

Diseño de una Instalación Eléctrica para Iluminación y Riego de un Cultivo de Cannabis

Janyce Maylin Camacho Barbosa

Julian Andres Mayorga Rojas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Docente Universidad Industrial de Santander

Magister en Ingeniería con énfasis en Automática

Doctorado en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

A mis padres por su apoyo incondicional, por su paciencia y por el esfuerzo que juntos hicieron para verme crecer como profesional, a mis hermanos por su compañía en este proceso de aprendizaje y de igual manera por su apoyo brindado, a mi hijo Zaid Vera Camacho por ser mi inspiración e impulso para seguir adelante cada día y especialmente por su fiel amor para conmigo.

**Janyce Camacho**

Esta tesis es el resultado del esfuerzo a lo largo de mucho tiempo, recogiendo distintos momentos a lo largo de mi vida de los cuales tengo tanto marcas como recuerdos dentro y fuera de mi universidad, siendo uno en especial, por quien vivo motivado y en busca de un mejor futuro. Dedico esta tesis como símbolo de mi amor y dedicación a mi hijo David Santiago, a mis hermanas y a mis padres quienes me han acompañado en este proceso de aprendizaje, brindándome valores religiosos, morales y éticos.

**Julian Mayorga**

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por brindarme la fuerza y la sabiduría para culminar mi trabajo de grado y a su vez mi carrera universitaria.

También agradezco a mi director de trabajo de grado Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga por su paciencia y dedicación en guiarme durante este proceso. Sus consejos y enseñanzas han sido de gran ayuda en mi formación académica.

No puedo dejar de mencionar a mi Universidad Industrial de Santander, por brindarme las herramientas necesarias para crecer tanto en lo académico como en lo personal. Sin duda, esta institución ha sido fundamental en mi desarrollo profesional.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y compañeros, quienes me han brindado su apoyo y motivación en todo momento. A través de sus palabras de aliento y su amistad, han sido una fuente importante de inspiración para mí.

A todos ellos, ¡mi eterno agradecimiento! – **Janyce Camacho**

Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios, siendo el reflejo de ello este documento que sintetiza los conocimientos adquiridos a lo largo de mi vida universitaria.

A mi amada madre Nancy y a mi amado padre Julio por su apoyo incondicional y desinteresado del cual eh sido afortunado de gozar a lo largo de mi vida tanto en mi formación educativa, como también en mi formación humana brindándome valores y principios éticos.

Agradezco también a mi profesor de tesis Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, por su confianza en este proyecto desde el día cero, por su guía, sus buenos consejos y su conocimiento brindado a nosotros y reflejado en este documento, agradecido enormemente.

Agradezco a mi universidad por permitirme realizar mis estudios de ingeniería eléctrica, formarme académicamente y como profesional con grandes valores éticos.

Por ultimo y no menos importante no podía de dejar de agradecer a mis compañeros quienes fueron participes de tantos momentos a lo largo de mi vida universitaria incluyendo la realización de este proyecto, gracias infinitas por todo su tiempo, cariño y apoyo incondicional en esos tiempos de dificultades personales y académicas, lo cual nos convirtió en más que compañeros en amigos los cuales no mencionaré porque solo ustedes saben quiénes son , muchas gracias por su apoyo sin ustedes no estaría culminando mis estudios profesionales.

A todos y cada uno de ustedes, Infinitas Gracias - **Julian Mayorga**

Contenido

**Introducción ..... 15**

**1. Problema a resolver ..... 16**

**2. Objetivos ..... 18**

2.1 Objetivo general ..... 18

2.2 Objetivos específicos ..... 18

**3. Cultivo de cannabis en invernaderos ..... 19**

3.1 Historia del cultivo de cannabis en invernaderos ..... 19

3.2 Tipo de Invernaderos ..... 21

3.2 Ventajas y desafíos de cultivar cannabis en invernaderos en comparación con otros métodos de cultivo..... 28

3.3 Importancia económica y social del cultivo de cannabis en invernaderos. .... 31

3.4 Factores que influyen en el rendimiento del cultivo de cannabis en invernaderos..... 32

3.5 Cannabis..... 36

3.6 Sistemas De Riego ..... 39

**4. Sistema de riego automatizado ..... 45**

4.1 Arduino ..... 46

4.2 PLC (Controlador Lógico Programable) ..... 48

4.3 Bomba..... 49

**5. Metodología y resultados..... 54**

5.1. Ubicación del proyecto ..... 54

5.2. Sistema de riego..... 55

5.3 Sistema de automatización..... 60

5.4 Instalación eléctrica .....	62
<b>6. presupuesto y materiales para la elaboración de la instalación eléctrica.....</b>	<b>78</b>
<b>7. Automatización del sistema de iluminación y riego.....</b>	<b>80</b>
7.1 Ilustración montaje de control. ....	85
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>87</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>89</b>
<b>Apéndices</b>	<b>99</b>

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de invernaderos</i> .....	21
Tabla 2. <i>Características técnicas Arduino UNO</i> .....	48
<b>Tabla 3.</b> <i>Porcentajes de regulación de tensión</i> .....	69
<b>Tabla 4.</b> <i>Porcentajes de regulación máxima permitida en las redes de distribución rural</i> .....	69
<b>Tabla 5.</b> <i>Cuadro de carga eléctrica del proyecto.</i> .....	72
<b>Tabla 6.</b> <i>Potencias de entrada y corrientes consumidas</i> .....	73
<b>Tabla 7</b> <i>Conductores seleccionados</i> .....	77
Tabla 8. <i>Presupuesto y materiales para la elaboración de la instalación eléctrica.</i> .....	78
<b>Tabla 9</b> <i>Costos del recurso humano requerido para el desarrollo del proyecto.</i> .....	79
<b>Tabla 10</b> <i>Gastos complementarios</i> .....	79
<b>Tabla 11</b> <i>Costo total para el desarrollo del proyecto</i> .....	80

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Invernadero asimétrico o inacral</i> .....	23
Figura 2. <i>Invernadero tipo Venlo</i> .....	24
Figura 3. <i>Invernadero de estilo Parral</i> .....	25
Figura 4. <i>Invernadero en forma de túnel</i> .....	26
Figura 5. <i>Invernadero de estilo capilla</i> .....	27
Figura 6. <i>Sistema de riego por gravedad</i> .....	41
Figura 7. <i>Esquema principal de riego por goteo</i> .....	42
Figura 8. <i>Sistema de riego por tapete</i> .....	43
Figura 9. <i>Sistema de riego por aspersión</i> .....	44
Figura 10. <i>Sistema de riego por microaspersión</i> .....	45
<b>Figura 11.</b> <i>Placa de Arduino UNO</i> .....	47
Figura 12. <i>Bomba de diafragma</i> .....	52
Figura 13. <i>Bomba Semi Sumergible</i> .....	53
Figura 14. <i>Vista aérea de la ubicación de los invernaderos</i> .....	54
Figura 15. <i>Diagrama de elementos del sistema de riego</i> .....	55
Figura 16. <i>Depósito de agua</i> .....	57
<b>Figura 17.</b> <i>Bomba de agua</i> .....	58
<b>Figura 18.</b> <i>Sensor abierto</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Sensor Cerrado</i> .....	59
<b>Figura 20.</b> <i>Electroválvula cerrada</i> .....	60
<b>Figura 21</b> <i>Relé de 30 A</i> .....	61

<b>Figura 22</b> <i>Relé de 10 A</i> .....	62
Figura 23. <i>Luminaria seleccionada para invernaderos</i> .....	63
<b>Figura 24.</b> <i>Socket</i> .....	64
<b>Figura 25.</b> <i>Distribución de las plantas en el invernadero</i> . ....	65
<b>Figura 26.</b> <i>Selección de luminaria</i> . ....	65
<b>Figura 27.</b> <i>Iluminación efectiva en el invernadero</i> . ....	66
<b>Figura 28.</b> <i>Distribución Lumínica</i> .....	67
<b>Figura 29.</b> <i>Zonas de luxes en el invernadero</i> . ....	67
<b>Figura 30.</b> <i>Cálculos de Luxes</i> .....	68
<b>Figura 31</b> <i>Interruptor electromagnético</i> .....	74
<b>Figura 32</b> <i>Contactor para motobomba</i> .....	75
<b>Figura 33</b> <i>Relé térmico para motor</i> .....	76
<b>Figura 34</b> <i>Varilla de puesta a tierra</i> .....	77
<b>Figura 35</b> <i>Esquema de conexiones de automatización</i> . ....	86

**Lista de Apéndices**

**pág.**

**Apéndice A.** Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca

UIS ..... 99

## Glosario

**Acometimiento:** instalación por la que se deriva hacia un edificio u otro lugar parte del fluido que circula por una conducción principal.

**Agrícola:** es todo lo relativo a la agricultura o al agricultor. Por lo tanto, comprende temas como el cultivo y la producción de materias primas de origen vegetal, así como las herramientas, maquinaria y técnicas utilizadas para llevar a cabo esta actividad.

**Automatización:** Automatización es un término que refiere a aplicaciones de tecnología donde se minimiza la participación humana. Esto incluye automatización de procesos empresariales (BPA), automatización de TI, aplicaciones personales como automatización de viviendas y más.

**Cannabinoides:** Los cannabinoides son una clase de compuestos químicos que se encuentran de manera natural en la planta de cannabis (*Cannabis sativa*). Estos compuestos interactúan con el sistema endocannabinoide del cuerpo humano y de otros animales, lo que puede tener una variedad de efectos biológicos y farmacológicos.

**Cannabis medicinal:** se refiere al uso de los productos, preparados, o principios activos de la planta *Cannabis sativa* L. como terapia para tratar algunas enfermedades o aliviar determinados síntomas.

**Distribución:** un sistema de distribución eléctrica es un conjunto de elementos que se encargan de llevar la energía eléctrica desde la fuente generadora hasta los puntos de consumo.

**Instalación eléctrica:** conjunto de circuitos eléctricos que tiene como objetivo dotar de energía eléctrica a edificios, instalaciones, lugares públicos, infraestructuras, etc. Incluye los equipos necesarios para asegurar su correcto funcionamiento y la conexión con los aparatos eléctricos correspondientes.

**Invernadero:** es un lugar abierto y accesible a pie que se destina al cultivo de vegetales y plantas, tanto decorativas como hortícolas, para protegerlas del exceso de frío en ciertas épocas del mes. Habitualmente está dotado de una cubierta exterior translúcida de vidrio o de plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales, que se utiliza para favorecer el desarrollo de las plantas.

**Irrigar:** tr. Agr. Aplicar el riego a un terreno.

**Lumen:** un lumen (lm) es la unidad del Sistema Internacional de Medidas que mide el flujo luminoso emitido por una fuente emisora de luz.

**Pecuario:** la ganadería o pecuaria es una actividad que consiste en el manejo y explotación de animales domesticables con fines de producción, para su aprovechamiento.

**Sensor:** es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

**Sistema de riego:** conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas.

**Suministro energético:** todos los elementos que conforman el servicio eléctrico desde que se genera hasta que llega al punto de distribución. Abarca potencialmente la extracción, transmisión, generación, distribución y almacenamiento de combustibles.

**Tablero de distribución:** es un componente de un sistema eléctrico de distribución que divide una alimentación de energía eléctrica en circuitos derivados, al tiempo que proporciona un disyuntor o fusible de protección para cada circuito, en un gabinete común.

## Resumen

**Título:** Diseño de una Instalación Eléctrica para Iluminación y Riego de un Cultivo de Cannabis

**Autores:** Janyce Maylin Camacho Barbosa, Julian Andrés Mayorga Rojas

**Palabras Clave:** Cannabis, Instalación Eléctrica, Diseño, Sistema de Riego, decreto 613 de 2017, decreto 811 de 2021, Invernadero.

**Introducción:** La producción de cannabis requiere el cumplimiento de estándares de cultivo que garanticen su calidad para su exportación y uso medicinal; por lo cual, el objetivo de este trabajo es diseñar la instalación eléctrica y sistema de riego de un cultivo de cannabis tipo exportación, usando los lineamientos de las normativas nacionales RETIE RESOLUCIÓN No. 9 0708 de AGOSTO 30 DE 2013 para instalaciones con equipos especiales.

**Metodología:** Se realiza Investigación para contextualización sobre el tema de invernaderos, tipos de cannabis, sistemas de riego, aparatos de control posibles a utilizar y posteriormente realiza cálculos para crear diseño, selección de equipos, protecciones, conductores, realizar simulaciones, diseños y finalmente presupuestos

**Resultados y conclusión:** Se diseña la instalación eléctrica y sistema de riego de un cultivo de cannabis tipo exportación, usando los lineamientos de las normativas nacionales RETIE.

\* Diseño de una Instalación Eléctrica para Iluminación y Riego de un Cultivo de Cannabis

\*\* Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctorado en Ingeniería Eléctrica.

### Abstract

**Title:** Design of an Electrical Installation for Lighting and Irrigation of a Cannabis Grow Room

**Author(s):** Janyce Maylin Camacho Barbosa, Julian Andrés Mayorga Rojas

**Key Words:** Cannabis, Electrical Installation, Design, Irrigation System, decree 613 of 2017, decree 811 of 2021, Greenhouse.

**Introduction:** Cannabis production requires compliance with cultivation standards that guarantee its quality for export and medicinal use; therefore, the objective of this work is to design the electrical installation and irrigation system of an export-type cannabis crop, using the guidelines of the national regulations RETIE RESOLUTION No. 9 0708 of AUGUST 30, 2013, for installations with special equipment.

**Methods:** Research is carried out for contextualization on the subject of greenhouses, types of cannabis, irrigation systems, possible control devices to be used and then calculations are made to create design, selection of equipment, protections, conductors, simulations, designs and finally budgets.

**Results and Conclusions:** The electrical installation and irrigation system of an export-type cannabis crop was designed, using the guidelines of the RETIE national regulations.

\* Design of an Electrical Installation for Illumination and Irrigation of a Cannabis Cultivation.

\*\* Faculty of Physicomechanics. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga. Doctorate in Electrical Engineering.

## **Introducción**

El cannabis es una planta que tiene múltiples aplicaciones en el ámbito medicinal como es el caso de tratamientos para enfermedades como el Alzheimer, el cáncer y la ansiedad. En Colombia con la Ley 1787 del decreto 613 de 2017 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2017b) y con el decreto 811 de 2021 se autorizó su cultivo con fines medicinales y de exportación (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021a).

Por lo anterior se ha venido dinamizando esta actividad agropecuaria en Colombia y algunos de estos cultivos se han establecido en el sector de la Mesa de los Santos(EL TIEMPO, n.d.), municipio cercano a la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander.

Para lograr que los cultivos cumplan con los requisitos para exportación (Consultor Salud, 2022), es necesario mantener condiciones de producción particulares dentro de los invernaderos (Humboldt Seeds, 2020)que garanticen unas plantas sanas y aptas para uso medicinal y exportación.

El presente trabajo de grado propone el diseño de una instalación eléctrica y de iluminación para un cultivo de cannabis ubicado en el municipio de la Mesa de los Santos, Santander. Esta instalación además dispondrá de un sistema de riego, considerando que las propiedades de la planta dependen de factores ambientales tales como intensidad lumínica y nivel de riego.

## 1. Problema a resolver

En Colombia mediante el decreto 613 de 2017 se reglamentó la Ley 1787 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2017a) que permite la producción, transformación y uso de cannabis en un ámbito científico y medicinal. Así mismo, mediante el decreto 811 de 2021 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021b) se expidió la autorización de exportación de la flor seca de la marihuana.

Por lo anterior, en Colombia es posible el cultivo y exportación legal del cannabis, y muchos productores se han dado a la tarea de desarrollarlo. Esto ha aumentado la demanda (Ideas Repec, 2019) de esta planta y su uso en la medicina, lo que requiere el cumplimiento de los cuidados de cultivo que permitan el desarrollo del producto en óptimas condiciones (Humboldt Seeds, 2020). Para esto, es necesario tener un control de la intensidad luminosa que se encuentran en los invernaderos y contar con un sistema de riego disponible que cumpla con las necesidades de la planta, sin tener excesos de riego que puedan causar la muerte de la planta y crear moho y plagas en los invernaderos o desperdicio del elemento (Humboldt Seeds, 2020).

Además, es importante resaltar que los edificios para usos agrícolas o pecuarios son catalogados como instalaciones especiales por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), por lo que se requiere un diseño detallado de la instalación eléctrica a realizar, ya que el RETIE busca asegurar la protección de la vida humana, animal, vegetal y la preservación del medio ambiente (Ministerio de Energía, 2013).

