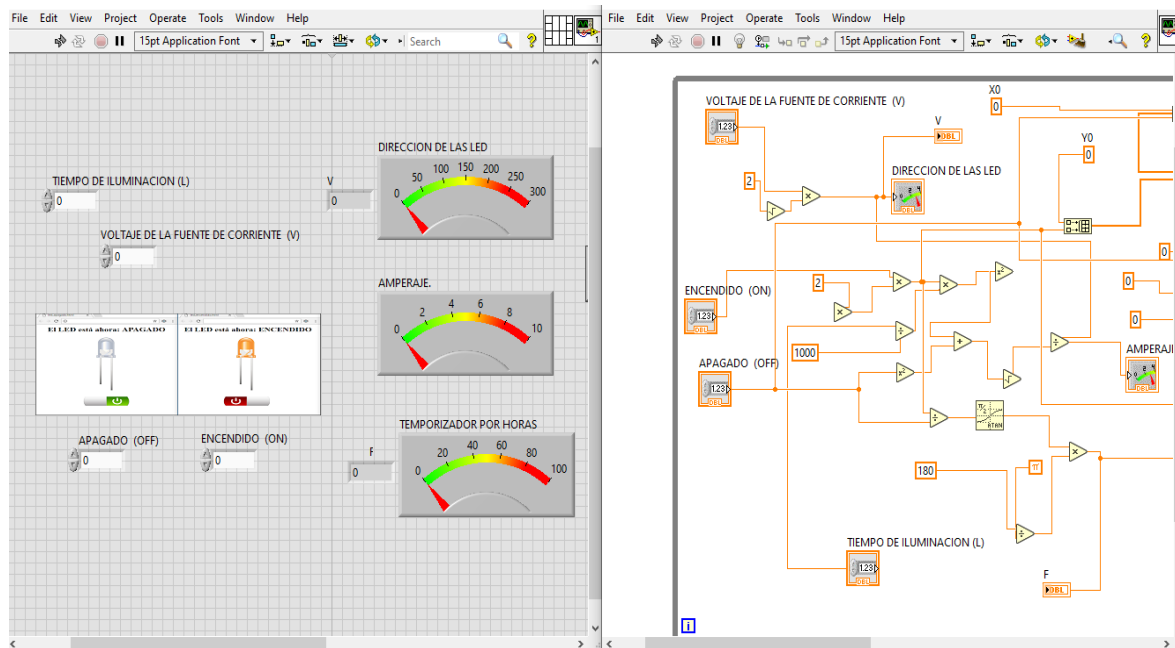
*Programación con LabVIEW*



La figura 46 permite ver las dos fases del sistema de iconos automatizado de iluminación, los controladores principales del manejo, por otra parte, la programación interna elaborada de la red en el software LabVIEW, que está compuesta por sub-proyectos operativos del sistema, permitiendo la interacción del propósito del sistema.

**Figura 47**

*Interfaces, de la programación en LabVIEW.*



### 5.3 Fase III: prototipo.

El modelamiento del prototipo en el software SolidWorks se realizó a escala como para prueba de germinación de la semilla de forraje verde hidropónico el cual consta de unas medidas de 26,3 x 53,6 x 50 centímetros, las secciones interiores donde se apoyarán las bandejas constan como en el diseño establecido anteriormente con un ángulo de inclinación de 10° que proporcionara un flujo de agua sin estancamiento. El modelo se muestra en la figura 44 donde se presenta una vista general generado por modelamiento en SolidWorks.

**Figura 48**

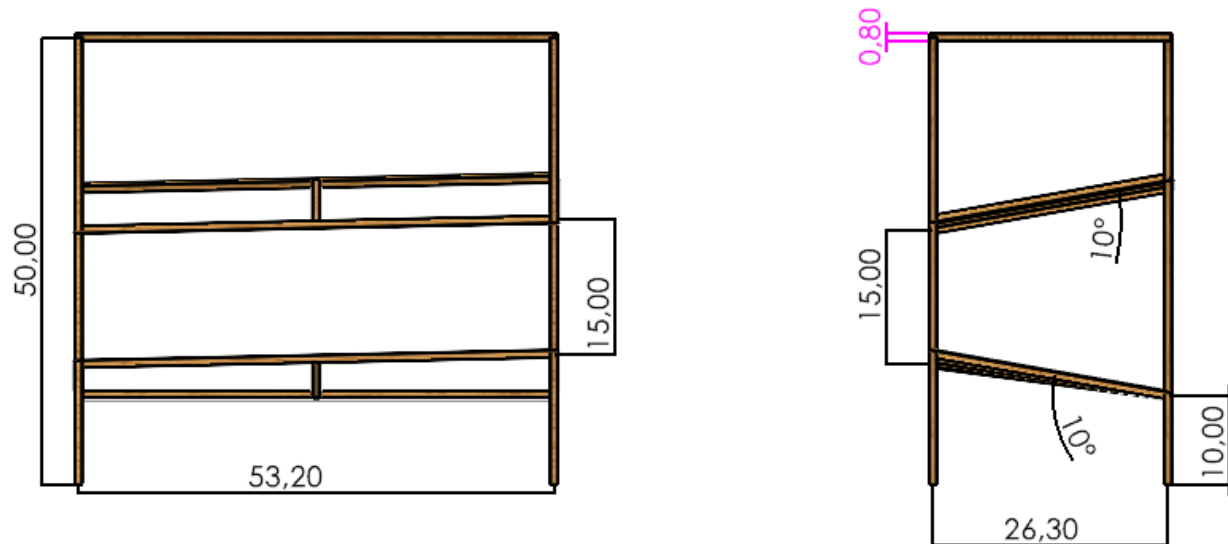
*Vista general de prototipo para bandejas.*



Se muestra el acotamiento respectivo en la figura 45 de la modelación del anaquel prototipo proporcionado medidas generadas por el software SolidWorks, mostrando las vistas frontal y lateral. Allí se representa una serie de acotamientos dimensionales de los laterales, profundidades y ángulos.

**Figura 49**

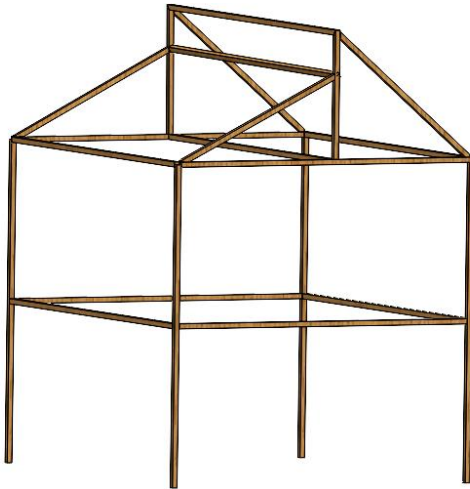
*Vistas acotadas del prototipo en herramienta dibujo SolidWorks.*



El prototipo contara con la respectiva estructura tipo capilla está basada en el diseño a escala real, se modelo con las características mencionadas en capítulos anteriores, pero con medidas de 50 x 6x 70 cm en su punto más alto, se modelo con madera para un diseño económico y de fácil transporte.