En este trabajo de grado se pretende diseñar un sistema de riego automatizado e instalación eléctrica para un invernadero de cultivo de cannabis. El diseño del sistema de riego comprende desde la acometida

hasta los sensores para así poder tener un control detallado en tiempo real; y la instalación eléctrica comprende desde el punto de suministro energético, tablero de distribución hasta las lámparas que se encontrarán situadas en el invernadero. Es necesario asegurar que las propiedades de la flor seca de la marihuana se mantengan en excelentes condiciones para que estas puedan ser exportadas (Consultor Salud, 2022) y con ayuda de la medicina se conviertan en tratamientos que permitan mejorar el estado de salud del individuo(VAPE / VAPERS EN PERÚ, n.d.).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar la instalación eléctrica y sistema de riego de un cultivo de cannabis tipo exportación usando los lineamientos de las normativas nacionales RETIE RESOLUCIÓN No. 9 0708 de AGOSTO 30 DE 2013, para instalaciones con equipos especiales.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar los requerimientos de la instalación eléctrica acorde con el tipo cultivo y las características energéticas de la zona.
- Seleccionar los entregables eléctricos apropiados, los planos eléctricos y diseño, para el sistema de iluminación y riego.
- Realizar un estudio de iluminación eléctrica para el cultivo seleccionando las fuentes de iluminación y la distribución de las salidas usando el software de simulación en DIALux.
- Elaborar el presupuesto de inversión y las especificaciones técnicas particulares para la implementación de esta propuesta.

### **3. Cultivo de cannabis en invernaderos**

La presente sección es un componente esencial dentro del marco de investigación en curso, con el propósito de brindar una panorámica exhaustiva y rigurosa del estado del conocimiento vigente en el área de nuestro tema investigativo. En consecuencia, la presente exposición está diseñada para reunir, analizar y sintetizar los avances, perspectivas y desarrollos más significativos que han caracterizado el panorama científico y académico en torno al tema de nuestra investigación.

#### **3.1 Historia del cultivo de cannabis en invernaderos**

La historia del cultivo del cannabis en invernaderos encuentra sus raíces en tiempos ancestrales, cuando se empleaba con la finalidad de obtener fibras y semillas de índole alimentaria (Vázquez Flota, 2021)

A lo largo de la evolución histórica, el cultivo del cannabis ha experimentado una metamorfosis y ha sido aprovechado con distintos propósitos, abarcando tanto el ámbito medicinal como el recreativo. En el contexto de la actualidad, el cultivo de cannabis en invernaderos ha ganado creciente popularidad gracias a la capacidad de regulación del entorno de cultivo y al aumento de la producción que ello conlleva. (Edelman & Grytness, 2016)

No obstante, es importante destacar que el cultivo de cannabis puede acarrear consecuencias jurídicas de naturaleza penal en caso de infracción de las normativas relacionadas con sustancias estupefacientes. Hay que tener en cuenta que cuando el cultivo de plantas de cannabis se destina exclusivamente a fines industriales, específicamente la obtención de fibra, grano y semillas se encuentra exento de regulaciones normativas similares. (Dirección General de Producciones y

Mercados Agrarios, n.d.) Los invernaderos son una estructura cerrada de gran relevancia en la agricultura, utilizada con el propósito de favorecer al cultivo de plantas o vegetales en condiciones climáticas controladas sabiendo que el clima y las variaciones estacionales en la producción de cultivos pueden ser un desafío para los agricultores (Blog Agricultura, 2022). En la agricultura actual, una alternativa ampliamente empleada es la implementación de invernaderos para controlar las condiciones ambientales, logrando así una producción eficaz y rentable. Es importante destacar que aquellos invernaderos de mayores dimensiones ofrecen una calidad superior en comparación con invernaderos de dimensiones más reducidas (Andrea & Castaño, 2021). No solo brindan la posibilidad de regular y ajustar las temperaturas, sino que también permiten ejercer un control sobre las condiciones de humedad y luz, al mismo tiempo que salvaguardan las cosechas de las posibles amenazas ocasionadas por aves u otros animales acechantes.

Los invernaderos han surgido como una herramienta de gran relevancia para la producción de alimentos ante condiciones climáticas difíciles y en zonas geográficas donde la producción tradicional de cultivos se ve restringida. La habilidad de los invernaderos de proporcionar un ambiente optimizado y controlado para el desarrollo de las plantas, junto con su capacidad para mejorar la eficiencia de los recursos naturales y fomentar la sustentabilidad, los convierte en un factor crucial en la búsqueda de soluciones alimentarias en contextos desafiantes.

Los invernaderos, en razón de su naturaleza y su objetivo primordial, deben satisfacer una serie de criterios esenciales que los destacan como estructuras de indiscutible relevancia en el contexto de la agricultura moderna. Con el fin de alcanzar un desempeño óptimo, estas instalaciones deben caracterizarse por su eficiencia económica, su ligereza, su robustez, su elegante esbeltez, y la habilidad de configurarse en configuraciones que minimicen su volumen aparente. Asimismo, resulta de suma importancia reconocer que los invernaderos no son objetos

estandarizados sino, en su contraparte, sobresalen por su innegable versatilidad en cuanto a sus dimensiones, diseños y aplicaciones específicas (Sanchez, 2021).

Uno de los aspectos más destacados de la construcción de invernaderos radica en la selección y combinación de materiales idóneos para las paredes, techos y la estructura en sí. Estos componentes deben ser escogidos con sumo cuidado, teniendo en consideración las condiciones climáticas locales, así como las necesidades específicas del cultivo que se albergará en su interior. Entre los materiales más comúnmente empleados en la edificación de invernaderos se encuentran el vidrio, el plástico transparente, la madera, el hierro y el aluminio, cada uno de ellos seleccionado estratégicamente para satisfacer los requerimientos de un entorno agrícola particular. (Agraria et al., 2014)

### **3.2 Tipo de Invernaderos**

Dentro de los amplios tipos de invernaderos, se pueden identificar diversas variedades que difieren en su estructura, los materiales empleados en su construcción y su forma estructural característica. Entre las clasificaciones más comunes se encuentran los invernaderos para ambientes fríos, templados o cálidos (NOVAGRIC, n.d.-b).

#### **Tabla 1**

*Tipos de invernaderos*

Invernaderos según su forma:	Invernaderos según su estructura:	Invernadero según su material de Construcción:	Invernaderos según su uso:
Invernadero plano o de una sola pendiente.	Invernadero de viga y poste.	Invernadero de madera.	Invernaderos para hortalizas.
Invernadero gótico o de doble pendiente.	Invernadero de aro.	Invernadero de aluminio.	Invernaderos para flores.
Invernadero de cúpula o semicírculo.	Invernadero de tubo.	Invernadero de hierro.	Invernaderos para frutas.
Invernadero túnel o arco	Invernadero de marco.	Invernadero de policarbonato.	entre otros.
entre otros.		Invernadero de vidrio.	

Fuentes: *Recopilación de información de diferentes sitios web.*(Guardado, 2022) (InfoAgro México, 2016). (BlogSpot, 2009)

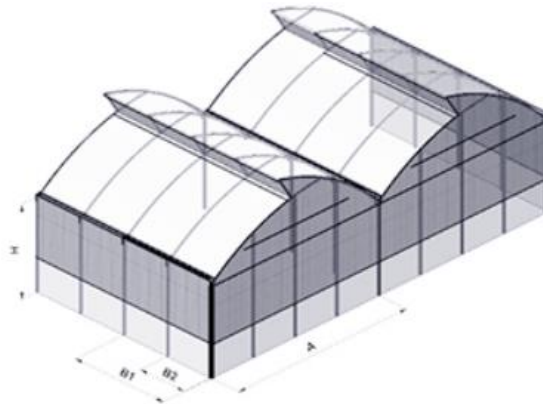
En el contexto de Colombia, una investigación realizada a través de consultas en la web en fuentes especializadas, como Agropinos(Agropinos, 2017) y trabajos de invernaderos, revela que los tipos de invernaderos más utilizados en este país incluyen el tipo "Capilla" y el tipo "Venlo", ambos con una estructura metálica prefabricada y una cubierta de vidrio o policarbonato Además, existen otros tipos de invernaderos, como el invernadero Multitúnel, el Túnel, el Gótico y el Invernadero de tipo Chapado, entre otros. Estos tipos de invernaderos se seleccionan según las necesidades del cultivo, las condiciones climáticas y la disponibilidad de materiales (Comisión Nacional De Seguridad Y Salud, n.d.). A continuación, se describen algunos de estos tipos de invernadero.

### 3.2.1 Invernadero asimétrico o inacral.

A diferencia de los invernaderos convencionales, este tipo de invernadero no posee una forma simétrica en su diseño, luego presenta una distribución irregular de sus elementos estructurales y constructivos, su forma asimétrica posee ciertas ventajas con respecto a los demás, las cuales son: economía, buena ventilación debido a su altura elevada, buen aprovechamiento de la luz en época invernal, elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario, entre otras. Por otro lado, posee también ciertas desventajas como lo son: el no aprovechamiento del agua lluvia, dificultad para el cambio del plástico de la cubierta y pérdidas de calor a través de su cubierta debido a que esta posee mayor superficie (BlogSpot, 2009; InfoAgro México, 2016; NOVAGRIC, n.d.-b).

#### **Figura 1.**

*Invernadero asimétrico o inacral.*



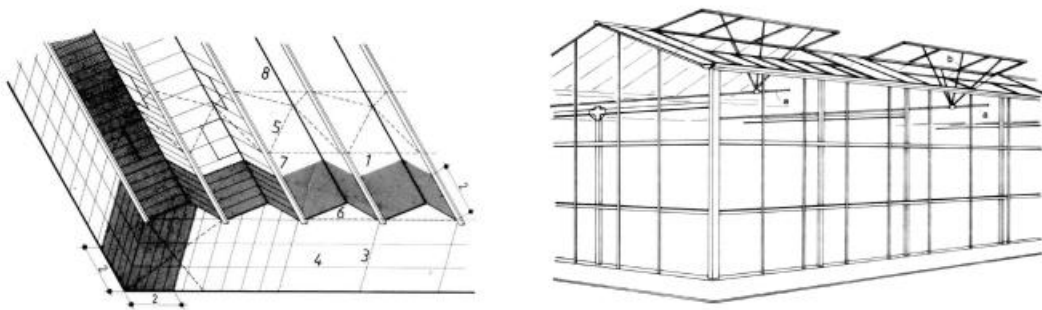
### 3.2.2 Invernadero de estilo holandés o tipo “Venlo”

El invernadero de estilo holandés se destaca como uno de los tipos más famosos a nivel mundial debido a su eficiencia y capacidad para el cultivo diverso de plantas en un espacio

controlado y protegido. Esta tipología de invernadero se caracteriza por su estructura fabricada en acero galvanizado o aluminio, con un techo inclinado en forma de arco que exhibe una apariencia estilizada y elegante con paneles de vidrio en su cobertura que permite controlar la recolección de agua pluvial con ayuda de unos canales para este tipo en la figura 2 se observa un ejemplo de un invernadero tipo venlo (la tienda del invernadero, n.d.).

**Figura 2.**

*Invernadero tipo Venlo.*



La inclinación del techo en el invernadero de estilo holandés no solo mejora la estética de este, sino que también posibilita la penetración uniforme de la luz solar en el interior, optimizando el crecimiento de los cultivos alojados. Además, esta variante de invernadero cuenta con sistemas de ventilación y calefacción que contribuyen a mantener una temperatura constante en su interior, lo cual resulta vital para el desarrollo saludable de los cultivos.

Es importante destacar que, si bien este tipo de invernadero es originario de los Países Bajos, su popularidad ha llevado a la adopción de esta estructura en diferentes países y regiones del mundo. Los invernaderos de estilo holandés se utilizan ampliamente en la agricultura protegida, permitiendo el cultivo seguro y eficiente de una amplia variedad de plantas y cultivos en diferentes condiciones climáticas.

### 3.2.3 Invernadero de estilo Parral

Un invernadero tipo parral es un tipo de estructura de agricultura protegida utilizada para el cultivo de plantas, en la que dos tipos de estructuras, una vertical y otra horizontal, se combinan para formar una estructura en la que se pueden colocar las plantas a diferentes alturas. La estructura vertical puede ser de madera, metal o PVC, mientras que la estructura horizontal es de alambre o plástico (Sistemas Hortícolas, 2021) Esta estructura proporciona soporte para las plantas y permite un mayor aprovechamiento del espacio, lo que promueve una mayor producción de cultivos. Además, este tipo de invernadero cuenta con sistemas de ventilación y calefacción que contribuyen a mantener una temperatura constante en su interior, lo cual resulta vital para el desarrollo saludable de los cultivos (Engormix, 2022) este tipo de invernadero dispone de un techo fabricado en plástico o vidrio que puede presentar una inclinación o ser plano.

#### **Figura 3.**

*Invernadero de estilo Parral*



El invernadero de estilo Parral se destaca por su sencillez de construcción y su estructura abierta, la cual favorece una buena circulación del aire, previniendo enfermedades en las plantas y

promoviendo su crecimiento, también su diseño previene que se formen bolsas de agua lluvia que comprometen el estado estructural del invernadero.

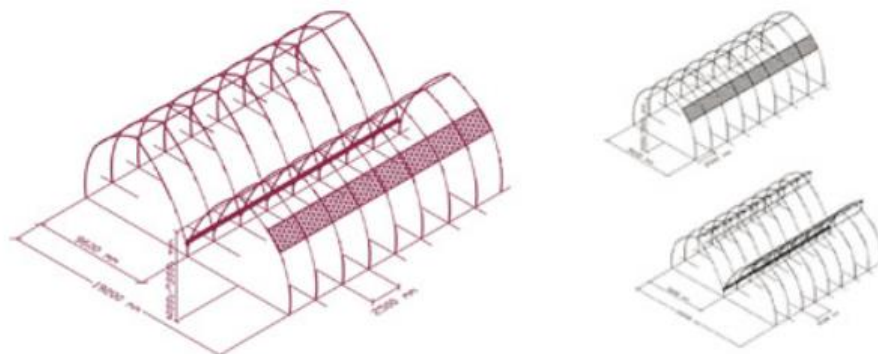
### ***3.2.4 Invernadero en forma de túnel***

El invernadero en forma de túnel se caracteriza por su estructura tubular cubierta con plástico o malla. Este tipo de invernadero se utiliza principalmente para la producción de cultivos en el suelo o para la protección de cultivos al aire libre, brindando un gran control sobre los factores climáticos y siendo más resistente al viento en comparación con otras tipologías de invernaderos.

La popularidad del invernadero en forma de túnel radica en su construcción sencilla y su bajo costo en comparación con otras tipologías de invernaderos, lo que permite a una amplia gama de agricultores tener acceso a esta tecnología. La estructura en forma de túnel de este tipo de invernadero favorece una buena circulación del aire y permite que la luz solar penetre uniformemente, fomentando así el crecimiento eficiente de los cultivos. Estos invernaderos normalmente tienen una altura que oscila entre 3,5 y 5 metros (NOVAGRIC, n.d.-a).

#### **Figura 4.**

*Invernadero en forma de túnel*



*Fuente: Tomada de NOVAGRIC (NOVAGRIC, n.d.-a)*

Es importante mencionar que los invernaderos en forma de túnel también pueden ser utilizados en conjunto con otros tipos de estructuras como el invernadero tipo parral, para maximizar aún más el potencial de la agricultura protegida. Además, esta estructura puede ser utilizada para cultivos tanto de temporada fresca como de temporada caliente, brindando la flexibilidad necesaria para cultivar una amplia variedad de cultivos de forma rentable y sostenible (Infinita Naturaleza, n.d.).

### ***3.2.5 Invernadero de estilo capilla***

El invernadero de estilo capilla es una estructura de agricultura protegida con una forma distintiva que se caracteriza por un techo inclinado que tiene una mayor altura en el centro y menor altura en los extremos. Este tipo de invernadero es ampliamente utilizado para el cultivo de flores, verduras y frutas en climas cálidos y templados.

La estructura en forma de capilla del invernadero ofrece una mayor altura en la zona central, lo que permite el cultivo sin obstáculos de plantas de mayor envergadura, lo que lo hace especialmente adecuado para plantas trepadoras y enredaderas. Además, el techo inclinado facilita la penetración uniforme de la luz solar en el interior del espacio y crea un ambiente propicio para el crecimiento de los cultivos.

### **Figura 5.**

*Invernadero de estilo capilla*



Además, el invernadero de estilo capilla incorpora sistemas de ventilación y calefacción que garantizan el mantenimiento de una temperatura constante en su interior, lo que es fundamental para el desarrollo saludable de los cultivos. La estructura en forma de capilla también ofrece una mayor resistencia al viento y mejora la circulación del aire, reduciendo el riesgo de enfermedades y plagas en los cultivos.

Los invernaderos de estilo capilla suelen ser prefabricados, lo que les permite ser montados con facilidad y rapidez y, por lo general, tienen una vida útil prolongada. Estos invernaderos son recomendados para climas templados o fríos, debido a su capacidad de mantener la temperatura interior constante y estable, lo que lo hace ideal para la producción de una amplia variedad de cultivos en condiciones controladas.

### **3.2 Ventajas y desafíos de cultivar cannabis en invernaderos en comparación con otros métodos de cultivo.**

El cultivo de cannabis en invernaderos ha emergido como una opción significativa en la producción de esta planta debido a diversas ventajas que ofrece. En este contexto, resulta

importante analizar de manera detallada tanto los beneficios como los desafíos asociados con esta modalidad de cultivo, con el objetivo de comprender su alcance y sus implicaciones.

### ***3.2.1 Ventajas del cultivo de cannabis en invernaderos:***

A continuación, se presentaran las ventajas de los cultivos de cannabis en invernaderos.

**3.2.1.1 Control del entorno:** Los invernaderos se caracterizan por su capacidad para ofrecer un control minucioso sobre las condiciones ambientales. Esto incluye la regulación de parámetros críticos como la temperatura, la humedad y la iluminación. La consecuencia directa de este control es la posibilidad de propiciar un crecimiento más rápido y saludable de las plantas de cannabis. (Cachat, 2020)

**3.2.1.2. Protección contra plagas y enfermedades:** Los invernaderos, al establecer una barrera física, actúan como un eficaz escudo que previene la entrada de plagas y enfermedades. Este aspecto contribuye a disminuir la necesidad de utilizar pesticidas y fungicidas, promoviendo así prácticas agrícolas más sostenibles. (Punja & Rodriguez, 2018)

**3.2.1.3. Mayor rendimiento:** El cultivo en invernaderos exhibe un potencial para lograr rendimientos superiores en comparación con otros métodos de cultivo. Este incremento en la producción se atribuye, en gran medida, al riguroso control del entorno y a la protección efectiva contra amenazas biológicas (Cachat, 2020)

**3.2.1.4. Eficiencia energética:** Algunos invernaderos han implementado sistemas de iluminación natural, como dispositivos de captación de luz diurna. Estos sistemas reducen el consumo de energía en comparación con las fuentes de iluminación artificial, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética en el proceso de cultivo (Cachat, 2020)

### **3.2.2 Desventajas del cultivo de cannabis en invernaderos:**

En el texto a continuación se pueden observar consideraciones para pros y contras de los invernaderos

**3.2.2.1. Gestión del clima:** A pesar de la ventaja en el control ambiental que ofrecen los invernaderos, la gestión precisa de factores como la temperatura, la humedad y la ventilación se torna esencial. La inadecuada administración de estos parámetros puede resultar en problemas como el estrés por calor o la acumulación de humedad, afectando negativamente al cultivo (Cachat, 2020)

**3.2.2.2. Costos iniciales y de mantenimiento:** La construcción y el mantenimiento de un invernadero constituyen una inversión considerable. Estos costos pueden suponer un desafío significativo para los cultivadores de cannabis, especialmente aquellos que operan en pequeña escala y enfrentan limitaciones presupuestarias (Cachat, 2020)

**3.2.2.3. Riesgo de enfermedades fúngicas:** Aunque los invernaderos proporcionan cierta protección contra enfermedades fúngicas, también pueden generar un ambiente propicio para su desarrollo si no se gestionan adecuadamente. Enfermedades comunes en este contexto incluyen la pudrición de la raíz, causada por especies como *Pythium* y *Fusarium* (Punja & Rodriguez, 2018)

**3.2.2.4. Regulaciones y estigma:** El cultivo de cannabis, incluso en invernaderos, está sujeto a regulaciones rigurosas en muchas jurisdicciones y enfrenta desafíos asociados con el estigma social. Los productores deben estar preparados para cumplir con las leyes locales y abordar las percepciones negativas que aún persisten en torno al cannabis (Hakkarainen et al., 2019)

### **3.3 Importancia económica y social del cultivo de cannabis en invernaderos.**

El cultivo de cannabis en invernaderos se establece como una práctica de clara relevancia en la actualidad, no solo desde un punto de vista económico, sino también desde una perspectiva social. A continuación, se exponen argumentos que dan a conocer esta trascendencia:

**Significativo valor económico:** Resulta innegable que el cannabis muestra una posición preeminente en cuanto a su valor económico, lo cual implica que su cultivo puede arrojar significativos ingresos para los cultivadores.(Soft Secrets, 2020) Cabe destacar, además, que el cultivo en invernaderos conlleva la obtención de productos de calidad superior, lo que puede elevar aún más su cotización en el mercado.(InfoAgro, n.d.)

**Beneficios ambientales de consideración:** El cannabis, particularmente el cáñamo o cannabis industrial, se revela como una opción con beneficios ambientales de gran alcance, especialmente cuando se emplea en la confección de materiales sostenibles, tales como papel y plásticos.(Nieto, 2021)

A ello se suma que la regulación del cultivo de cannabis puede contribuir al resguardo de los recursos hídricos y a la conservación del entorno natural.(Edelman & Grytness, 2016)

**Fomento de la generación de empleo:** La práctica del cultivo de cannabis en invernaderos se erige como un motor de generación de empleo en las comunidades donde se desarrolla, hecho que puede incidir positivamente en el tejido social y económico de dichas localidades.(Jelsma et al., 2022)

**Regulación y legalización como factores clave:** La regulación y legalización del cultivo de cannabis en determinados países han posibilitado la emergencia de mercados legales en ascenso, lo que conlleva beneficios económicos y sociales de envergadura.(Bewley-Taylor et al., 2020)

### **3.4 Factores que influyen en el rendimiento del cultivo de cannabis en invernaderos**

A continuación, se presentan factores que pueden influir en el rendimiento óptimo de un cultivo de cannabis en invernaderos.

#### ***3.4.1 Control de la temperatura y la humedad en invernaderos de cannabis.***

El cultivo de cannabis en ambientes de invernadero demanda la implementación de un sistema de control climático que sea fiable y eficiente, con el fin de alcanzar una producción óptima de este.(Ballesteros, 2023)

El adecuado manejo de la temperatura y la humedad se establece como elementos fundamentales en el cultivo de cannabis en invernaderos.(DryGair Energies Ltd., n.d.-a) La temperatura ideal para dicho cultivo se sitúa en torno a los 25°C durante el día y los 20°C en la noche (DryGair Energies Ltd., n.d.-a).

Por otra parte, la humedad del entorno se constituye como un factor crítico, capaz de ejercer influencia tanto en la calidad de la cosecha como en el desarrollo de enfermedades. En este sentido, se considera que la humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 60% durante la fase vegetativa, y se reduce al intervalo del 40% al 50% durante la fase de floración(DryGair Energies Ltd., n.d.-b).

Para alcanzar los niveles de temperatura y humedad deseados, es importante hacer uso de sistemas de control climático, ya sea en invernaderos, salas de cultivo interior o tiendas de cultivo.(DryGair Energies Ltd., n.d.-a) Estos sistemas permiten una regulación cuidadosa de todos los aspectos ambientales, tratando no solo la temperatura y la humedad, sino también la iluminación(DryGair Energies Ltd., n.d.-a).

Adicionalmente, cabe mencionar que el control de la humedad en el sustrato adquiere una relevancia sustancial en el cultivo de cannabis en invernaderos.(Altamiranda Ramirez & Guio Garavito, 2021)

La gestión adecuada de la temperatura y la humedad constituyen factores de suma importancia en el cultivo de cannabis en invernaderos. La implementación de sistemas de control climático se considera como una necesidad infaltable para garantizar una producción óptima.

#### ***3.4.2 Manejo de la luz para optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas de cannabis.***

El desempeño de la producción de cannabis en ambientes de invernadero se ve influenciado por múltiples factores de significativa importancia, entre los cuales destacan la temperatura, la humedad del ambiente, la nutrición suministrada a las plantas, la genética de estas y la administración de la iluminación en el contexto del cultivo. (King, 2020)(Reich, n.d.)(Trancoso et al., 2022) De manera particular, el manejo de la luz adquiere un papel de significativa importancia en la optimización del crecimiento y desarrollo de las plantas de cannabis. Estas, en su proceso de fotosíntesis, requieren de manera esencial la presencia de luz para la generación de energía (King, 2020). A continuación, se presentan algunos elementos de carácter esencial vinculados al manejo de la iluminación, factores que inciden directamente en el desempeño de la producción de cannabis en invernaderos.

La calidad de la iluminación, representada por la longitud de onda y el espectro lumínico, ejerce una influencia notable en el crecimiento, desarrollo y producción de cannabinoides en las plantas de cannabis (Magagnini et al., 2018)(Arora & Yun, 2023)En este contexto, se ha evidenciado que las longitudes de onda asociadas a la luz roja y azul desempeñan un papel activo

en el estímulo del desarrollo de las plantas de cannabis, en contraste con la luz verde, que presenta un efecto limitado en estas. (Arora & Yun, 2023).

La intensidad de la luz, también adquiere un estatus de crucial relevancia en el crecimiento y desarrollo de las plantas de cannabis. Estas demandan una cierta cantidad de luz para su desarrollo y producción de cannabinoides (Magagnini et al., 2018). No obstante, se debe tener en cuenta que una intensidad luminosa excesiva podría generar un estrés en las plantas, con la consecuente disminución en la producción de cannabinoides (King, 2020).

La duración de la exposición lumínica, conocida como fotoperíodo, se establece como un elemento determinante en la producción de cannabinoides en las plantas de cannabis (Trancoso et al., 2022). Se ha podido constatar que aquellas plantas cultivadas bajo un fotoperíodo compuesto por 12 horas de luz seguidas de 12 horas de oscuridad presentan una producción de cannabinoides superior a las plantas sometidas a un régimen lumínico diferente (Trancoso et al., 2022).

El tipo de luminaria empleada en el proceso de cultivo de cannabis también ejerce una influencia de relevancia en el rendimiento del cultivo. Las luces de diodos emisores de luz (LED), en virtud de su eficiencia energética y la capacidad de proporcionar una luz adecuada al espectro requerido para el crecimiento de las plantas, han emergido como una elección popular en el ámbito del cultivo de cannabis (King, 2020).

Es de resaltar que la gestión de la iluminación representa un factor de suma trascendencia para la optimización del crecimiento y desarrollo de las plantas de cannabis dentro de los invernaderos. Los aspectos relacionados con la calidad, intensidad, duración y tipo de luz constituyen elementos fundamentales que inciden directamente en la producción de cannabinoides y, por lo tanto, en el rendimiento global del cultivo.

### ***3.4.3 Control de plagas y enfermedades en invernaderos de cannabis.***

La gestión de plagas y enfermedades en invernaderos destinados al cultivo de cannabis emerge como un tema de relevancia sustancial en la producción de cannabis de alta calidad. En el presente documento, se presenta un análisis de la situación actual en este campo:

Manejo Integrado de Plagas (MIP) para el Cannabis: El MIP se configura como una estrategia que emplea una variedad de técnicas para el control de plagas y enfermedades en los invernaderos de cannabis. La detección temprana de plagas se erige como un pilar fundamental en la administración de los invernaderos. Dado el alto valor del cultivo de cannabis, la presencia de plagas y enfermedades no es tolerable. El MIP aborda el control de plagas mediante enfoques que minimizan tanto el impacto ambiental como el económico (GROWERIQ, 2023).

Identificación y Tratamiento de Enfermedades y Plagas en el Cannabis: La detección temprana de enfermedades y plagas es esencial en la gestión de estas amenazas en los invernaderos de cannabis. Una clave de identificación de fácil acceso permite la pronta identificación de signos de enfermedades o plagas, proporcionando información valiosa sobre cómo abordar estos problemas.(Mehdi, 2023).

Deshumidificación en el Cultivo de Cannabis: El control de la humedad se presenta como un aspecto crítico en el cultivo de cannabis, especialmente en relación con las enfermedades vegetales. La deshumidificación se configura como un componente esencial en la producción de cannabis, con el propósito de prevenir la proliferación de enfermedades (DryGair, 2019).

Prácticas Óptimas de Gestión de Cuencas Hidrográficas: La adopción de prácticas óptimas de gestión de cuencas hidrográficas desempeña un papel crucial en la prevención de la contaminación del agua y la salvaguardia de los recursos hídricos en los invernaderos de cannabis. Estas prácticas incluyen la implementación de medidas higiénicas adecuadas, como la limpieza periódica de las instalaciones y el uso de indumentaria y equipo de protección personal (Edelman & Grytness, 2016).

Caracterización Fisiológica de las Plantas de Cannabis Medicinal en Distintas Etapas Fenológicas bajo Estrés Biótico: Este estudio se centra en el análisis de la fisiología de las plantas de cannabis medicinal y su interacción con factores bióticos. El objetivo es determinar variables fisiológicas indicativas de estrés en diferentes etapas fenológicas de las plantas de cannabis cultivadas en invernadero y en diversas condiciones fitosanitarias. (Rodríguez Yzquierdo et al., 2021)

La gestión de plagas y enfermedades en invernaderos de cannabis se manifiesta como una cuestión de importancia crítica en la producción de cannabis de alta calidad. El enfoque en el manejo integrado de plagas, la identificación temprana de enfermedades y plagas, la deshumidificación, las prácticas óptimas de gestión de cuencas hidrográficas y la caracterización fisiológica de la planta de cannabis representan áreas de investigación y prácticas fundamentales para mejorar el control de plagas y enfermedades en invernaderos dedicados a este cultivo.

### **3.5 Cannabis**

El cannabis es una planta que se utiliza para fines recreativos, medicinales e industriales (PNSD, n.d.). Se refiere a las hojas secas (National Institute on Drug Abuse (NIDA),

2022), flores, tallos y semillas de la planta Cannabis sativa o Cannabis indica (PNSD, n.d.)(MedlinePlus, 2022). Es una planta que contiene sustancias químicas activas (PNSD, n.d.), con efectos psicoactivos y terapéuticos, y que ha sido objeto de controversia debido a que su uso puede ser ilegal en algunos países.

A medida que avanza la investigación científica, se están reconociendo cada vez más los beneficios medicinales del cannabis, lo que ha llevado a la aprobación de su uso medicinal en varios países(Bolsawiki, 2023), incluyendo Colombia.

En cuanto al uso recreativo del cannabis en adultos en Colombia, es importante destacar que las leyes y regulaciones pueden variar y es necesario verificar la legislación actualizada al respecto. En el último congreso realizado en Colombia para la aprobación del uso recreativo del cannabis en adultos se ve la gran y más cercana posibilidad de la aprobación de esta (CNN, 2023).

Colombia es reconocido por su diversidad biológica, y el cannabis no es una excepción. Debido a su ubicación geográfica y condiciones climáticas favorables, Colombia cuenta con una gran variedad de especies de cannabis. Sin embargo, no hay un número exacto de especies identificadas en el país.

La temperatura es un factor crucial para el cultivo exitoso del cannabis. Cada variedad de cannabis tiene necesidades térmicas específicas que deben ser consideradas para maximizar su crecimiento y rendimiento. El estudio y análisis detallado de estos aspectos son fundamentales para lograr una producción de cannabis de alta calidad y competitiva en el mercado.

### ***3.5.1 Clasificación de las variedades de Cannabis en Colombia.***

En Colombia, se han identificado diversas especies de cannabis, destacando principalmente Cannabis sativa, Cannabis indica y Cannabis ruderalis como las más comunes en el país.

**3.5.1.1 Cannabis Sativa:** Se caracteriza por su notable altura y hojas delgadas, puede llegar a medir hasta 5 metros de altura o más(Wikipedia, 2023c). Esta especie de cannabis tiene un periodo de florecimiento que puede ir de 10 a 16 semanas(CannaConnection, 2020b). Se destaca por su elevado contenido de tetrahidrocannabinol (THC) y goza de popularidad, en especial, por su uso recreativo.

Es una planta que ha sido utilizada desde tiempos antiguos para la producción de fibras, aceite y con propósitos medicinales(Kopustinskiene et al., 2022). Esta planta produce cannabinoides, así como compuestos no cannabinoides. Sus dos principales compuestos activos del Cannabis sativa son el delta-9-tetrahidrocannabinol (THC), el cual posee propiedades psicoactivas, y el cannabidiol (CBD), que no presenta efectos psicoactivos(Kopustinskiene et al., 2022). Investigaciones han demostrado que estos compuestos presentan potentes propiedades antioxidantes y antiinflamatorias(Kopustinskiene et al., 2022). Se ha sugerido que el THC es responsable del efecto analgésico del Cannabis sativa(Kopustinskiene et al., 2022). La planta ha sido empleada en el tratamiento de diversas condiciones médicas como el reumatismo, la epilepsia, el asma, las quemaduras cutáneas, el dolor y los trastornos gastrointestinales (Odieka et al., 2022). La cultivación de Cannabis sativa se ha llevado a cabo en diversas partes del mundo a lo largo de los siglos, y la legalización del cannabis en algunos países ha generado un creciente interés en el cultivo a gran escala, esta planta es una planta foto dependiente.

**3.5.1.2 Cannabis Indica:** Es una variedad de menor estatura y de apariencia compacta, con hojas más anchas y con color más oscuro en comparación con la Sativa(CannaConnection, 2020a), esta planta puede alcanzar los 2 metros de altura y tiende a tener periodo de floración más acelerado en comparación con la anteriormente mencionada, teniendo un periodo de 6 – 8

semanas(CannaConnection, 2020b). Su contenido de cannabidiol (CBD) es considerablemente alto, siendo esta especie principalmente empleada con fines medicinales. Se considera que el Cannabis indica es más fácil de cultivar en comparación con la Sativa y puede soportar temperaturas más bajas en comparación con las otras especies(CannaConnection, 2020b).