**Figura 50**

*Modelamiento del prototipo en SolidWorks.*

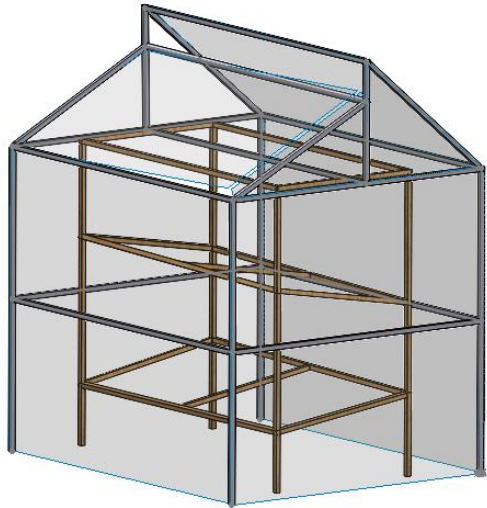


Se muestra un ensamble general del anaquel en el invernadero modelado, mostrando previamente el desarrollo finalizado del prototipo con una vista isométrica en el software SolidWorks en la figura 47 que comprende a una etapa final de los valores generados anteriormente, este modelo propuesto generara, ofreciéndole unos materiales reales como se valoró en capítulos anteriores a un diseño óptimo para producir a una pequeña escala la producción de forraje.



**Figura 51**

*Ensamble de techo y estructura prototipo en SolidWorks.*

**5.3.1 Construcción de prototipo**

Para la construcción del prototipo se usó madera de reciclada de una carpintería, se establecieron cortes con las medidas de sección de cotas del programa SolidWorks, las medidas transversales son de 2 x 2 cm posteriormente se pasa a unir las secciones con unión de puntillas de 11/2 in, las medidas del prototipo real son de 1 x 30 x 1.50 metros. La construcción fue realizada de forma manual con herramientas de cortes.

**Figura 52**

*Proceso de construcción prototipo de madera*



Luego de unir las piezas se insertaron las bandejas con un ángulo de 5° teniendo en cuenta medidas reducidas del prototipo, se le agregó una estructura en la sección superior para sostener el plástico de cubierta, este mismo también dará espacio para que fluya el aire del interior dándole así mayor flujo y evaporación interna.

**Figura 53**

*Resultado de construcción prototipo*



Para la cubierta o techo del prototipo se uso plastico transparente de invernadero, se usaron las medidas respectivas y se procedio a cubrir sigueiendo las simetrias previas, se dejaron las secciones recortadas para el ingreso de aire natural, siendo este el propuesto en la seccion de ventilacion.

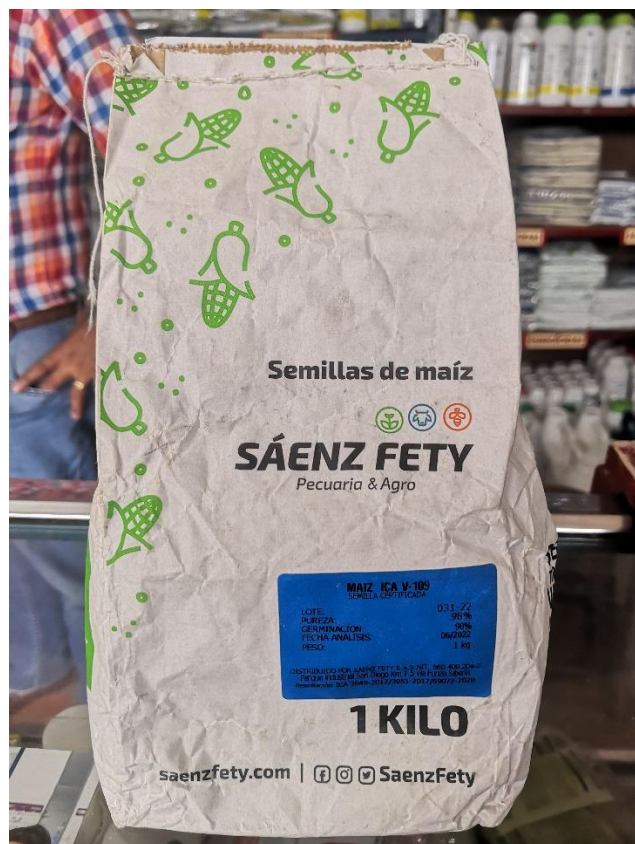
**Figura 54***Cubierta de plástico prototipo***5.3.2 Semilla y pre-germinación**

Se seleccionó semilla de maíz por su valor nutricional y rápido crecimiento, esta variedad o variedades de semillas se comercializan en la zona de forma económica y por su certificación, se seleccionaron dos tipos de semillas para comparar los resultados en cuanto a germinación y crecimiento la siguiente figura se harán las especificaciones de esas dos variedades.

Se recomienda seleccionar la semilla certificada para evitar la contaminación del cultivo por hongos o efectos ambientales que contengan anomalías en la semilla y que éstas trasciendan a los animales.

**Figura 55**

*Semilla de maíz Sáenz fety.*



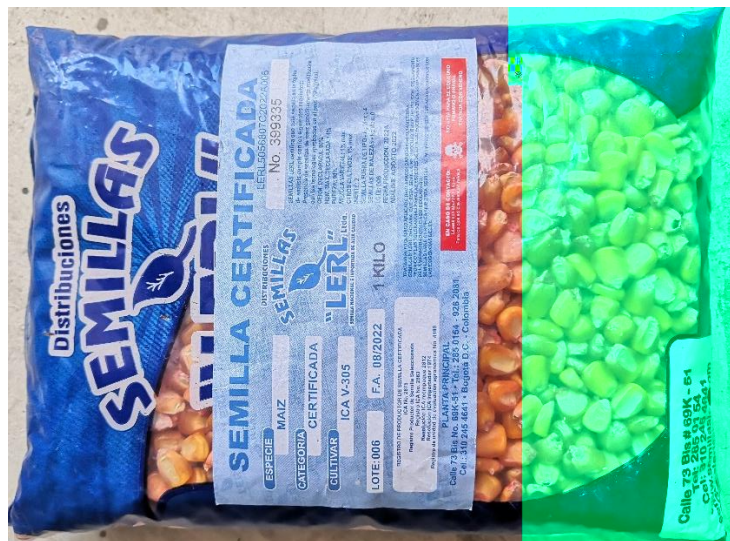
*Nota.* Comercio local.

Maíz Ica V-109 semilla certifica, que consta con una pureza de 98% y germinación del 90%.



**Figura 56**

*Semilla certificada lerl.*



*Nota.* Comercio local.

Especie maíz con categoría certifica Ica V-305.