**3.5.1.3 Cannabis Ruderalis:** Es una especie de cannabis que se caracteriza por tener un ciclo de vida corto y una menor cantidad de THC (el compuesto psicoactivo del cannabis) en comparación con otras especies de cannabis, pero a su vez cuenta con un alto contenido de CBD(El Planteo, 2023), se caracteriza por su resistencia y capacidad de florecer independientemente del fotoperíodo, tienen un ciclo de florecimiento de 10 semanas y comienza a florecer entre 21 y 30 días, se considera que son más resistentes a las plagas en comparación con la Sativa e Indica(Semillas de Marihuana, 2020).

El Cannabis ruderalis es utilizada para crear nuevas especies de híbridas y auto florecientes del cannabis(El Planteo, 2023).

Para maximizar el rendimiento, se aconseja a los cultivadores evitar el hacinamiento de las plantas y, en su lugar, plantarlas con una separación de 30-50cm. Esto permite que cada planta reciba suficiente luz y nutrientes, lo que se traduce en un mejor crecimiento y un mayor rendimiento.

### **3.6 Sistemas De Riego**

Un sistema de riego es un conjunto de dispositivos y métodos de riego diseñados para el suministro de agua en forma controlada y eficiente para cultivos y o plantaciones agrícolas, el cual tiene como objetivo principal solventar las necesidades hídricas de las plantas en cuestión,

asegurando el abastecimiento prolongado y adecuado de agua para su desarrollo y correcto crecimiento.

En la actualidad existen varios tipos de sistemas de riego enfocados en cultivos, ya sea para uso externo o uso en invernaderos, algunos tipos son los siguientes(Sembralia, 2020):

- **Sistema de riego por gravedad.**
- **Sistema de riego por goteo.**
- **Sistema de riego por tapete.**
- **Sistema de riego por aspersión.**
- **Sistemas de riego por microaspersión.**

### ***3.6.1 Sistema de riego por gravedad.***

El sistema de riego por goteo es un método que aprovecha la fuerza de la gravedad por las condiciones del terreno en el cual este ubicado el cultivo, este sistema en lugar de usar equipos como bombas o sistemas de presión, el líquido fluye desde áreas elevadas del terreno hasta las áreas bajas o con menor altitud, siguiendo la forma del terreno en este caso su pendiente(Pacheco Hernández et al., 2017). En este sistema, se tienen las siguientes ventajas:

- **Bajo costo**, ya que no requiere del uso de equipos de presión reduciendo costos de operación, mantenimiento e instalación.
- **Baja necesidad de mantenimiento**, debido a que es un sistema relativamente simple no requiere el mismo tipo de mantenimiento en comparación a otros sistemas de riego.
- **Energéticamente eficiente**, al no depender de la energía eléctrica, es un método más sostenible y económicamente viable en áreas donde no se cuenta con acceso a el flujo eléctrico.

**Figura 6.**

*Sistema de riego por gravedad.*



En resumen, es un sistema que aprovecha las condiciones favorables del terreno para hacer una distribución natural del agua hacia los cultivos y es una opción rentable desde la perspectiva económica.

### ***3.6.2 Sistema de riego por goteo.***

Es un método de riego que suministra agua directamente a las raíces de las plantas de forma controlada por medio de pequeños orificios o laberintos por el interior de tuberías lo cual provoca una pérdida de presión del agua debido a la fricción haciendo que a la salida el goteo sea controlada y su presión sea prácticamente cero (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, Molina, et al., 2019a). De este modo, se logra un dispositivo que necesita una baja presión de agua para su funcionamiento, dependiendo del tipo de cultivo que se tenga o de las necesidades de hidratación que requiera este se dan las medidas de paso a través del gotero, las medidas de los goteros pueden oscilar entre 1 hasta los 10 litros/hora (l/h). El sistema de riego por goteo consta de varios componentes:

- **Fuente de agua:**

Es el suministro principal de agua que se tiene para el funcionamiento del sistema de riego.

- **Tuberías principales:**

Transportan el agua desde la fuente de suministro hasta la zona de cultivo, generalmente poseen mayor diámetro y son distribuidas a lo largo de las filas del cultivo.

- **Válvula de control:**

Su uso se emplea en el control del flujo de agua que circula a través de la tubería, permitiendo abrir o cerrar el suministro de agua.

- **Tuberías secundarias:**

Se derivan de la tubería principal conduciendo el flujo del agua hacia las plantas individuales, estas tuberías poseen pequeños orificios o emisores colocados a intervalos regulares para la salida de agua.

- **Emisores o goteros:**

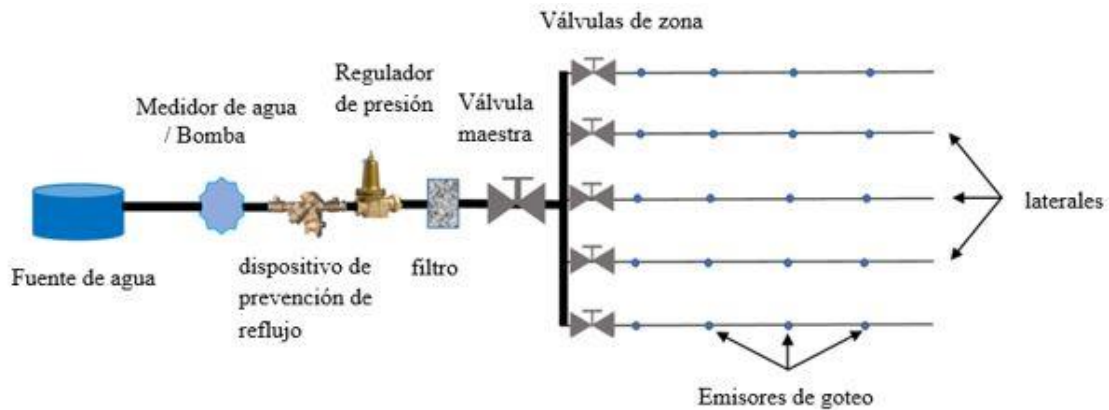
Regulan el flujo de agua en forma de gotas cerca de las raíces de las plantas.

- **Filtros:**

Su uso está enfocado en evitar la obstrucción de los emisores debido a partículas o sólidos presentes en el flujo de agua, pueden ser de varios tipos entre ellos tenemos, filtros de malla, filtros de disco, filtros de arena, entre otros.

### **Figura 7.**

*Esquema principal de riego por goteo*



### 3.6.3 Sistema de riego por tapete.

El sistema de riego por tapete consiste en disponer de una serie de láminas o tapetes permeables de material poroso, cerca de las plantas que se desean regar. La fabricación de los tapetes se hace de forma que permitan el paso del agua de manera uniforme, proporcionando una distribución eficiente del agua hacia las raíces de las plantas en cuestión (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, Molina, et al., 2019a).

Este tipo de riego por tapete ofrece ciertas ventajas, en las que podemos encontrar, distribución uniforme del agua, reducir la evaporación del agua de las plantas, evita las formaciones de charcos y pérdida del agua previniendo el crecimiento de malas hierbas, ya que solo se suministra agua a las áreas donde se encuentra la planta.

#### Figura 8.

*Sistema de riego por tapete*



### ***3.6.4 Sistema de riego por aspersión.***

El sistema de riego por aspersión consiste en rociar agua directamente sobre los cultivos usando rociadores o aspersores formando una lluvia artificial sobre el área de cultivo (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, Molina, et al., 2019a), permitiendo una distribución uniforme del agua, además los aspersores pueden cubrir grandes áreas de cultivo y se pueden ajustar para o adaptar a diferentes tipos de plantas y condiciones climáticas, se pueden realizar instalaciones tanto de equipos fijos como de sistemas mecanizados.

### **Figura 9.**

*Sistema de riego por aspersión*



### ***3.6.5 Sistemas de riego por microaspersión.***

El sistema de riego por microaspersión es una variante del sistema de riego por aspersión que utiliza aspersores especiales de manera que el riego se realiza de manera más directa, precisa y dirigida hacia el cultivo aplicando gotas muy pequeñas (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, Molina, et al., 2019a). Es recomendable para el cultivo de frutas, riego de viveros y algunas hortalizas en la figura 10 se logra visualizar un ejemplo de este sistema de riego.

#### **Figura 10.**

*Sistema de riego por microaspersión*



## **4. Sistema de riego automatizado**

En la actualidad, la electrónica se ha vuelto una herramienta fundamental en casi todas las áreas de la vida, y su uso resulta sumamente valioso para hacer realidad ideas y proyectos innovadores.

Una vez evidenciamos la necesidad de implementar un sistema de riego automatizado buscamos programas y herramientas que nos permitan llevar a cabo la automatización, con el

propósito de disminuir la intervención manual y, así mismo, reducir los errores humanos asociados. De esta manera, es posible obtener un sistema de control más preciso sobre los niveles de humedad que se presentarán en las plantas, con el fin de fomentar un crecimiento óptimo y mitigar la presencia de plagas y enfermedades en el entorno de cultivo, en este caso, un invernadero.

Entre las posibles soluciones consideradas para automatizar el sistema de riego, se destacan dos herramientas: el uso de un Arduino y la utilización de un Controlador Lógico Programable (PLC). Ambas alternativas poseen buen potencial para abordar eficazmente la automatización requerida en el riego de las plantas.

#### **4.1 Arduino**

En el año 2003, Hernando Barragán(Wikipedia, 2023a) propuso, como parte de su trabajo de tesis, la creación de un microcontrolador más asequible y económico en comparación con el utilizado en ese período por los estudiantes del Interaction Design Institute Ivrea (IDII) buscando de esta manera una solución para el acceso a herramientas electrónicas para los estudiantes. En esta tarea, contó con la colaboración de Massimo Banzi y Casey Reas, quienes poseían conocimientos en el ámbito de los lenguajes de programación.

Dos años después, un grupo liderado por Massimo Banzi comenzó a trabajar en forma conjunta en el proyecto ARDUINO(Wikipedia, 2023b) Su objetivo era crear una plataforma de código abierto destinada a estudiantes y personas interesadas en adquirir conocimientos básicos sobre electrónica y programación a un costo reducido. Actualmente Arduino es una plataforma de electrónica utilizada para la creación de objetos electrónicos interactivos, como robots o sistemas domóticos. Siguiendo los principios del software libre(Arduino.cl, 2010) (ARDUINO UNO, n.d.),

se presenta como una herramienta de programación completa y versátil que brinda numerosas oportunidades para el diseño y desarrollo de proyectos. Ofrece una infinidad de posibilidades que permite a cualquier persona interesada diseñar y desarrollar proyectos con el apoyo de una herramienta completa para la programación cumpliendo a su vez con su objetivo principal.

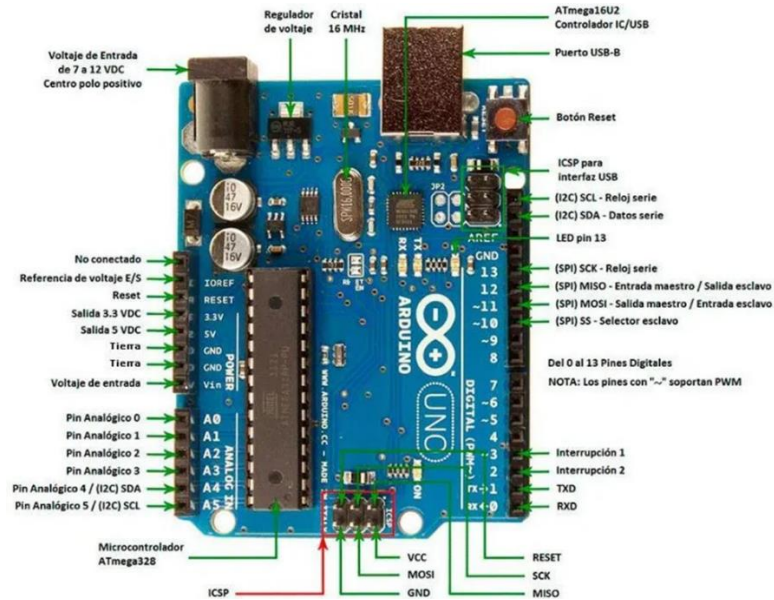
Su sencillez y evidente utilidad ha dotado a la plataforma Arduino de un amplio campo de aplicación en el sector educativo (Aprendiendo Arduino, 2018) y es especialmente útil para enseñar los principios básicos de la electrónica, la programación, y para poner en práctica ideas innovadoras que surgen de los estudiantes. Sus características lo convierten en una herramienta ideal para que los estudiantes puedan crear, diseñar, montar y programar pequeños proyectos de electrónica con la finalidad de potenciar su creatividad, imaginación e innovación, incluso para personas sin experiencia previa en electrónica o programación.

A pesar de que Arduino no implica un modelo específico de placa, si proporciona una base de hardware abierto para que cualquier fabricante pueda producir su propia placa y dar vida a proyectos electrónicos creativos y funcionales (Arduino.cl, 2010). Con la utilización de esta plataforma, es posible desarrollar diferentes tipos de microcomputadoras, desde simples relojes, hasta sistemas más complejos, incluyendo aplicaciones robóticas.

Arduino sirve para crear desde programaciones de alarmas hasta sistemas de accionamientos en domótica. Es una herramienta muy útil, ya que permite hacer realidad ideas que surjan en papel y enseña los principios básicos de la electrónica, Arduino brinda a las personas interesadas en el tema la oportunidad de diseñar, construir y programar proyectos electrónicos de pequeña escala (Codelearn.es, 2019).

**Figura 11.**

*Placa de Arduino UNO.*



Fuente: *Tecnología, Programación Y Robotica*

**Tabla 2.**

*Características técnicas Arduino UNO*

Tipo de Microcontrolador	ATmega328
Voltaje Operativo	5v
Voltaje de Entrada (Recomendado)	7 - 12 v
Pines de Entradas/Salidas Digital	14 ( De las cuales 6 son salidas PWM)
Pines de Entradas Análogas	6
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de Reloj	16 MH

Fuente: *Arduino Uno*(ARDUINO UNO, n.d.).

#### 4.2 PLC (Controlador Lógico Programable)

Un PLC (Programmable Logic Controller, por sus siglas en inglés), también conocido como controlador lógico programable, es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar la maquinaria y los procesos de fabricación(Enrique Delgado Martínez, 2015) .

Un PLC se encarga de controlar y supervisar diferentes procesos en una planta de fabricación o en una línea de producción. Está diseñado para recibir señales de entrada, procesar la información de acuerdo con un programa preestablecido y luego enviar señales de salida para controlar diversos dispositivos y maquinaria(Sensoricx, 2021).

El propósito principal de un PLC es controlar y monitorear sistemas automáticos y electromecánicos. Puede leer sensores y otros dispositivos de entrada para detectar condiciones como temperatura, presión, nivel o velocidad, y luego tomar decisiones lógicas basadas en ese flujo de información. Estas decisiones

Una de las ventajas de los PLC es su versatilidad y flexibilidad. Pueden adaptarse En resumen, un PLC es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar y supervisar procesos. Es una herramienta versátil que puede adaptarse a diferentes necesidades y contribuye a la eficiencia y productividad de los sistemas automáticos en el entorno de la fabricación (Revista Seguridad 360, 2023).

### **4.3 Bomba**

Una bomba es un dispositivo mecánico el cual es usado para la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, con el único propósito de generar un flujo de fluido generalmente liquido a alta presión para su transporte, al tener mayor energía se puede obtener mayor presión en el fluido, luego son directamente proporcionales.

Existen varios tipos de bombas entre las cuales tenemos (Iprecom, 2021):

- Bombas centrifugas
- Bombas periféricas
- Bombas de diafragma

- Bombas sumergibles

#### ***4.3.1 Bombas centrífugas***

Es un tipo de bomba hidráulica, usada en el transporte de líquidos la cual funciona mediante la generación de fuerzas centrífugas, transformando la energía mecánica en cinética o dicha de otro modo presión de fluido (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, Molina, et al., 2019b), esta fuerza centrífuga se logra gracias a un impulsor que gira a altas velocidades, creando zona de baja presión en el centro debido a la fuerza centrífuga, lo cual permite que a medida que el líquido ingresa y se acerca hacia el exterior este incrementa su presión y caudal

#### ***4.3.2 Bombas periféricas***

Las bombas periféricas son dispositivos altamente eficientes diseñados para diversas aplicaciones que requieren el suministro de agua. Su desempeño se destaca por su capacidad para generar una presión de hasta 55 metros columna de agua (mca) y un caudal de hasta 10 galones por minuto (gpm) (Barnes de Colombia S.A., 2019).

Estas bombas periféricas se caracterizan por su diseño y especificaciones técnicas. En primer lugar, pertenecen al tipo de bomba periférica, lo que significa que utilizan impulsores periféricos fabricados en bronce. Además, cuentan con un acoplamiento monobloque que asegura su estabilidad y funcionamiento eficiente. La succión de estas bombas es de 1 pulgada y la descarga también es de 1 pulgada (Barnes de Colombia S.A., 2019).

El motor de estas bombas es de tipo eléctrico y está diseñado para funcionar con alimentación monofásica. La potencia del motor varía según el modelo, desde 1/2 caballo de fuerza (hp) hasta 1,0 hp, lo que permite adaptarse a diferentes requerimientos de aplicación.

Las aplicaciones de estas bombas periféricas son variadas y abarcan diversas necesidades en el suministro de agua. Son ideales para el aprovisionamiento de aguas limpias, como en la llenado de tanques elevados, tanques y bebederos, y también para el llenado de tanques de tipo bajo-tanque alto. Además, se utilizan en la recirculación de agua en torres de enfriamiento y en la refrigeración de maquinaria y circuitos de recirculación. También se pueden emplear en sistemas de presión, donde se requiere mantener un flujo constante y una presión adecuada (Barnes de Colombia S.A., 2019).

Las bombas periféricas son equipos versátiles y eficientes que ofrecen un excelente desempeño en el suministro de agua. Su diseño y características técnicas, como su tipo de bomba, acoplamiento, impulsores de bronce, potencia del motor y aplicaciones variadas, las convierten en una opción confiable y completa para diversas necesidades de abastecimiento de agua (Predictiva21, n.d.).

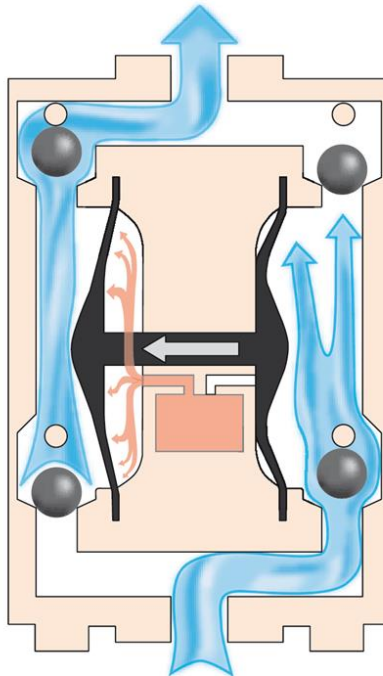
#### ***4.3.3 Bombas de diafragma***

La bomba de diafragma o de membrana es un tipo de bomba la cual se usa principalmente para el movimiento de fluidos mediante la aplicación de cierta presión en un diafragma flexible (Yepes Piqueras & e-libro, 2016), la bomba consta de dos cámaras de bombeo y contiene un diafragma flexible echo de goma o materiales elastómeros. La bomba funciona mediante ciclos, el primero de succión y el segundo de descarga, durante la fase del primero o de succión, el diafragma es movido hacia adentro, lo cual crea un vacío en la sección de entrada permitiendo que entre el líquido hacia la cámara de bombeo; en la fase de descarga, el diafragma se mueve en hacia afuera creando una presión en la cámara de salida y empujando el líquido hacia la tubería de descarga.

La bomba de diafragma tiene como ventaja manejar una diversa variedad de líquidos, incluidos líquidos con partículas sólidas o de alta viscosidad

**Figura 12.**

*Bomba de diafragma*



*Fuente: Tomada de Chemical Engineer & Chemical Process Industries(ChemEnggHelp, 2023).*

#### **4.3.4 Bombas semi sumergibles**

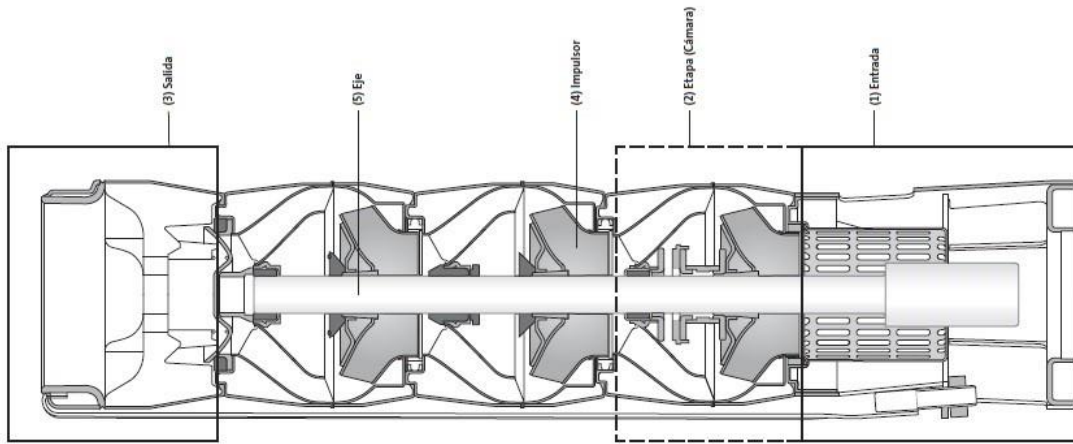
La bomba semi sumergible está diseñada para funcionar parcialmente sumergida en el líquido que se quiere bombear, la parte de la bomba que se encuentra sumergible contiene el motor y la parte hidráulica de la bomba, por otro lado, la parte de la bomba que no se encuentra sumergida, la cual está expuesta contiene los controles y el motor eléctrico.

Este tipo de bombas están diseñadas para operar en pozos profundos de hasta 350 metros(Yepes Piqueras & e-libro, 2016) y secciones de 4 a 14 pulgadas, impulsando caudales desde 3 litros hasta 80 litros de acuerdo al diámetro de la tubería,

La gran ventaja que tienen este tipo de bombas semi sumergibles es que ofrecen una combinación entre bombas sumergibles y de superficie, lo cual proporciona un fácil acceso para mantenimiento y reparaciones en comparación con las bombas sumergibles

### Figura 13.

#### *Bomba Semi Sumergible*



#### 4.3.5 *Electroválvulas*

Las electroválvulas son dispositivos electromecánicos usados en el control de flujo de líquidos o gases por medio de una tubería o sistemas de tuberías, de este modo se pueden emplear con agua, gas, aire, vapor, gas combustible, entre otros (Fabricio, Casa, Omar, Achachi, Cristian, & Molina, 2019).

Las electroválvulas pueden ser fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC, la electroválvula funciona de manera remota por medio de un solenoide el cual genera una corriente eléctrica, provocando por acción de la corriente que se cree un campo magnético, el cual mueve el núcleo permitiendo que el fluido fluya por medio de la válvula, al tiempo que la corriente deja de fluir el solenoide se desenergiza y la válvula se cierra, deteniendo el flujo del gas o líquido que pase por este elemento.

## 5. Metodología y resultados

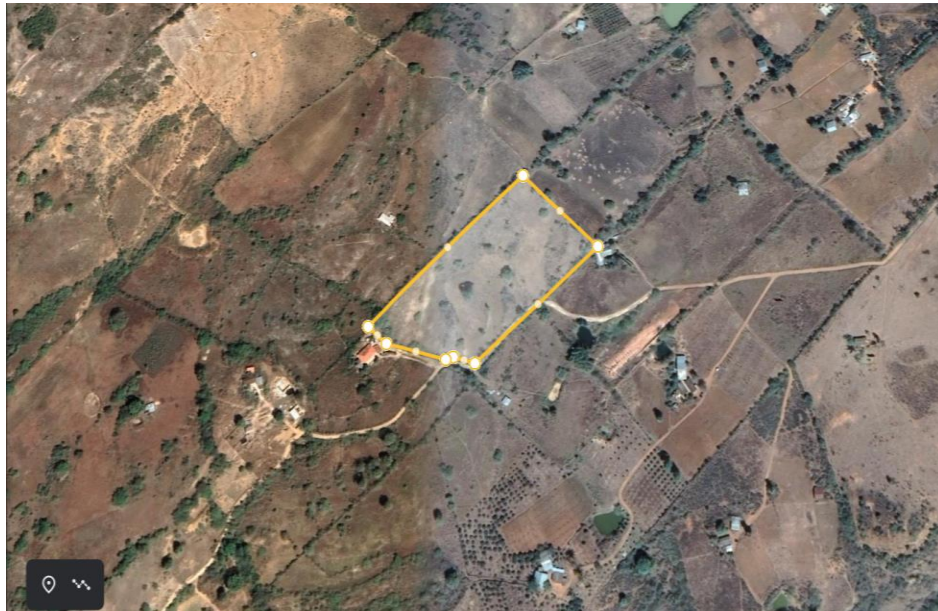
Para realizar de manera correcta la selección de los equipos y el material necesario para el desarrollo tanto del sistema de riego como el de iluminación, se debe tener en cuenta las características que en nuestro caso específico ofrece el terreno en el cual se ubicara el cultivo de cannabis y características climatológicas y de la zona para la disposición y posterior selección de luminarias y elementos principales que componen los dos sistemas a instalar.

### 5.1. Ubicación del proyecto

La ubicación determinada para el proyecto es una finca, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Los Santos, al nororiente de Colombia en el departamento de Santander  $6^{\circ}44'43''$  N, con una longitud de  $73^{\circ}07'20''$  O. La siguiente figura muestra una toma aérea del lugar. El área cuenta con una extensión aproximada de  $25.063.31 \text{ m}^2$  y un perímetro de  $664.31\text{m}$ , en la figura 14 se visualiza la ubicación del proyecto en vista aérea.

#### **Figura 14.**

*Vista aérea de la ubicación de los invernaderos.*



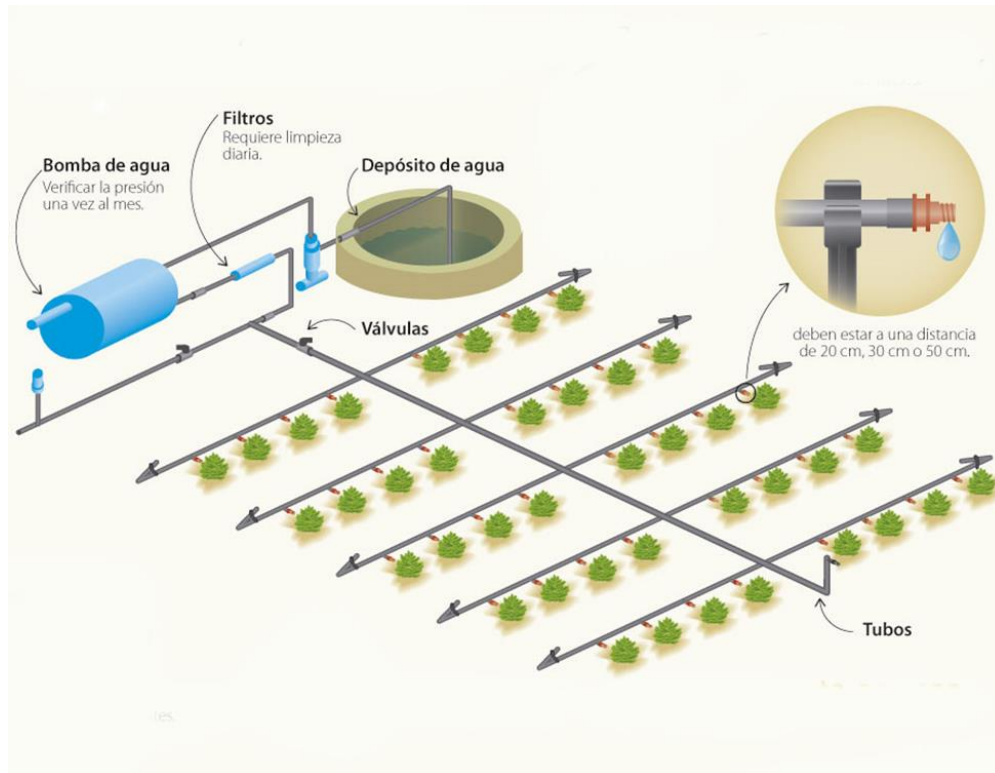
*Fuente: Tomado de Google Earth*

## 5.2. Sistema de riego

Debido a las características del terreno y su geografía hemos seleccionado la combinación entre el sistema de riego por gravedad y el sistema de riego por goteo, ya que la zona del cultivo presenta un desnivel considerable existente entre la fuente del agua y la ubicación específica de los invernaderos, los cuales están a una menor altura en relación con la fuente de agua, de este modo el sistema de riego tendrá una alta eficiencia energética ya que solo tendrá grandes demandas de flujo energético al momento del llenado del tanque principal por acción de la bomba y también tendrá alta eficiencia en el consumo de agua ya que el suministro de agua se realizara de manera más precisa y directa hacia el cultivo.

### **Figura 15.**

*Diagrama de elementos del sistema de riego*



El sistema de riego automatizado está compuesto por un depósito de agua principal o reservorio, una bomba de agua la cual suministra el agua hacia el depósito de agua principal, sensores de control de nivel de agua dispuestos en el depósito principal, una red de tuberías alimentadas desde un tubo principal y una electroválvula para cortar el paso del agua en caso de fallas aguas abajo o mantenimientos de equipos.

el funcionamiento del sistema de riego será automatizado, ya que todo será controlado por medio de un Arduino, el cual tendrá la función de la activación de la motobomba de ser requerido y la electroválvula para hacer la apertura y cierre de riego con horarios preestablecidos.

### 5.2.1. Depósito de agua principal

El depósito del agua con el cual vamos a trabajar tiene una capacidad de 6473 litros, esta hecha en material de plástico, la selección de este se hizo de acuerdo a el factor económico ya que

es de un bajo costo y es de instalación sencilla, requiere un vaciado y limpieza periódicamente cada 2 meses para la prevención de hongos que se puedan alojar en su interior, el cual consiste en enjuagar el depósito únicamente con agua más limpia, sin el uso de detergentes, desinfectantes o jabones añadidos

Las dimensiones de la piscina se establecerán en 76 cm de altura, 366 cm de largo, 366 cm de ancho, teniendo como consiguiente 366 cm de diámetro.

### **Figura 16.**

*Depósito de agua*



*Fuente: Tomada de Piscinas Bestway*

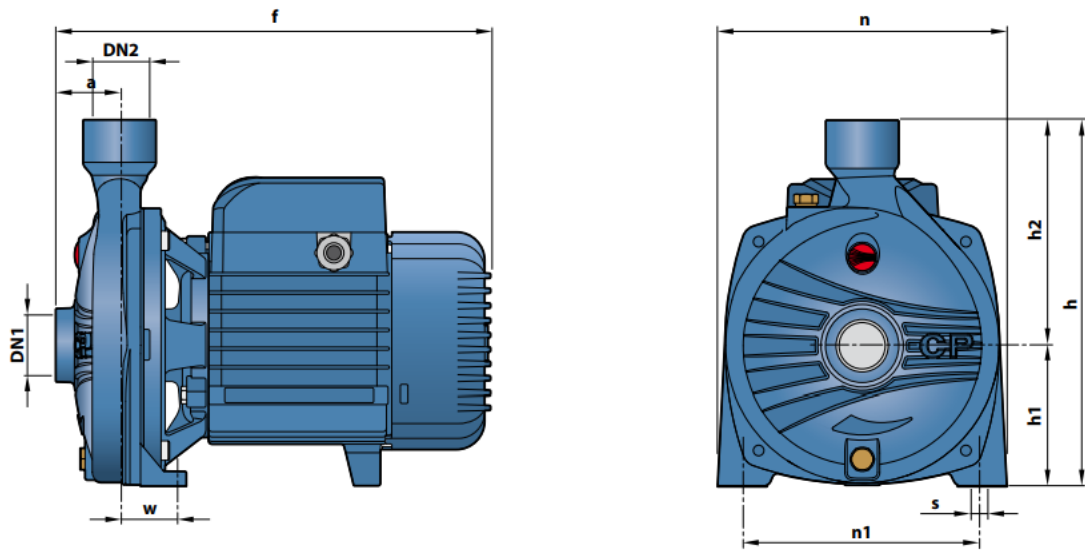
#### **5.2.2 Selección bomba de agua**

. Es la encargada de suministrar agua a el depósito, esta bomba se acciona mediante la señal que envía el Arduino cuando detecta un nivel bajo en el depósito del agua, dependiendo de la potencia de la bomba podemos tener valores nominales de funcionamiento para circuitos monofásicos de 230V o trifásico de 400V, en la selección también se tienen en cuenta variables como la altura de aspiración.

Se selecciona una bomba de 1hp de fuerza de marca Pedrollo monofásica de modelo CPM 620 conectada a una tensión de 220 V con consumo de 6 A.

**Figura 17.**

*Bomba de agua*



*Fuente: Tomada de BOMBAS PEDROLLO*

### 5.2.3 Selección sensor de nivel

Funciona en dos secciones controlando un llenado sin desborde de agua y un nivel bajo de agua sin dejar un vacío total en el depósito. Las características del sensor seleccionado para la medición de agua en el depósito principal de agua son las siguientes:

- Voltaje de operación: 0-100 VCD o 0 a 220 VCA
- Corriente de operación 0.5 A
- Temperatura de funcionamiento: -30 a 125 ° C

- Carga máxima: 10 W
- Longitud del cable: 40 cm.
- Dimensiones: 9 x 3 ø 26 cm.
- Peso: 30 g

**Figura 18.**

*Sensor abierto*



**Figura 19**

*Sensor Cerrado*



#### **5.2.4 Selección de electroválvula**

Se hizo la selección de una electroválvula de ½ pulgada con las siguientes especificaciones técnicas:

Modelo: 2W-250-25; Tipo: dos posiciones, dos vías

- Fluido de uso: aire, agua, vapor; aceite
- Diámetro del tubo de unión: 1"
- Voltaje: 110VAC
- Temperatura de funcionamiento: -5°C A 90°C
- Sellado: Plástico NBR
- Presión máxima: 15 Bar
- Rango de voltaje  $\pm 10\%$
- corriente: 1<sup>a</sup>

**Figura 20.**

*Electroválvula cerrada.*



*Fuente: Tomada de Electronilab*

### **5.3 Sistema de automatización**

En la sección a continuación se presentan los módulos utilizados para la automatización con Arduino.