La pre-germinación de la semilla debemos seguir una serie de pasos para que está agilicé la siembra, la semilla debe ser lavada previamente con una solución de cloro al 1% por cada litro de agua, este lavado no debe ser mayor a 3 a 5 minutos, seguidamente se debe vaciar la semilla en unos contenedores con agua suficiente para qué se sumerja, y debe permanecer un tiempo de 10 a 12 horas en agua, luego se retira alrededor de una hora para que esta oreo y debe volver a sumergirse por 10 horas más, esto dará paso a que la semilla reviente o se active, seguido está preparada para ser puesta en las bandejas y ser llevadas al invernadero.

**Figura 57**

*Lavado e inmersión de la semilla.*

**Figura 58**

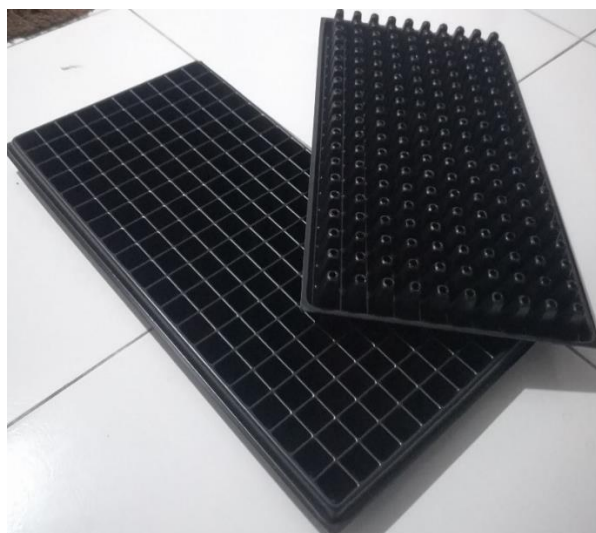
*Permanencia de la semilla en inmersión durante 24 horas.*



Luego del proceso de pre-germinación de la semilla se preparan las bandejas para la siembra o esparcimiento de la semilla respectivamente, esta debe realizarse al cabo de los primeros brotes germinantes de la simiente.

### **Figura 59**

*Bandejas de invernadero para germinación.*



#### **5.3.3 Germinación.**

Luego de la pre germinación de acuerdo con los diámetros establecido de las bandejas que en este caso del prototipo tiene unas dimensiones menores a las establecidas en el marco teórico a escala real por ende y teniendo en cuenta las proporciones reales se agregó por bandeja 1 kg de semilla esta capa debe ser uniforme y así lograr un espesor con densidades deseados. En las figuras siguientes se muestra la etapa de germinación que ya se encuentra en la fase de semita al cuarto día de crecimiento.



**Figura 60**

*Semilla con 3 días de germinación.*



En esta etapa de la germinación la semilla debe ser regada uniforme y constantemente, para así tener un crecimiento uniforme y estable con las respectivas etapas de nutrición y de semitacion. Debido a que el riego es por goteo se estableció un sistema que cubre toda la zona de la bandeja permitiendo así una distribución de riego general.

**Figura 61**

*Primeros brotes de hoja en la semilla.*



Se muestra un crecimiento más avanzado de crecimiento debido a la constancia del riego uniforme en toda la bandeja también se aprecia la base de la raíz de la semilla la cual preverá una gran cantidad de alimento y nutrientes estas cubren toda la parte inferior de las bandejas mediante el crecimiento del cultivo de forraje verde hidropónico FVH.

En el transcurso del día 8 se muestra en la figura 58 la formación de tallos, hojas y raíces que empiezan a cubrir toda la bandeja manteniéndose con la temperatura y humedad del invernadero se creó un hábitat que precisa un crecimiento estable, se aprecia semilla que no alcanzó a semitar esto da datos con una germinación aproximadamente del 70%.

### **Figura 62**

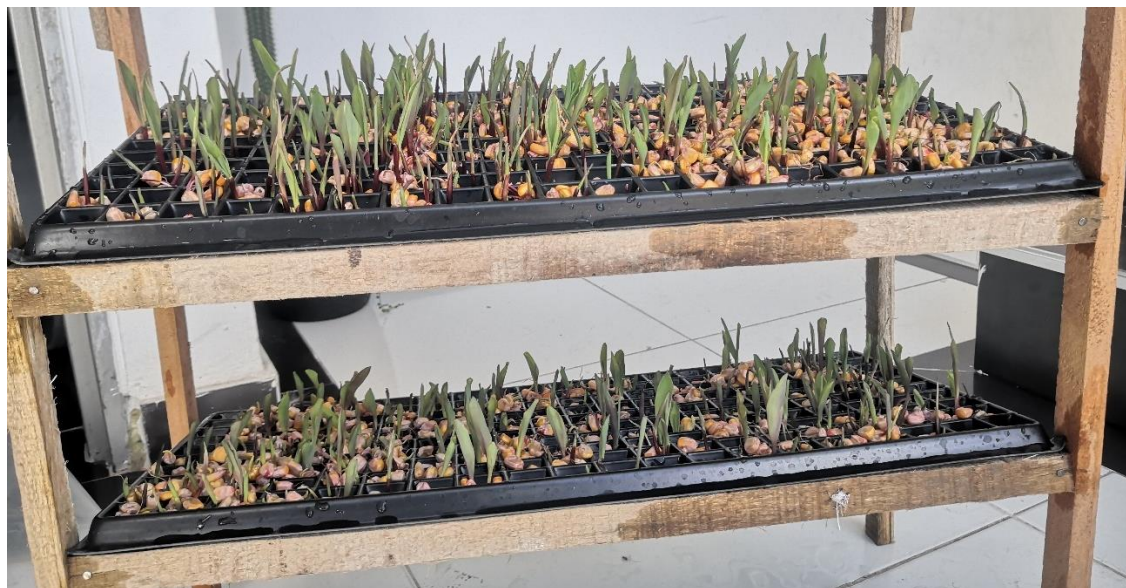
*Formación de tallos, hojas y raíces FVH.*



Vista general de etapa de crecimiento muestra un mayor porcentaje de forraje, empieza presentar una concentración de raíz blanca que se aprovechara como alimento.

**Figura 63**

*Vista general de etapa de 8 días de crecimiento*



La semilla en el día 15 el cual está dado para el siguiente proceso que ya el de llevar para la alimentación del ganado, teniendo en cuenta las condiciones reducidas del prototipo de invernadero, genero un crecimiento limitado del forraje, este mostro un crecimiento óptimo para el invernadero a escala real con yodas las observaciones estipuladas para el desarrollo del proyecto, las plantas con la iluminación planteada y el riego constante proveerán un crecimiento pertinente para el FVH en las figuras siguientes se muestra el crecimiento total del forraje.



**Figura 64**

*Forraje en etapa ultima de crecimiento.*



Etapa final de crecimiento del forraje en condiciones de desarrollo, en invernadero prototipo destapado. Muestra una altura de 10 cm en su punto más alto y una tasa de crecimiento del 70 %.

**Figura 65**

*Vista general de forraje en día 15.*



*Nota. Autor(es)*

La etapa de crecimiento de la raíz FVH se muestra de manera esperada con un crecimiento progresivo y sin muestras de hongos que afecten la producción y alimentación del ganado.

**Figura 66**

*Raíz del forraje verde hidropónico prototipo.*



Se observa un tamaño de hoja adecuado y limpio de hongos tallos de buen tamaño y una raíz espesa. Se muestra una vista general del forraje en el prototipo establecido del crecimiento en 15 días de las plantas, la cantidad estipulada de semilla para la producción se obtuvo un rendimiento de 4.9 kg FVH kilogramo de semilla. Analizando resultados obtenidos y siendo estos menores que los resultados proyectados de acuerdo con los parámetros establecidos y citados en el documento, donde se pronostican rendimientos entre 13 y 15 kg de forraje verde hidropónico por bandeja.

**Figura 67**

*Forraje verde hidropónico producción.*



## **6 Costos**

Obtenidos resultados del estudio de mercado se realizó la identificación de la actividad de producción dentro de la clasificación del código CIIU, con el fin de poder establecer la actividad principal de este estudio; basado en ello, se diseñó el modelo para la estrategia del forraje verde, principalmente para la universidad y para ganaderos, puesto que son los intermediarios para que el FVH llegue a los consumidores finales, es decir, el ganado bovino.

Adicionalmente se realizó pronóstico de la cantidad de animales, el cual se le hizo estudio para 20 animales; posteriormente se identificó el mercado potencial y mercado efectivo para establecer la demanda de FVH en la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña.

### **6.1 Estudio técnico.**

De acuerdo al estudio técnico cuyo propósito es verificar la posibilidad técnica de la producción y analizar y determinar las instalaciones, maquinaria y equipo necesario para su producción. Para la producción se diseñó el módulo atendiendo los diferentes criterios de practicidad, características del terreno, optimización, economía y durabilidad de los materiales a utilizar para la producción constante del forraje verde hidropónico, durante todo el año.

#### **6.1.1 Estudio legal.**

Como resultado del estudio legal, se recopiló toda la normatividad que le compete al proyecto, así como el desglose de todos los pasos y requerimientos necesarios para la constitución en Colombia.



### **6.1.2 Estudio financiero.**

Los criterios a tener en cuenta en el estudio financiero son la evaluación de los diferentes rubros generados a través de los procesos de operación del invernadero, al igual que el análisis de los principales indicadores financieros, con el fin de evaluar la factibilidad, rentabilidad y viabilidad del proyecto. Ya que se espera que su alcance del estudio financiero es determinar la viabilidad y factibilidad de la idea del forraje verde hidropónico de la universidad, así como su rentabilidad.

### **6.2 Costos de producción.**

Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, revela que, considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla), el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. Teniendo en cuenta que son muy variables los precios en la aplicación del proyecto. En el desglose de los costos se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo bajo nivel de Costos Fijos en relación a las formas convencionales de producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente (Moreno, 2014).

El uso de invernadero, los estantes o racks y un buen sistema de riego son elementos de fácil manejo para la producción de forraje verde hidropónico, cabe decir que si el fin es producir

cantidades a mayor escala proyectado a nivel comercial se debe ir pensando en elementos de tecnología avanzada que permitirá realizar todas las labores de manera sencilla.

En nuestro caso trabajaremos bajo condiciones de invernadero. El cuál estará hecho con plástico blanco, El da un 70% de sombra para disminuir la luminosidad. El uso de un invernadero nos facilitará el control de los parámetros ambientales (Luz, temperatura y humedad). El riego se hará bajo el sistema de goteo. El objetivo por lo tanto es establecer un invernadero con unas dimensiones de 12 metros de ancho por 22 metros de profundidad a 4.5 metros de alto, con el objetivo de tener una estructura adecuada para la producción forraje, el cual va a alimentar 20 bovinos en producción, que permita una mayor participación, un uso racional del agua, la economía de millones de pesos en la compra de una hectárea de terreno en donde se produciría la misma cantidad de pasto por días, con mucho mayor costo de mano de obra, entonces veremos los precios para ver la viabilidad de nuestro invernadero.

Para ello se diseña un sistema de cultivo de forraje verde hidropónico con anaqueles de 4 estanterías con un declive del 10 grado de ángulo, con capacidad de 12 bandejas por anaquel entonces el total serian 48 bandejas y esas 48 bandejas darían un aproximado de 600 kilos de forraje verde al día. El área total utilizada en las bandejas es de de 60 Cm de ancho por 80 Cm de largo y 3 Cm de profundidad.

### **6.3 Costos generales**

Para el análisis de costo decidimos dividirlo en dos partes, costos fijos y costos variables, primero vamos con los costos fijos.

### 6.3.1 Costos fijos

Ahora, se presenta el análisis de costos para la implementación invernadero de un invernadero automatizado para el Cultivo de Forraje verde Hidropónico (FVH) para las Instalaciones de la Granja UFPSO.

### 6.4 Estructura del invernadero, anaqueles y plástico de cubierta.

Se presenta las siguientes cotizaciones para la construcción del invernadero y anaqueles, el cual se cotizo en acero ASTM A36, para una estructura con suficiente capacidad para soportar.

**Tabla 8**

*cotizaciones para la construcción del invernadero y anaqueles.*

| Cantidad              | Longitud<br>c/u | Producto                    | Vr. Unit.    | Vr. Total           |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|---------------------|
| 80                    | 6m              | Tubo cuadrado de 20x20x2mm  | 119.521      | \$9.568.000         |
| 224                   | 6m              | Angulo laminado 25x25x5mm   | 76.900       | \$17.226.000        |
| 35                    | 6m              | Tubo cuadrado de 40x40x4mm  | 564.600      | \$19.761.000        |
|                       |                 | Mano de obra y capacitación |              | \$9.360.000         |
| <b>OBSERVACIONES:</b> |                 |                             | <b>TOTAL</b> | <b>\$55.915.000</b> |

A continuación, se presenta la cotización del plástico para invernadero, para la cubierta de la estructura.