### 5.3.1 Modulo relé

Para la automatización con Arduino se implementará el uso de varios tipos de relés debido a la tensión y corriente en la cual funciona Arduino, las cuales son de bajos valores, el relé es un dispositivo electromagnético que hace las veces de interruptor el cual es controlado en este caso por el Arduino y por medio de una bobina y un electroimán permite la apertura o el paso de flujo de corriente a través de uno o varios contactos para el control de circuitos independientes.

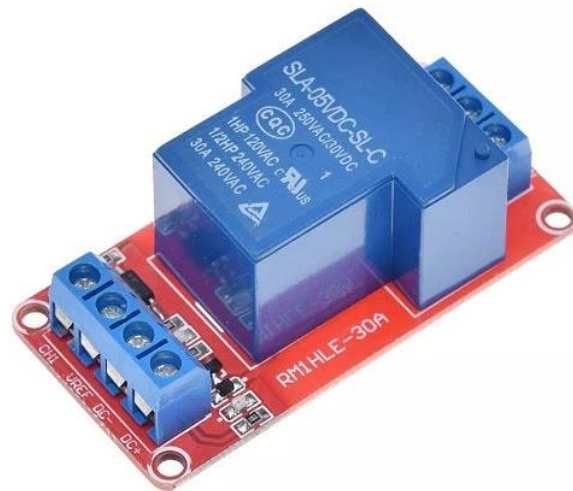
Para nuestro sistema implementaremos el uso de dos tipos de relé los cuales se seleccionarán de acuerdo con el nivel de potencia que maneje dicho circuito a controlar o a censar.

#### 5.3.1.1 Modulo relé de un canal 5V de alta potencia 30 A

Se observa en las figuras a continuación los módulos relé seleccionados.

#### Figura 21

*Relé de 30 A*

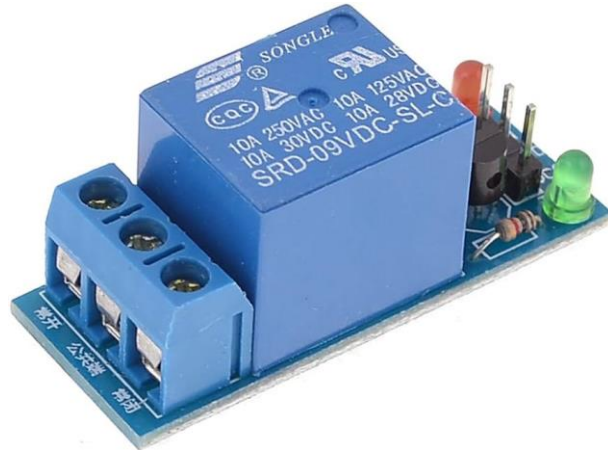


#### 5.3.1.2 Modulo relé de un canal 5V de baja potencia 10 A

Segundo módulo seleccionado en la figura 22

**Figura 22**

*Relé de 10 A*



## 5.4 Instalación eléctrica

A continuación, se presentan los componentes utilizados para la instalación eléctrica del cultivo en invernadero junto con las pruebas que se realizan para análisis.

### 5.4.1 Sistema de iluminación

Con el fin de aportar la intensidad de luz y la intensidad necesaria para las plantas en los invernaderos, se diseña el sistema de iluminación con una serie de luminarias distribuidas de manera uniforme al interior de los invernaderos.

Las luminarias se escogen garantizando para las plantas de cannabis un flujo lumínico de 4.000 lúmenes sobre la superficie dentro de los invernaderos, teniendo este parámetro se inicia el diseño del sistema de luz artificial necesario para el crecimiento óptimo de las plantas.

**5.4.1.1 Tipo de luminaria:** De acuerdo con el nivel de flujo lumínico mínimo requerido para el cultivo de cannabis y al diseño del invernadero y la disposición de las plantas, se requieren

40 luminarias por invernadero para un total de 80 luminarias las cuales tienen las siguientes características:

- **Marca: SYLVANIA**
- **Modelo: P23587**
- **Luminancia: 4800 lm**
- **Potencia eléctrica: 60 W**
- **Tensión de funcionamiento: 100-240V 50/60 Hz**
- **Factor de potencia: 0.9**
- **Corriente de entrada: 0.5A a 120V**
- **Eficacia: 80 Lm/W**
- **Temperatura de operación (Ta): 20°C – 40°**

**Figura 23.**

*Luminaria seleccionada para invernaderos.*



*Fuente: Tomada de Ferretería Castilla Sagarra*

- **Altura De Luminaria**

En la obra la distancia es de 2m de la luminaria al suelo

- **Distancia Entre Luminarias**

La distancia entre luminarias dentro del invernadero es de 3 m en el eje x y de 2.5 en el eje y.

**5.4.1.2 Socket:** Es el dispositivo por medio del cual se sostiene mecánicamente la luminaria, proporcionando conexión eléctrica a la base de la luminaria, debido a las condiciones de humedad, condiciones mecánicas de resistencia y desgaste, se tomó la decisión de instalar sockets encauchetados para uso externo como se ilustra en la siguiente figura.

**Figura 24.**

*Socket*

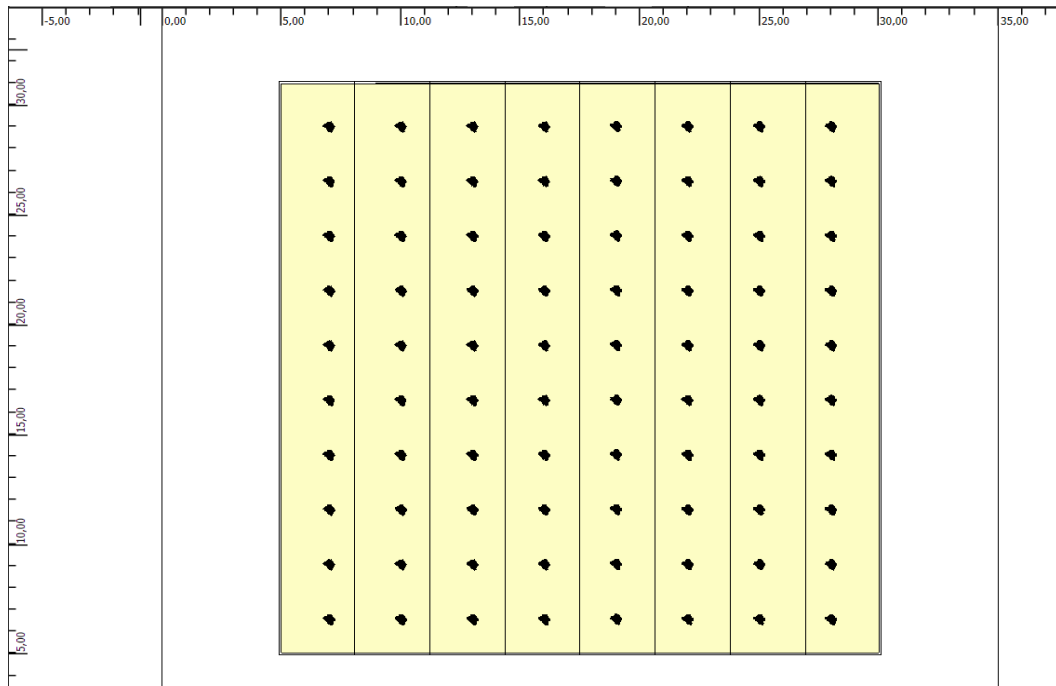


**5.4.1.3 DIALux Cálculos de iluminación.** para los cálculos de iluminación se recurre a la herramienta DIALux,(GmbH Lüdenscheid, 1989) teniendo en cuenta las características que se requieren para la producción efectiva del cultivo y el tipo de luminaria. Para el desarrollo de los cálculos de iluminación dentro del invernadero se tiene en cuenta la cantidad de luz ultravioleta que requieren las plantas, por lo cual se hace una distribución uniforme dentro del invernadero en el cual se disponen las plantas con un espacio de 2.5 metros a los lados en el eje x, así mismo una

distancia de 3 metros a lo largo en el eje y, para un total de 80 plantas de cannabis dejando una distribución como se muestra en la figura 25.

**Figura 25.**

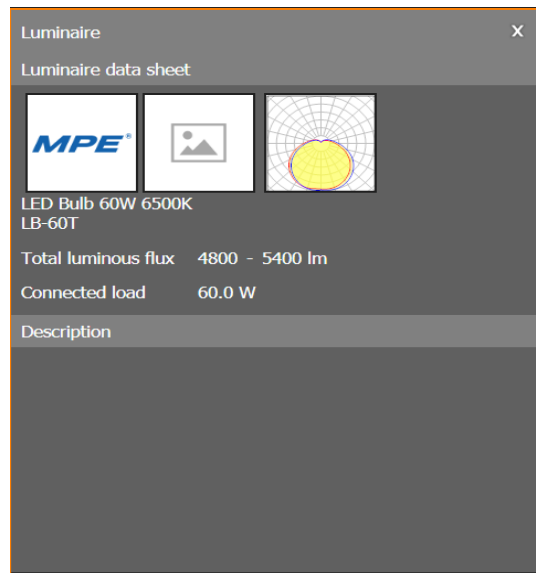
*Distribución de las plantas en el invernadero.*



Continuando con el siguiente paso se realiza la selección de las luminarias que se van a instalar en el invernadero de acuerdo con las características que se requieren, como luxes, lúmenes entre otros

**Figura 26.**

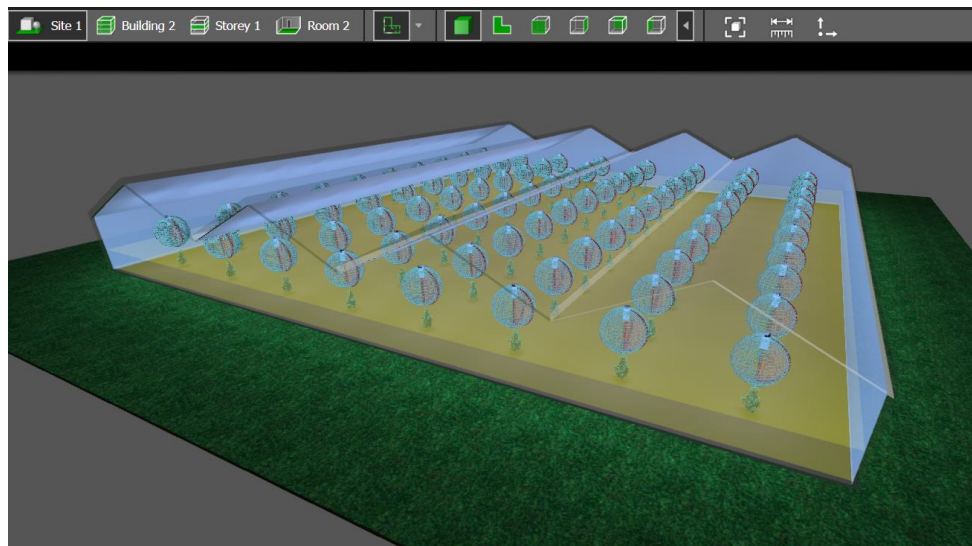
*Selección de luminaria.*



Se realiza el análisis del sistema, obteniendo los resultados de iluminación para la distribución que se selecciona, esto se ha representado en una vista 3D de la iluminación efectiva de las luminarias como se presenta en la siguiente figura 27

**Figura 27.**

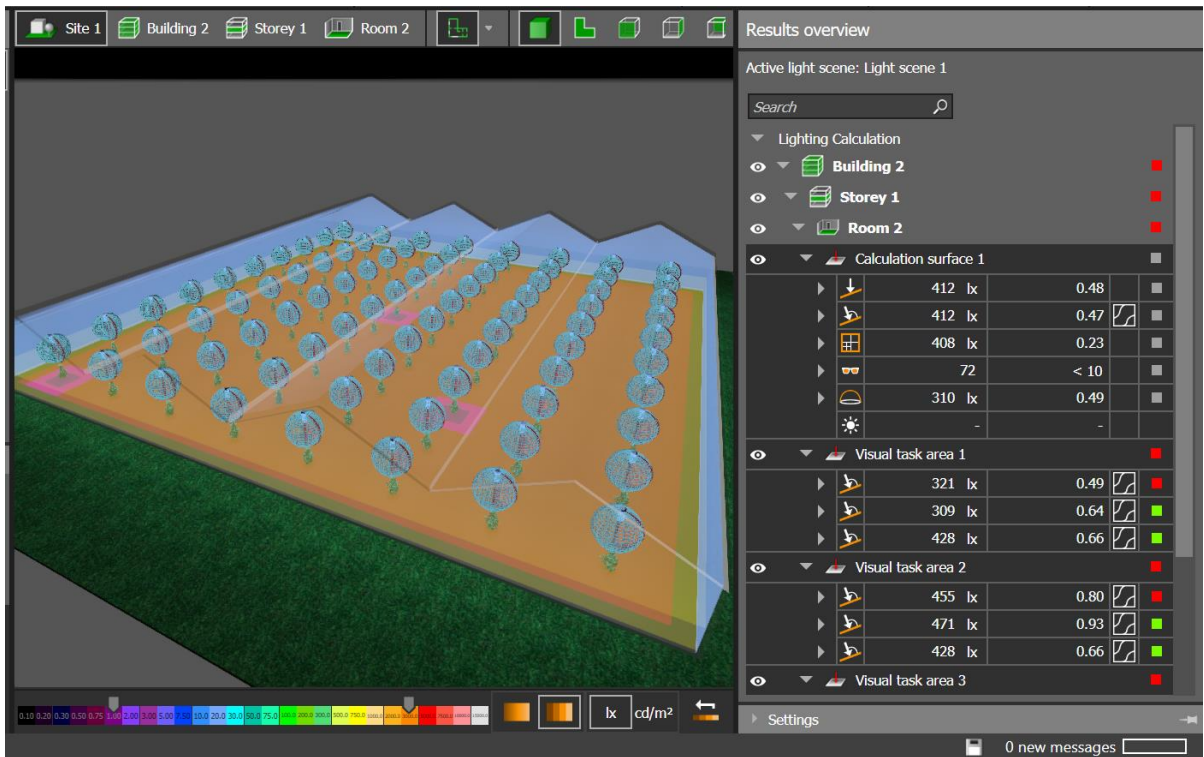
*Iluminación efectiva en el invernadero.*



en la figura 28 se puede observar la distribución lumínica que tendrá dispuesta la instalación de las luminarias dentro del invernadero garantizando las condiciones de luminosidad requeridas por el cultivo para su correcto desarrollo.

**Figura 28.**

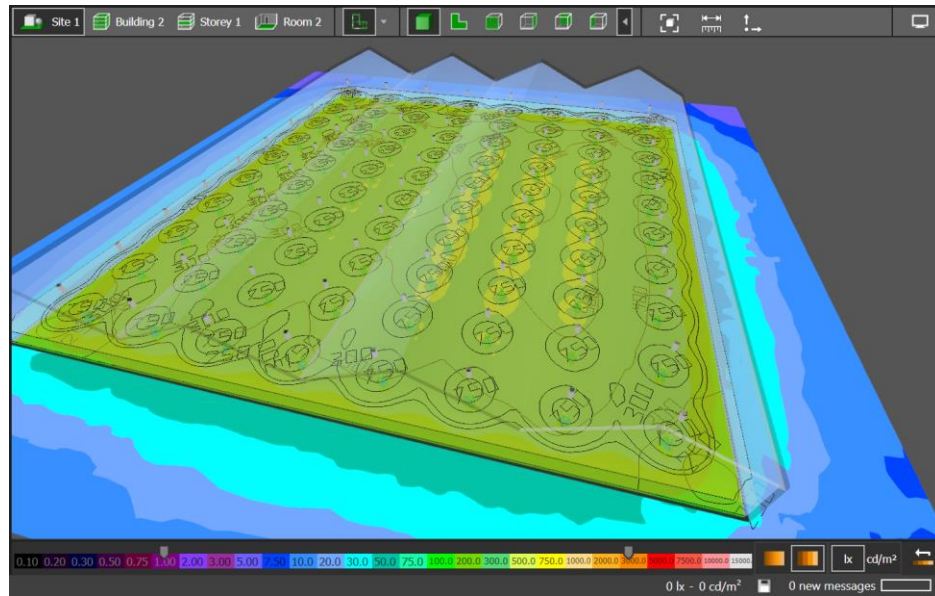
*Distribución Lumínica.*



En la figura 28, se puede observar la distribución lumínica que lleva la instalación de las luminarias en el invernadero, de modo que la planta tenga un correcto desarrollo.

**Figura 29.**

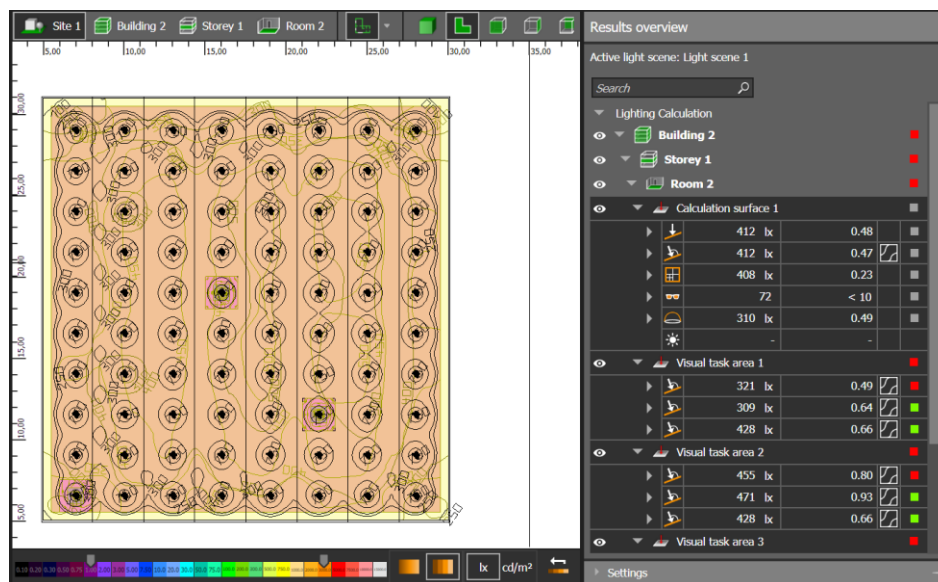
*Zonas de luxes en el invernadero.*



Continuando con los cálculos en DIALux,(GmbH Lüdenscheid, 1989) en la figura 30 se puede evidenciar los cálculos de luxes desde la planta, continuando con el contorno de esta y tomando finalmente el total de la superficie del invernadero. Luego se cumplen los requerimientos de luxes para el cultivo de cannabis en el invernadero.

**Figura 30.**

*Cálculos de Luxes.*



**5.4.1.4 Regulación de tensión** La regulación de tensión es necesaria según las Normas Técnicas de ESSA Grupo EPM para garantizar un suministro de energía eléctrica estable y seguro(ESSA Grupo epm, n.d.). La regulación de tensión permite mantener la tensión en un rango adecuado para el correcto funcionamiento de las luminarias y del motor, evitando fluctuaciones que puedan afectar su vida útil y su rendimiento. Además, la regulación de tensión contribuye a reducir las pérdidas de energía en el sistema eléctrico, lo que se traduce en un uso más eficiente de la energía eléctrica y una disminución en los costos de operación. Las Normas Técnicas de ESSA Grupo EPM establecen los parámetros de diseño y las características del servicio, incluyendo los niveles de tensión, los porcentajes de regulación de tensión y las pérdidas máximas de energía y potencia, entre otros aspectos.(Grupo epm, 2013).

**Tabla 3.**

*Porcentajes de regulación de tensión*

DESCRIPCIÓN	%
Red de distribución, B.T., Zona urbana	5
Red de distribución, B.T., Zona rural	7
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución) para cargas concentradas o multiusuarios desde bornes del transformador	3
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución) desde redes de la Empresa	2
Circuito ramal	2
Alumbrado público	4

*Fuente: ESSA Grupo epm*

**Tabla 4.**

*Porcentajes de regulación máxima permitida en las redes de distribución rural*

*Regulación de tensión luminarias*

DESCRIPCIÓN	%
Red de media tensión	3
Red de baja tensión	3
Acometida desde bornes del transformador (o desde la red de distribución) hasta el tablero de medida	3
Alimentador desde el tablero de medida hasta el tablero de distribución	2
Circuito ramal interno	2

Fuente: ESSA Grupo epm.

**5.4.1.4.1 Regulación de tensión para luminarias** Se realiza la regulación de tensión basándose en la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) en el capítulo 9 con la tabla 9 que trata de resistencia y reactancia de c.a. de cables trifásicos para 600 V a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores sencillos en tubo Conduit. (Colombiano et al., 1998)

*R= Resistencia*

*x<sub>L</sub>=Reactancia*

*L=Longitud del tramo en metros*

*i=Corriente del tramo*

*Cos(∅)=Factor de potencia*

- **Cálculo de la Caída de tensión.**

$$\Delta_V = 2 * I * L(R * \cos(\emptyset) + x_L * \sin(\emptyset)) \quad (\text{Colombiano et al., 1998})$$

Cómo se menciona anteriormente se basa en la tabla 9 de la NTC 2050, se obtiene el valor de la reactancia y resistencia para el cable calibre 10 AWG y así obtener finalmente el valor de la regulación de tensión con las fórmulas que se proporcionan en esta misma sección (Colombiano et al., 1998) .

$$I = 12.12 \text{ (A)}$$

$$L = 70 (m)$$

$$R = 3.9 (\Omega)$$

$$x_L = 3.9 \left( \frac{\Omega}{Km} \right)$$

$$\text{Sen}(\Theta) = 0.44$$

$$\text{Cos}(\Theta) = 0.9$$

Se reemplazan datos en la fórmula para hallar el valor de la caída de tensión

$$\Delta_V = 2 * (12.12) * \left( \frac{70}{1000} \right) ((3.9) * (0.9) + (0.164) * (0.4358))$$

$$\Delta_V = 6.077$$

$$V_{\%} = \frac{\Delta_V}{V_{Nom}} * 100\%$$

$$V_{\%} = \frac{6.077}{220} * 100\%$$

$$V_{\%} = 2.762 \% < 3\%$$

La regulación de tensión de las luminarias debe ser menor al 3% es decir que la regulación de tensión obtenida en los cálculos anteriormente realizados cumple con los requisitos.

**5.4.1.4.2 Regulación de tensión para el motor** Utilizando las fórmulas y datos respectivos para el cálculo de regulación del motor se procede a reemplazar datos y hacer el cálculo necesario.

$$\Delta_V = 2 * I * L(R * \cos(\Phi) + x_L * \sin(\Phi)) \quad (\text{Colombiano et al., 1998})$$

$$I = 7.5 (A)$$

$$L = 80 (m)$$

$$R = 6.6 (\Omega)$$

$$x_L = 0.177 \left( \frac{\Omega}{Km} \right)$$

- **Cálculo de caída de tensión del motor**

$$\Delta_V = 2 * (7.5) * \left( \frac{80}{1000} \right) ((6.6) * (0.56) + (0.177) * (0.828))$$

$$\Delta_V = 4.611$$

$$V_{\%} = \frac{\Delta_V}{V_{Nom}} * 100\%$$

$$V_{\%} = \frac{4.611}{220} * 100\%$$

$$V_{\%} = 2.095 \% < 3\%$$

El cálculo de regulación de tensión nos da menor al 3%, lo que indica ser un porcentaje aceptable

#### **5.4.2 Demanda eléctrica del sistema de iluminación y riego automatizado**

Para suministrar la demanda eléctrica del proyecto de acuerdo con la carga requerida de los sistemas de iluminación y riego en el invernadero, se llevar a cabo el siguiente dimensionamiento con respecto a el tiempo de operación estimado, de acuerdo a número de luminarias, bomba de agua y demás elementos requeridos para el funcionamiento del invernadero, como se muestra en la tabla a continuación.

#### **Tabla 5.**

*Cuadro de carga eléctrica del proyecto.*

Tipo	Cantidad	Potencia Mecánica (hp)/un	Potencia Eléctrica (W)/un	Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo de operación (h)	Total Energía (Wh)	Total, Energía factor de seguridad del 1.2
Luminarias	80		60	220	22	7	33600	40320
Motor	1	1	745,7	220	4.2	2	1491,4	1789,68
Sensores	2		10	110	0,5	0,05	1	1,2
Electroválvula	1		2	110	1	0,05	0,1	0,12

Siguiendo con los cálculos de demanda del proyecto, se procederá a calcular las variables a tener en cuenta para realizar el dimensionamiento de los componentes necesarios para los sistemas de iluminación y riego con respecto a la demanda eléctrica.

En la siguiente tabla se dará a conocer el cálculo de potencias (EcuRed, n.d.):

- la potencia eléctrica.  $P_e = V * I * FP$
- potencia aparente (S).  $S = P_e/FP$
- potencia aparente total ( $S_T$ ).  $PT = N * P_e * FP$
- potencia activa total ( $P_T$ ).  $ST = Pt/ FP$
- de acuerdo con la ecuación  $P_e = V * I * Fp$ .
- Corriente eléctrica total en fase.  $I = P / \sqrt{3} * U * \cos\varphi$

**Tabla 6.**

*Potencias de entrada y corrientes consumidas*

Tipo	Tensión (V)	Corriente (A)	Factor de Potencia (F.P)	Potencia de entrada (W)	Potencia eléctrica (VA)	Potencia activo total (W)	Potencia aparente total (VA)	Corriente total (A)
Luminarias	220	0.28	0.9	55.44	61.6	3991.68	4435.2	20.16
Motor	220	6	0.56	739.2	1320	413.952	739.2	3.36
Sensores	110	0.5	0.9	49.5	55	89.1	99	0.9
Electroválvula	110	1	0.8	88	110	70.4	88	0.8

### 5.4.3 Protecciones eléctricas

A continuación, se identifica la selección para las protecciones requeridas en el motor.

**5.4.3.1 Selección de protecciones para la bomba.** Para los cálculos de protección termomagnética es necesario realizarlo teniendo en cuenta la máxima corriente o corriente de plena carga ( $I_{pc}$ ) la cual va a circular a través del conductor, posteriormente a ese valor de  $I_{pc}$

Según la NTC 2050 la protección debe ser 2.5 veces mayor que la corriente nominal del motor, teniendo en cuenta que estos son datos que nos proporciona la placa del motor luego siguiendo esta constante y tomando en consideración la constante de corriente de arranque situada en la placa del motor Pedrollo de  $I_p=4$ , tomamos como corriente de arranque 24 A.

Tomando en cuenta la corriente de arranque del motor como 24 A, se seleccionan las siguientes protecciones (Pedrollo, 1983)

#### Interruptor electromagnético

Para el dimensionamiento del interruptor electromagnético se realiza en base a la siguiente ecuación  $I_T = I_N * 1.2$ , en donde  $I_T$  es la corriente del interruptor e  $I_N$  es la corriente nominal del motor, luego  $I_T = I_N * 1.2 = 3 * 1.2 = 3.6$  A

Escogemos una protección de 6 Amperios.

### Figura 31

*Interruptor electromagnético*



**5.4.3.2 Guarda motores o contactor** La selección del contactor se hace tomando en cuenta que su corriente de operación debe ser mayor a la corriente nominal del motor, en base a eso se selecciona un contactor para 6 A

**Figura 32**

*Contactor para motobomba*



**5.4.3.3 Relé térmico** Para la selección del relé térmico se basa en la corriente nominal del motor la cual es de 3 A, luego con un relé del mismo valor de la corriente es suficiente.

**Figura 33**

*Relé térmico para motor*



**5.4.3.4 Puesta a tierra** Para la protección de la motobomba principalmente y demás equipos que componen la instalación eléctrica tanto de iluminación como de riego, ya que el sistema de puesta a tierra es un dispositivo de seguridad, el cual es el encargado de conducir eventuales desvíos de corriente a tierra, ya sea por sobrecargas en el sistema o fallas presentes en los elementos que componen la instalación eléctrica que se desea proteger.

Con base en lo mencionado anteriormente se efectúa la instalación de una puesta a tierra conformada por una varilla de 5 metros de cobre como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 34**

*Varilla de puesta a tierra*



**5.4.4 Conductores eléctricos**

Los conductores eléctricos son los elementos que permiten, facilitan o por medio de los cuales se da el paso a el flujo eléctrico, se fabrican de materiales con altos valores de conductividad los cuales generalmente están diseñados en su gran mayoría de cobre en su centro y polímeros de aislamiento en su recubrimiento, la cual hace la función de aislante permitiendo un nivel de seguridad adecuado para su manipulación e instalación, la siguiente tabla 6 representa el tipo de conductor usado en cada elemento de la instalación eléctrica, su capacidad nominal y su porcentaje usado.

**Tabla 7**

*Conductores seleccionados.*

ELEMENTO	NUMERO DE CABLE AWG	CAPACIDAD NOMINAL EN AMPERIOS	VALOR DE CORRIENTE EN AMPERIOS	PORCENTAJE DE CAPACIDAD USADO
LUMINARIAS	10	40	13	32.5
MOTOR	12	30	6	20
SENSOR	18	10	0,5	5
ELECTROVALVULA	18	10	1	10

**6. presupuesto y materiales para la elaboración de la instalación eléctrica.**

Conforme a la especificación de los materiales previamente seleccionados y considerando sus respectivas propiedades operativas, se procede a elaborar el presupuesto de materiales correspondiente al sistema de iluminación y riego. Este cálculo se basa en los valores de mercado identificados y debe tenerse en cuenta que dichos precios estuvieron vigentes en las fechas en que se llevan a cabo la actualización de estos, se encuentra adjunta tabla de presupuesto en recursos humanos y finalmente tabla con presupuesto total.

**Tabla 8.**

*Presupuesto y materiales para la elaboración de la instalación eléctrica.*

MATERIALES	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD EN METROS/UN	PRECIO TOTAL
CABLE CALIBRE 10 ENCAUCHETADO PARA SISTEMA DE ILUMINACION	\$ 8,700	611	\$ 5,315,700.00
CABLE CALIBRE 12 ENCAUCHETADO PARA LA BOMBA DE AGUA	\$ 6,200	80	\$ 496,000.00
CABLE CALIBRE 12 ENCAUCHETADO PARA PUESTA A TIERRA	\$ 6,200	50	\$ 310,000.00
CABLE CALIBRE 18 PARA SENSORES DE NIVEL	\$ 110,000	1	\$ 110,000.00
CABLE CALIBRE 18 PARA ELECTROVALVULA	\$ 110,000	1	\$ 110,000.00
PLAFON	\$ 3,800	80	\$ 304,000.00
CINTA	\$ 5,000	4	\$ 20,000.00
TERMOMAGNETICO 20[A] BIFASICO	\$ 46,000	3	\$ 138,000.00
TENSORES DE GUAYA 3/16	\$ 3,100	64	\$ 198,400.00
PERRITOS	\$ 600	120	\$ 72,000.00
LUMINARIA LED	\$ 55,892	80	\$ 4,471,360.00
SENSORES DE NIVEL	\$ 24,700	2	\$ 49,400.00
ELECTROVALVULA de 1"	\$ 220,000	1	\$ 220,000.00
PISCINA DE 6473 LTRS	\$ 480,000	1	\$ 480,000.00
VARILLA DE PUESTA A TIERRA	\$ 220,000	1	\$ 220,000.00
MOTOBOMBA de 1 HP	\$ 1,079,000	1	\$ 1,079,000.00
MODULO RELE DE 10 A	\$ 13,000	1	\$ 13,000.00
MODULO RELE DE 30 A	\$ 19,000	1	\$ 19,000.00

ARDUINO UNO	\$ 33,000	1	\$ 33,000.00
CONTACTOR DE 6A	\$ 215,000	1	\$ 215,000.00
RELE ELECTROMAGNETICO PARA MOTOR DE 6A	\$ 120,000	1	\$ 120,000.00
RELE TERMICO DE 4A	\$ 282,000	1	\$ 282,000.00
		SUBTOTAL	\$ 14'275.860.00

En la tabla 9 se evidencian costos de diseñadores.

**Tabla 9**

*Costos del recurso humano requerido para el desarrollo del proyecto.*

Nombres y apellidos	Título	Horas por semana	Valor hora	Número de semanas	TOTAL \$ Pesos colombianos
	Formación básica				
Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga	Ingeniero	2	206.000	16	6.592.000
Janyce Maylin Camacho Barbosa	Bachiller	10	20.000	16	3'200.000
Julian Andres Mayorga Rojas	Bachiller	10	20.000	16	3'200.000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>12'992.000</b>

En la tabla 10 se evidencian gastos de transporte y ayudantes en mano de obra.

**Tabla 10**

*Gastos complementarios*

Gastos de obra	Gasto diario	Total
2 ayudantes	\$ 240,000	\$ 720,000
Transporte De Materiales	\$ 200,000	\$ 200,000
Transporte Bga-Mesa	\$ 15,000	\$ 180,000
	TOTAL	\$ 1,100,000

En la tabla 11 Se evidencian gastos totales generados para la obra.