**Tabla 9**

*Costo de plástico para el invernadero.*

| Cantidad | Longitud c/u | Producto | Vr. Unit. | Vr. Total |
|----------|--------------|----------|-----------|-----------|
|----------|--------------|----------|-----------|-----------|

|     |                   |                            |          |             |
|-----|-------------------|----------------------------|----------|-------------|
| 510 | 4x25m<br>lineales | Plástico de<br>invernadero | \$12.000 | \$1.638.000 |
|-----|-------------------|----------------------------|----------|-------------|

**OBSERVACIONES:**

**El valor unitario del plástico lo determinamos por metros, y luego lo multiplicamos por los metros cuadrados del invernadero.**

**TOTAL      \$1.638.000**

**6.5 Sistema de riego.****Tabla 10**

*Costos de los elementos del sistema de riego.*

| <b>Cantidad</b> | <b>Longitud c/u</b> | <b>Producto</b>             | <b>Vr. Unit.</b> | <b>Vr. Total</b> |
|-----------------|---------------------|-----------------------------|------------------|------------------|
| <b>1</b>        |                     | Tanque de 2000L             | 1.092.900        | 1.092.900        |
| <b>1</b>        |                     | Bomba hidráulica de<br>½ hp | 476.000          | 476.000          |
| <b>8</b>        | X100m               | Manguera para<br>cultivo    | 57.000           | 456.000          |
| <b>29</b>       | X10 unidades        | Uniones T                   | 15.000           | 45.000           |
| <b>4</b>        | X unidad            | Acoples de media            | 3.900            | 15.600           |
| <b>4</b>        | X unidad            | Válvula PVC 1/2             | 3.900            | 15.600           |

|  |               |                  |        |             |
|--|---------------|------------------|--------|-------------|
| 2  | X unidad      | Reducciones      | 1.850  | 3.700       |
| 34   | X 30 unidades | Gotero regulable | 15.800 | 537.200     |
| 4  | X10 unidades  | Codos            | 19.000 | 19.000      |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |               |                  |        |             |
| Estos valores se tomaron por unidad y luego se multiplico por los metros y cantidad de dichos componentes del invernadero. |               |                  | TOTAL  | \$2.661.000 |

## 6.6 Sistema de control y producción.

**Tabla 11**

*Costos de elementos de sistemas riego e iluminación para instalación.*

| Cantidad | Longitud c/u | Producto           | Vr. Unit. | Vr. Total  |
|----------|--------------|--------------------|-----------|------------|
| 600      | 24,5x21,5cm  | Luces led          | 20.000    | 12.000.000 |
| 1440     | 80x60cm      | Bandejas plásticas | 22.000    | 31.680.000 |
| 4        | X10 unidades | Tubería de 1/2     | 57.900    | 231.600    |
| 2        | X unidad     | Uniones            | 900       | 1.800      |
| 92       | X unidad     | Cajillas           | 1.290     | 118.680    |

|  |           |                  |        |              |
|--|-----------|------------------|--------|--------------|
| 270  | X unidad  | Uniones roscadas | 1.500  | 405.000      |
| 3  | X unidad  | curvas           | 10.900 | 32.700       |
| 4  | X unidad  | breques          | 12.900 | 51.600       |
| 1  | 6 puestos | Caja de breques  | 63.900 | 63.900       |
| OBSERVACIONES:<br>En esta tabla falto<br>agregar el software<br>para la<br>implementación del<br>Sistema de riego y de<br>iluminación. |           |                  | TOTAL  | \$44.585.300 |

## 6.7 Costos variables

A continuación, presentamos los costos que pueden variar con el tiempo, ya que estos costos pueden cambiar dependiendo del mercado, cabe mencionar que estos costos variables son implementados para un año.

**Tabla 12**

*Costos variables de producción.*

| Concepto             | Costo Anual | Incidencia sobre los costos variables (%) |
|----------------------|-------------|---|
| Mano de Obra Directa | 16.506.000  | 62,74                                     |
| Agua                 | 1.101.200   | 14.20                                     |
| Semillas por Kg      | 5.760.000   | 23.06                                     |
| TOTAL                | 23.367.200  | 100,00                                    |

Para el alimento o concentrado de la dieta de los animales de granja en este caso bovinos, debe ser un alimento de condiciones nutricionales y que se puede producir en la finca a muy bajo costo. Teniendo en cuenta los valores actuales del concentrado para ganado lechero este está (entre 35000 y 40000 el bulto de maíz de 40 kg).

En este caso para producir el FVH se va a comprar la semilla, esta se encuentra en un valor aproximado de 2.000 a 2.500 pesos el kilo, un bulto de 40 kilos costará alrededor de 80.000, si se tienen rendimientos parecidos a los obtenidos en este trabajo, (aproximadamente 5 kilos de FVH por cada kilo sembrado) por cada bulto de semilla se obtendrán 200 kilos de alimento, por lo tanto el costo del alimentación de los animales en cuanto a suplemento del concentrado bajará de 1000 pesos por kilo de concentrado de comida a 400 pesos por kilo de FVH.

### 6.8 Costos del prototipo.

Para los costos de nuestro invernadero los basamos en los costos actuales, tanto fijos como los costos variables, entonces se obtuvieron los siguientes implementos a utilizar para nuestro prototipo.

**Tabla 13**

*Costos de materias primas*

| <b>TIPO</b> | <b>PRODUCTO</b> | <b>PRECIO UNIDAD</b> | <b>TOTAL (\$)</b> |
|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
|             | Clavos          | 200                  | 2.000             |
|             | Semillas (Kg)   | 3.000                | 30.000            |

|                      |                |            |                 |
|----------------------|----------------|------------|-----------------|
| <b>Materia Prima</b> | Madera         | 100        | 6.000           |
|                      | Cloro (litros) | 1.500      | 1.500           |
|                      | Plástico       | 3800 (x4 ) | 15.000          |
|                      | <b>TOTAL</b>   |            | <b>\$54.500</b> |

## 6.9 Determinación de los Costos Variables.

**Tabla 14**

*Costos de nutrientes e irrigación de plagas.*

| INSUMOS PARA EL AÑO       |                                  |                          |                     |                |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|
| TIP<br>O                  | PRODUCTO                         | CANTID<br>AD<br>(Diaria) | PRECIO<br>UNIT (\$) | TOTAL<br>(\$)  |
| Materia Prima             | Semillas (Kg)                    | 96                       | 3.000               | 288.000        |
|                           | <b>SUBTOTAL</b>                  |                          |                     | <b>288.000</b> |
| Insumos para<br>el Lavado | Hipoclorito de Sodio<br>(litros) | 26.280                   | 1,600               | 42.048         |
|                           | Cloro (litros)                   | 2.190                    | 3.000               | 6.570          |
|                           | <b>SUBTOTAL</b>                  |                          |                     | <b>48.618</b>  |
|                           | Nutrientes (KIT)                 | 900                      | 285                 | 256.500        |
|                           | <b>SUBTOTAL</b>                  |                          |                     | <b>353.736</b> |

## 6.10 Determinación del Precio \$/kg de F.V.H

Para poder determinar el precio de venta hay que situarse como tomadores de precios, por lo siguiente: Se dispone de una dieta tradicional en base a maíz, heno de alfalfa y concentrado.

### 6.10.1 Utilidad

Para el cálculo de la utilidad primero se debe calcular el Costo Total Unitario (CTU):



---

---

### 6.11 Punto de Equilibrio.

El punto de equilibrio básicamente es donde está relacionado los costos fijos, los variables y los ingresos por ventas. Cuando los costos variables y fijos se igualan a los ingresos por ventas se obtiene el punto de equilibrio. En pocas palabras es cuando la utilidad será igual a cero, ósea la cantidad mínima de producción para que los costos fijos de la empresa o del entorno que estemos aplicando sean suplidos. Dicho valor indica la mínima cantidad de unidades que deben ser vendidas para no incurrir en pérdidas, pero tampoco tener beneficios.

El objetivo de este estudio es analizar y encontrar el punto tanto en pesos como en cantidades en el que el costo total iguala a los ingresos.

Se tomó como base 20 animales para poder producir forraje verde hidropónico, el cual se estimula producir 600 kg diarios, ya que el invernadero este fabricado para esa cantidad, el cual tomamos en cuenta que a partir de este punto los costos son cubiertos y a partir de esta cantidad de kg producidos por el proyecto comienza la ganancia del mismo. Si se asume que el proyecto producirá en el primer año un aproximado de 219,000.00 kg.

### 6.12 Costos Totales.

Para los costos totales se aplica la siguiente formula o ecuación:

Donde:

CT= Costo Total

CFT= Costo Fijo Total

CVU= Costo Variable Unitario

Q= Cantidad Vendida

### 6.13 Ingresos por Ventas.

Mientras que para los ingresos por Venta se aplicara la respectiva formula o ecuación:

I= Ingresos por Ventas

PV= Precio de Venta

Q= Cantidad Vendida

Igualando las dos ecuaciones anteriores tenemos que el punto de equilibrio en unidades es el siguiente:

---

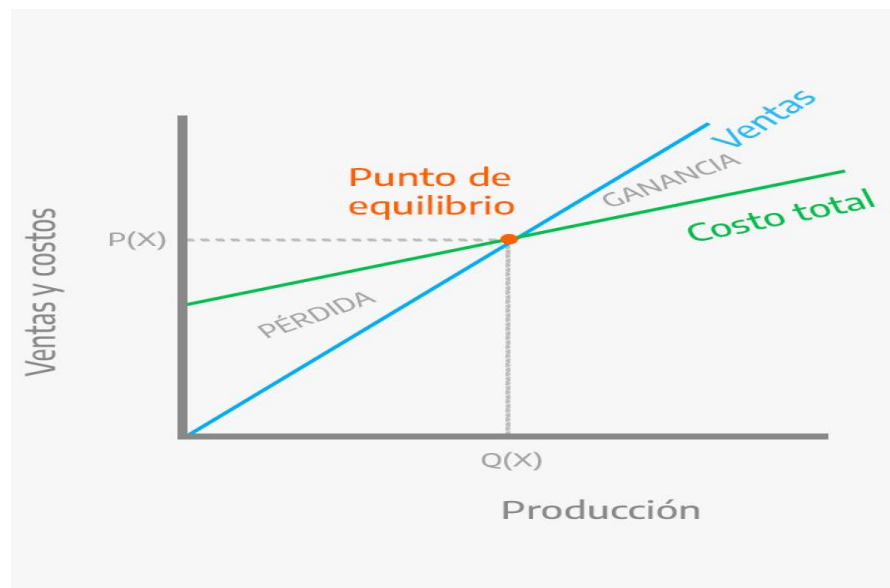
---

Aplicamos otra ecuación para determinar el punto de equilibrio en pesos

Dándole solución a nuestro punto de equilibrio obtuvimos unos datos favorables ya que nos permitió determinar que tiempo se podría recuperar la inversión de dicho análisis, como resultado nos arroja que se recuperará dentro de 5 años, ya que cada año de producción nos daría un valor de producción de 152.321.700 millones en pesos y en kilogramos de forraje verde daría un aproximado de 812.670, ya que relacionamos los costos fijos, los variables y los ingresos por ventas, todo este análisis lo realizamos con el fin de determinar qué tan rentable es este proyecto.

**Figura 68**

*Punto de equilibrio sobre los costos del invernadero.*



*Nota.* <https://enciclopediaeconomica.com/punto-de-equilibrio/>(Grudemi, 2019)

#### **6.14 Flujo de caja.**

El flujo de caja se realizó proyectando a cinco años desde el (2023-2028) aquí se tomarán todos los costos partiendo del año de referencia que fue el año 2023, en el flujo de caja se consideraron tanto flujos efectivos como no efectivos, ya que la depreciación, fue colocada junto con los demás costos efectivos, pero fue sumada al final para obtener el saldo neto efectivo del proyecto. Se obtuvieron los ingresos por la venta de los productos y a estos se les restaron los costos directos e indirectos.

Los costos del proyecto están directamente relacionados con el aspecto técnico del proyecto específicamente al tamaño y complejidad técnica que éste posee para la producción de

forraje verde hidropónico. Se observan los costos unitarios del proyecto, teniendo una producción anual de 219.000 kg. en de invernadero.

## 7 Conclusión

Mediante las fases de investigación de los métodos de producción de forraje verde hidropónico, y las variedades de tipos del mismo se puede identificar las características específicas adecuadas para estos sistemas de producción, con la cual se puede realizar el modelamiento para una instalación de FVH en zonas especificar, gracias a software y conocimientos previos se logra realizar un invernadero con los sistemas de producción pertinentes y viables para las granjas de producción bovina.

Las capacidades estructurales del modelamiento, permiten una relación espacio productivo con adecuaciones de alto estándar, la estructuración y modelación presentan confiabilidad en cuanto a diseño y todos los aspectos que se presentaron generan un gran desarrollo, los sistemas que componen todas las relaciones de creación son planteados de formas diversas en softwares y citas complementadas para una mejor producción.

Se cumplieron las expectativas planeadas en el sistema de riego, ya que logramos el objetivo de producir el forraje verde hidropónico en el prototipo con las características de crecimiento, tiempo y de buena calidad, llenó de satisfacción haber logrado la producción sin contratiempos y sin utilizar nutrientes químicos, lo cual significa el ahorro en tiempo y dinero, evitando la problemática de conseguir los químicos, así mismos pudimos terminar nuestra investigación y nuestro diseño en el sistema de riego.

El sistema es efectuado y analizado en este caso la ventilación natural permite la posibilidad de mantener de forma óptima la ventilación del invernadero propuesto así también se

puede concluir que siendo un sistema económico ya que no requiere de sistemas mecánicos para el proceso de instalación y de poco mantenimiento.

Se implementaron en un software para que el invernadero, el cual tiene como propósito la programación de las luces Led, que le acoplamos a nuestro invernadero, dado que se debe cubrir con la iluminación de las plantas, por tal motivo optamos por agregar luces Led en las partes que la radiación del sol no es posible que llegue, entonces la remplazamos por luces artificiales. Implementamos la herramienta LabVIEW, tiene como funcionalidad que las luces enciendan y se apaguen en su respectivo límite de tiempo de forma automática.

Este trabajo demostró que el forraje verde hidropónico a base de maíz induce un incremento en el contenido nutricional para los bovinos, ya que asegura la disponibilidad de forraje los 365 días del año, independientemente cual sea las condiciones climáticas. Cabe mencionar que el costo inicial para la instalación del invernadero de forraje verde hidropónico, es mucho menor al de un sistema tradicional para cultivo o la producción de forrajes.

Concluyo que los beneficios que nos brinda este sistema son de alta efectividad teniendo en cuenta todos los procesos a seguir dentro de este proyecto. Por lo cual el sistema hidropónico de forraje verde, se mejorará por la calidad nutricional del alimento como el aprovechamiento de los costos de producción, el análisis de los valores fijos y los valores variables, por lo tanto, determinamos la viabilidad que este sistema de producción de forraje verde hidropónico es rentable y nos trae veneficios para los bovinos, ya que tiene un alto poder nutricional.

Desde el punto de vista medio ambiental el proyecto también sería viable, ya que no generaría impactos negativos, incluso sobre muchos factores generaría impactos positivos, como en el caso del suelo y el agua.

Por último, respecto a económico y a su viabilidad, según el criterio de este estudio el proyecto sería rentable, pero es muy riesgoso, ya que hay una probabilidad aproximada del 80 % que el proyecto dejara de ser viable económicamente, debido a rendimientos en la producción menores a los previstos sin un uso adecuado y estricto del manejo del invernadero.

Desde el punto de vista técnico y tecnológico el proyecto sería viable, ya que es un proceso que no requiere de tecnología complicada ni desconocida, pero se debe disponer de fuentes de asesoramientos confiables y proveedores de materia prima confiables y serios.



## 8 Referencias

Agricultura., A. r. (14 de Octubre de 2014). *Que es el forraje verde hidropónico y como producirlo.*

Obtenido de <http://agriculturers.com/origenes-y-uso-del-forraje-verde-hidroponico/>

Agrocultura. (2000). *Forraje Verde Hidropónico*. Buenos Aires, República Argentina.: Editorial Albatros.

Agrotecnia. (26 de Noviembre de 2021). *portalfruticola.*

<https://www.agromatica.es/como-iluminar-un-invernadero/>:

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/11/26/tipos-de-luz-para-iluminar-un-invernadero/>

Agua, C. (2014). *Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego*. Mexico: Rehabilitación y modernización de infraestructura de riego y temporal tecnificado.

<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sgih-1-10libroeadr2008-09.pdf>

Agua, C. (. (01 de Junio de 2015). *Diagnóstico del programa presupuestario K141*. Obtenido de Rehabilitación y modernización de infraestructura de riego y temporal tecnificado:

[http://www.coneval.gob.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico\\_2014/Diagnostico\\_2014\\_SEMARNAT\\_K141](http://www.coneval.gob.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico_2014/Diagnostico_2014_SEMARNAT_K141)

Almanza, G. (14 de Mayo de 1984). Producción Intensiva de Forraje Verde por medio de sistemas . *Memoria Licenciatura.*, págs. 40-64.

- Almanza, G. (1984). Producción Intensiva de Forraje Verde por medio de sistemas Hidropónicos en Cámara de Crecimiento. *Memoria Licenciatura*. Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Anacleto, E. (24 de Octubre de 2008). *GroHo Hidroponía*. Obtenido de <https://www.groho.es/post/planeando-un-buen-sistema-de-iluminacion-en-tu-invernadero>
- Banner. (2014). *Obtenido de Banner*. Obtenido de <https://www.bannerengineering.com/mx/es/support/catalogs.html>
- Barr, D. I. (1981). *Solutions of the Colebrook–White function for resistance to uniform turbulent flow*. Proc. Inst. Civil Engrs.
- Bidwell, R. O. (1993). *Fisiología Vegetal*. Fisiología Vegetal.: www. AGT Editores, p.784.
- Budynas & Nisbett. (2008). *Richard\_G\_Budynas\_J\_Keith\_Nisbett\_Joseph*. *Construcción de un invernadero de 40m2 para la producción de hortalizas con aguas lluvias - PortalFruticola.com*. (s/f). Recuperado el 6 de octubre de 2022, a partir de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/07/17/construccion-de-un-invernadero-de-40m2-para-la-produccion-de-hortalizas-con-aguas-lluvias/>
- FAO. (2001). Forraje verde hidropónico Primera Parte. *Fao*, 066, 55.
- Breiner Isidro Argotta Hernández Facultad, R. de. (s/f). *universidad francisco de paula Santander Ocaña documento formato hoja de resumen para trabajo de grado código f-ac-dbl-007 a dependencia división de biblioteca aprobado subdirector académico*.

CADAVID, V. C., & GARCIA, M. F. (2020). *diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias marie poussepin*. Bogota.

<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25546>

Cárdenas, T. F. (1999). *El cultivo de tomate en el Parador y Roquetas de Mar*. Almería, España: Camacho F.

Dexperience Works / *SOLIDWORKS*. (s/f). Recuperado el 26 de octubre de 2022.

<https://www.solidworks.com/3dexperience-works>

E.S.I, R. (1996). Aportaciones a la Generación de un Paquete Tecnológico para la Producción de Forraje en Hidroponía. . *Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo*. Mexico-.

ECOLOGICOS., H. (23 de Octubre de 2020). *Tomate Cherry cómo cultivar [en línea]*. Madrid: *La empresa*. Obtenido de

<https://huertosecologicos.es/tomate-cherry-como-cultivar/>>

Electricidad, C. F. (21 de Enero de 2014). *COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD*. México Distrito Federal: CFE.

Escalante, S. d. (1998). *Hidroponía principios y metodos de cultivos*.

Escalante, S. d. (1998). *Un sistema de producción de plantas. Hidroponía*. México: Universidad Autónoma Chapingo.

Espinosa, B. (2016). *RiuNet*. Obtenido de

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION\\_\\_GIE-3\\_\\_2en1.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION__GIE-3__2en1.pdf)

F. I. (s.f.) *folleto informativo*. Obtenido de

[https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf)

Flora, K. (01 de Enero de 2021). *Foodunfolded*. Obtenido de

<https://www.foodunfolded.com/es/articulo/como-crecen-las-plantas-en-el-espacio-la-tecnologia-de-los-alimentos-en-el-espacio>

GÓMEZ, D. M. (2006). *"invernaderos para producción de forraje verde hidropónico tipos y características"*. SALTILLO, COAHUILA: centro de información.

Guerrero, Y. S. (2019). LA DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA - PROPUESTAS PARA LA MITIGACION DE SUS EFECTOS. *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA*, 19.

<https://www.invernaderosima.com/es/high-tunel.html>. (s.f.). Obtenido de

<https://www.invernaderosima.com/es/high-tunel.html>:

<https://www.invernaderosima.com/es/high-tunel.html>

(s.f.).portalfruticola

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2022/01/21/construccion-de-un-invernadero-de-5-x-8-metros/>

García, A., Villegas Narváez, J., Antonio Fernández Viveros, J., Luis Manzo Reyes, J., Manuel Escobar Gamboa, J., René González Romero, J., Vargas Ferrer, J., Alfaro Cedillo, K., Cruz Rivero, L., Alberto Montes Gutiérrez, L., Carlos Álvarez Simón, L., Rosas Lozano, M., Alberto Rincón Pinzón, M., Vazquez Cruz, N., García Cortes, N., Mejía Baruch, R., Panuncio Mora Solis, R., Evelia Gámez Eugenio, R., Paredes Rincón, S., ... Villar Zárate, V. (2020). *INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGIA*. [www.redibai.org](http://www.redibai.org)

Gassó & Sergio. (2011). “*ESTRUCTURA E INSTALACIONES DE UN INVERNADERO*”

*PFC presentado para optar al título de Ingeniería Técnica Industrial especialidad MECANICA Por Francesc Gassó Busquets y Sergio Solomando Valderrabano Barcelona, 12 de enero de 2011.*

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11369/Mem%C3%B2ria.pdf>

Gilsanz, J. C. (2007). *HIDROPONIA*.

Norma ASTM A36. Recuperado el 25 de octubre de 2022.

[https://www.academia.edu/21675528/Norma\\_ASTM\\_A36](https://www.academia.edu/21675528/Norma_ASTM_A36)

*Guía: Ventilación en un invernadero: Hydro Environment .: Hidroponía en Mexico.* (s/f).

Recuperado el 19 de octubre de 2022, a partir de

[https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=429](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=429)

Infoagro. (2015). *Principales tipos de invernadero*. Obtenido de <https://www.infoagro.com/>

Instrumentación., A. C. (2015). *Que son y como funcionan las termocuplas*. Obtenido de

<http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

Invernaderos Multitúnel Asimétricos o Tropicales. (s/f).

<https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-asimetricos>

Invernaderos Multitúnel Capilla - *Multicapilla*. (s/f). Recuperado el 26 de septiembre de 2022,

<https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>

Invernaderos Raspa y Amagado - *Parral - Almería*. (s/f). Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

<https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernaderos-raspa-amagado>

Invernaderos Túnel. (s/f). Recuperado el 26 de septiembre de 2022.

<https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-tunel>.

Kokler, H. (1999). *Estadística para negocios y economía*. Mexico: cecsa.

López, P., & Jesús., D. d. (16 de Enero de 2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México.*, págs. p.p33-42.

Ley sobre licenciamiento de software en Colombia / *Softimiza*. (s/f).

Recuperado el 25 de octubre de 2022.

<https://softimiza.co/blog/ley-sobre-software-legal-en-colombia-trabajo> Grado.

M.H R. (2004). *Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones*. España: editorial Peason Prentice Hall.

MARTÍNEZ, L. Á. (Septiembre de 2005). *producción de forraje verde hidropónico. centro de investigación en química aplicada*. Huila, SALTILLO, COAHUILA : CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.

Mexico, G. d. (29 de Abril de 2016). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.

Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/articulos/hidroponia-sabes-que-es-y-como-funciona>

Molnar, M. C. (2009). *monografías*. Obtenido de

<https://www.monografias.com/trabajos13/hidropo/hidropo>

- Moody, L. F. (1994). *Friction factor for pipe flow*. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers.
- N., A., & S., P. (2000). *Agricultural Water. rrigation automation based on soil electrical*, pp. 145-157.
- Nugteren, J. (1970). *Introduction to irrigation*. Mexico.
- Olujic, Z. (1981). *Compute friction factor fast for flow in pipes*. Chemical Engineering.
- Patt, A. G. (2008). *Perceptions of climate risk in Mozambique: Implications for the* .
- Pedone, C. (2000). *El trabajo de campo y los métodos cualitativos. Necesidad de nuevas reflexiones desde las geografías latinoamericanas*. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales.
- Pizarro, V., & Contreras, C. (2022). *Invernaderos en hidroponía,. coquimbo: ransferencia Tecnológica para*.
- Portillo, O., Minerva, Solorio, O., Carlos, Ríos, G., & González, J. (2007). *Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal*. Mexico: Terra Latinoamericana, vol. 25 num.
- R.G., A. (1998). *Italia: FAO Irrigation and Drainage*.
- Resh, H. (1988). *Hydroponic food production*. 5th Ed. 527p. .
- Resh, H. (1996). *Hydroponic food production. 5th Ed*. California, EUA, : Woodbridge Press. Publishing Co. 527p.
- Resh, M. H. (1997). *Cultivos Hidropónicos: Nuevas técnicas de producción*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Rodríguez, M. (2003). *Producción de Forraje verde*. pp. 23-34.

- Smit, B. a. (2006). *Adaptation, adaptive* . Global Environmental Change, no. 16, pp. 282-292.
- Stevenson, W. J. (2002). *Estadística para administración y economía*. Mexico pp. 585.: Oxford University press.
- Trabajo, I. G. (28 de Octubre de 2020). *EEE 802.15 para Redes de especialidad inalámbricas*,. Obtenido de <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- Valdivia, B. E. (6-8 de Agosto de 1997). Producción de Forraje Verde Hidropónico, Conferencia Internacional en hidroponía comercia. (U. N. Molina., Entrevistador) Lima-Perú.
- Valencia, U. P. (Septiembre de 2003). *Luz y Desarrollo. El Fotoperiodismo la Fotomorfogénesis y el Control de la Floración. capitulo 15*. Obtenido de [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_15.htm#:~:text=El%20fotoperiodismo%20es%20la%20respuesta,varios%20campos%20de%20la%20Biolog%C3%ADa](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_15.htm#:~:text=El%20fotoperiodismo%20es%20la%20respuesta,varios%20campos%20de%20la%20Biolog%C3%ADa).
- Varian, H. (1992). *Análisis microeconómico*. Antoni Bosch, España.
- Vélez, J. D., & Segura, L. F. (08 de Junio de 2018). *Universidad de La Salle* . Obtenido de Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde : [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_automatizacion/150?utm\\_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing\\_automatizacion%2F150&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/150?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_automatizacion%2F150&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages)
- Ventilación, S. (2006). *Silver Ventilaciones Inteligente*. Obtenido de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/el-sistema-de-ventilacion-de-un-invernadero-ventilacion-natural-y-mecanica/#:~:text=El%20sistema%20de%20ventilaci%C3%B3n%20en,fr%C3%ADo%20que%20procede%20del%20exterior>.



- Viloria, F. M. (0.3 de junio de 2019). *pastos y forrajes informacion*. Obtenido de <https://infopastosyforrajes.com/suplementacion/forraje-verde-hidroponico/>
- Vargas & ZOLIA, 2009, PAG 6. (2009). *Cordero Vargas; Rosca Zolia, 1*, 1–12.
- Wackerly, D. (2002). *Estadística matemática con aplicaciones*. Mexico: Thomson.
- Acero ASTM A36: características, propiedades, análogos - Metinvest*. (s/f).  
Recuperado el (25 de octubre de 2022),  
<https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>
- Badgery-Parker, Jeremy., Industry & Investment NSW., AUSVEG. & Horticulture Australia. (2010). *Commercial greenhouse cucumber production*. 216.