**Tabla 11***Costo total para el desarrollo del proyecto*

Concepto	Total [\$(cop)
Recursos humanos	\$ 12,992,000
Gastos de obra	\$ 1,100,000
Insumos	\$ 14,275,860
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 28,367,860</b>

## 7. Automatización del sistema de iluminación y riego

Para la automatización del sistema de iluminación y riego, se elige la placa de Arduino UNO como base y su programación se efectúa en su lenguaje propio de Arduino el cual está basado en lenguaje C basando su lógica principalmente en dos partes como lo son setup y loop, el primero (setup) constituye la preparación de los programas y el segundo (loop) se refiere a el “lazo infinito” se encarga de la ejecución y se ejecuta hasta que la placa del Arduino se apague.

Como se menciona anteriormente se usó la librería RTC(*RTC - Arduino Reference*, n.d.) (cvmanjoo, 2022) junto con el dispositivo DS3231 conectado a los pines de entrada analógicos A4 y A5 , este dispositivo se encarga de la importante función de llevar el conteo del tiempo desde segundos hasta días y años, esto es sumamente importante y útil ya que necesitamos un contador de tiempo para hacer la programación de los horarios de iluminación y riego en tiempo real y así mismo su configuración de acuerdo con la necesidad del cultivo como su crecimiento y demás variables.

La programación del Arduino contempla el control de la motobomba, luminarias y electroválvula por medio de módulos relé de 30A y 10A conectados a los pines digitales 2,3,4 y 7,

estos módulos relé actúan como un interruptor permitiendo el paso o el corte de flujo eléctrico de la fuente a los dispositivos que se desean controlar, por último establecemos como señales de entrada los pines digitales 5 y 6, los cuales están conectados a los sensores de nivel de agua ubicados en el depósito de agua y son los encargados de enviar la señal al Arduino para el encendido o apagado de la motobomba por medio del módulo relé, de este modo se garantiza un depósito constante de agua para el riego del cultivo en el invernadero.

La lógica que se usa en la programación del Arduino para el control del sistema de iluminación y riego se evidencia en el código a continuación.

```
#include <Wire.h>

#include <RTClib.h>

// Declaramos un RTC DS3231
RTC_DS3231 rtc;

//Se definen pines para los reles y sensores
const int RELERIEGO = 2;

const int RELELUZUNO = 3;

const int RELELUZDOS = 4;

const int SENSORMAX = 5;

const int SENSORMIN = 6;

const int RELEPISCINA = 7;
```

```
//Horas de riego

const int RIEGOUNO = 7; // Hora riego. Formato 24h

const int FINRIEGOUNO = 8; // Hora riego. Formato 24h

const int RIEGODOS = 15; // Hora riego. Formato 24h

const int FINRIEGODOS = 16; // Hora riego. Formato 24h

const int RIEGOTRES = 23; // Hora riego. Formato 24h

const int FINRIEGOTRES = 24; // Hora riego. Formato 24h

//Horas de alumbrado

const int LUZON = 17;

const int LUZOFF = 24;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  //Rele de riego

  pinMode(RELERIEGO, OUTPUT); //Se define el pin RELE como salida

  digitalWrite(RELERIEGO, HIGH); //Rele inicia apagado

  //Rele de alumbrado

  pinMode(RELELUZUNO, OUTPUT); //Se define el pin RELE como salida

  digitalWrite(RELELUZUNO, HIGH); //Rele inicia apagado
```

```
pinMode(RELELUZDOS, OUTPUT); //Se define el pin RELE como salida
digitalWrite(RELELUZDOS, HIGH); //Rele inicia apagado

//Rele llenado de piscina

pinMode(SENSORMAX, INPUT_PULLUP);
pinMode(SENSORMIN, INPUT_PULLUP);
pinMode(RELEPISCINA, OUTPUT);

delay(3000); //Espera 3 segundos

// Comprobamos que tengamos el RTC conectado
if (! rtc.begin()) {
  Serial.println("No hay un módulo RTC");
  while (1);
}

}

void loop() {

  DateTime now = rtc.now(); //Toma el tiempo

  //Logica de Riego
```

```
if (now.hour() > RIEGOUNO && now.hour() < FINRIEGOUNO) {  
    digitalWrite(RELERIEGO, LOW); //Enciende el rele para riego hora 1  
}  
else if(now.hour() > RIEGODOS && now.hour() < FINRIEGODOS){  
    digitalWrite(RELERIEGO, LOW); //Enciende el rele para riego hora 2  
}  
else if(now.hour() > RIEGOTRES && now.hour() < FINRIEGOTRES){  
    digitalWrite(RELERIEGO, LOW); //Enciende el rele para riego hora 3  
}  
else{  
    digitalWrite(RELERIEGO, HIGH); //Apaga el rele  
}  
  
//Logica de alumbrado  
if (now.hour() > LUZON && now.hour() < LUZOFF) {  
    digitalWrite(RELELUZUNO, LOW); //Enciende el rele para alumbrado  
    digitalWrite(RELELUZDOS, LOW); //Enciende el rele para alumbrado  
}  
else{  
    digitalWrite(RELELUZUNO, HIGH); //Enciende el rele para alumbrado  
    digitalWrite(RELELUZDOS, HIGH); //Enciende el rele para alumbrado  
}
```

```
//Logica llenado de piscina
if(!digitalRead(SENSORMAX)){
  if(!digitalRead(SENSORMIN))
  {
    //si detecta gnd el sensor significa que el tanque
    //tiene el nivel minimo para activar la bomba.
    digitalWrite(RELEPISCINA, LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(RELEPISCINA, HIGH);
  }
}
else{
  digitalWrite(RELEPISCINA, HIGH);
}
}

delay(3000); //Espera 3 segundos

}
```

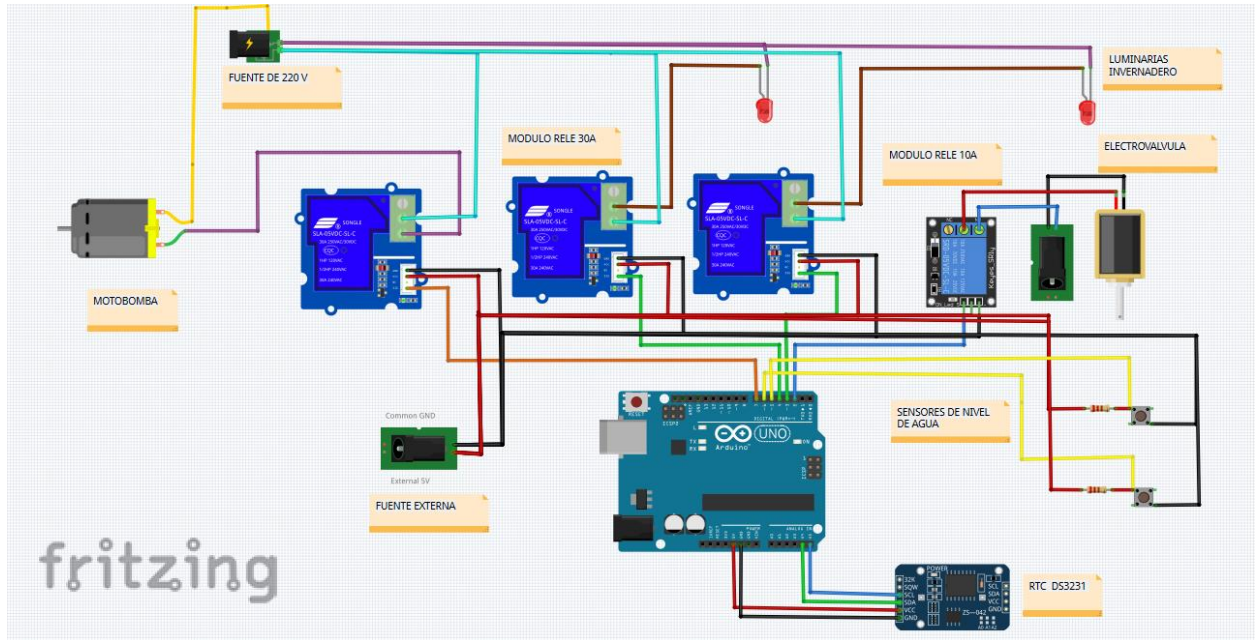
### **7.1 Ilustración montaje de control.**

Para hacer una ilustración del montaje del sistema de automatización con Arduino Uno y sus demás componentes, hemos seleccionado la herramienta Fritzing,(Interaction Design Lab,

2007) la cual nos permite hacer el montaje de todos los elementos que se usaran para llevar a cabo el control de los sistemas de iluminación y riego, como se presenta en la figura 35

**Figura 35**

*Esquema de conexiones de automatización.*



## 8. Conclusiones

- Se identifican los requerimientos para la instalación eléctrica del cultivo tales como, protecciones, cuadro general de distribución, tipos de interruptores, conductores con propiedades específicas para uso en exteriores y luminarias que se pueden evidenciar en el inciso 5 del proyecto, y va conforme con el suministro energético disponible en la red.
- En la selección de protecciones fue necesario utilizar datos estipulados por la NTC 2050, se evidencia en el 5.4.1.4.2 para verificar el cumplimiento de la regulación de tensión tanto en luminarias como en la bomba teniendo la certeza de un buen cumplimiento de las normas y reglamentos vigentes en Colombia.
- Se elabora un presupuesto de inversión acorde con las especificaciones del terreno aprovechando su topología y se tomaron en cuenta las características del cultivo para la selección del tipo de la iluminación implementada y dispositivos empleados para un sistema de riego eficiente estos presupuestos se observan en la sección 6.
- En el uso del software DIALux para la elaboración del sistema de iluminación, se evidencio exitosamente una correcta selección en las luminarias, con características de luxes y lumens acordes a las que necesita el cannabis para su desarrollo, garantizando los mejores estándares posibles en producción de THC y CBD, lo cual es de suma importancia ya que se garantiza un producto con calidad optima esto se puede evidenciar en la sección 5.4.1.3 del documento.
- Se seleccionaron 5 entregables para la culminación del proyecto, entre los cuales se presentan 4 diseños en AutoCAD evidenciando la distribución de las luminarias en el invernadero, diagramas unifilares, ubicación del proyecto, simulación en DIALUX para las luminarias

seleccionada en el invernadero, automatización programada en Arduino que se encuentra en el drive de entregables y el libro final en el cuál encontramos desde marco teórico hasta presupuesto y cuadro de cargas del diseño, .

### Referencias Bibliográficas

- Agraria, U., Habana, L., Rodríguez, F., Cuba, P., Ramírez, O., Hernández Gómez, A. ;, Héctor, L., Valdés, F., & Fernández, D.; (2014). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 1–8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93231641002>
- Agropinos. (2017, January 17). *Los invernaderos más utilizados en Colombia*. <https://www.agropinos.com/blog/tipos-de-invernaderos>
- Altamiranda Ramirez, J. J., & Guio Garavito, L. C. (2021). *Desarrollo de un Sistema de Control de Humedad de Sustrato, Temperatura y Fotoperiodo para el Cultivo de Cannabis sativa L.* [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6703/Altamiranda\\_Ramirez\\_Jiset\\_Janely\\_2021.pdf?sequence=1](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6703/Altamiranda_Ramirez_Jiset_Janely_2021.pdf?sequence=1)
- Andrea, Y., & Castaño, Q. (2021). *La agricultura regenerativa como una alternativa para la conservación de los suelos degradados a causa del sistema agroindustrial en Colombia*. 1–45. [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)
- Aprendiendo Arduino. (2018, May 6). *Arduino en la Educación*. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/05/06/arduino-en-la-educacion/>
- ARDUINO UNO. (n.d.). *UNO R3*. Retrieved October 31, 2023, from <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- Arduino.cl. (2010). *¿Qué es Arduino?* <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arora, A. S., & Yun, C. M. (2023). Dynamic spectrum lighting impact on plant morphology and cannabinoid profile of medical and recreational cannabis – A novel leapfrog strategy towards shaping the future of horticulture lighting. *Industrial Crops and Products*, 199, 116799. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.116799>

- Ballesteros, P. (2023, September 25). *Control climático confiable y eficiente en el cultivo de Cannabis medicinal*. <https://es.linkedin.com/pulse/control-clim%C3%A1tico-confiable-y-eficiente-en-el-cultivo-ballesteros>
- Barnes de Colombia S.A. (2019). *Periféricas*. <https://www.barnes.com.co/perifericas/>
- Bewley-Taylor, D., Jelsma, M., & Kay, S. (2020). Regulación del cannabis y desarrollo: alternativas comerciales (más) justas para mercados legales emergentes. *Http://Journals.Openedition.Org/Poldev, 12*. <https://doi.org/10.4000/POLDEV.4196>
- Blog Agricultura. (2022, August 3). *¿Qué son los invernaderos?* <https://blogagricultura.com/que-son-los-invernaderos/>
- BlogSpot. (2009). *PRINCIPALES TIPOS DE INVERNADEROS*. <https://los-invernaderos-123.blogspot.com/2009/12/principales-tipos-de-invernaderos.html>
- Bolsawiki. (2023, February 16). *¿Cómo invertir en cannabis?* <https://www.bolsawiki.com/blog/invertir-cannabis/>
- Cachat, J. (2020). *SunGrown Indoor Can Sunlight from Solatubee Daylight Harvesting System Support Indoor Cannabis Growth?*
- Camacho, J., & Mayorga, J. (2023). *Entregables proyecto* [Apéndices]. Universidad Industrial De Santander.
- CannaConnection. (2020a, June 18). *¿Qué es el Cannabis Indica?* <https://www.cannaconnection.com/es/blog/1165-indica>
- CannaConnection. (2020b, August 13). *Infografía: diferencias cannabis sativa y indica*. <https://www.cannaconnection.com/es/blog/18492-infografia-diferencias-sativa-indica>
- ChemEnggHelp. (2023). *Understanding Selection of Pumps*. <https://www.chemengghelp.com/selection-of-pumps/>

- CNN. (2023, June 15). *Colombia avanza hacia la regulación de la marihuana para uso recreativo para adultos*. <https://cnnespanol.cnn.com/2023/06/15/marihuana-uso-recreativo-adultos-regulacion-colombia-orix/>
- Codelearn.es. (2019, November 25). *¿Qué es Arduino y para qué sirve?* <https://codelearn.es/blog/que-es-arduino-para-que-sirve/>
- Colombiano, I., Técnicas, D. N., Certificación, Y., & De, M. (1998). *Norma Técnica Colombiana 2050*.
- Comisión Nacional De Seguridad Y Salud. (n.d.). *Trabajos en Invernaderos*.
- Consultor Salud. (2022, February 21). *Reglamentan uso medicinal e industrial del cannabis*. <https://consultorsalud.com/reglamentan-uso-medicinal-cannabis-res-227-2022/>
- cvmanjoo. (2022, September 2). *RTC - Arduino Library*. <https://github.com/cvmanjoo/RTC>
- Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. (n.d.). *Nota Informativa Sobre el Cultivo del Cáñamo*. Retrieved October 1, 2023, from <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2004/842/oj>
- DryGair. (2019, February 5). *Enfermedades de las plantas desecantes | Horticultura Ecológica - Drygair*. <https://drygair.com/es/blog-es/dehumidification-key-cannabis-cultivation/>
- DryGair Energies Ltd. (n.d.-a). *Control Climático del Cannabis – Guía Completa para Cultivadores de Interior* -. Retrieved October 1, 2023, from <https://drygair.com/es/blog-es/cannabis-climate-control-guia-completa-para-cultivadores-de-interior/>
- DryGair Energies Ltd. (n.d.-b). *Por qué es necesario el control de la humedad del cannabis - DryGair*. Retrieved October 1, 2023, from <https://drygair.com/es/blog-es/humidity-cannabis-cultivation/>
- EcuRed. (n.d.). *Potencia eléctrica*. Fórmulas Potencia, Ley de Ohm y La Potencia Eléctrica. Retrieved October 9, 2023, from [https://www.ecured.cu/Potencia\\_el%C3%A9ctrica](https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica)

- Edelman, D., & Grytness, J. (2016). *PRÁCTICAS ÓPTIMAS DE GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. 1–60.
- El Planteo. (2023, August 11). *Cannabis Ruderalis: Todo sobre la Variedad de Marihuana Menos Conocida*. <https://elplanteo.com/cannabis-ruderalis/>
- EL TIEMPO. (n.d.). *Cannabis medicinal: septiembre tendrá la primera cosecha proveniente de Santander*. Retrieved July 5, 2023, from <https://www.eltiempo.com/colombia/santander/cannabis-medicinal-septiembre-tendra-la-primera-cosecha-proveniente-de-santander-502674>
- Engormix. (2022, April 11). *Instalaciones agrícolas*. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/instalaciones-agricolas-t49594.htm>
- Enrique Delgado Martínez. (2015, February 15). *¿Qué es un PLC y para qué sirve?* <https://intrave.wordpress.com/2015/02/20/para-que-sirve-un-plc/>
- ESSA Grupo epm. (n.d.). *NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Código-1*. 1–181.
- Fabricio, J., Casa, G., Omar, C., Achachi, M., Cristian, I., & Molina, G. (2019). *Diseño E Implementación De Un Sistema De Riego Automatizado Para Un Invernadero De Producción De Tomate Riñón En El Cantón Ambato Parroquia Unamuncho*. 1–93.
- Fabricio, J., Casa, G., Omar, C., Achachi, M., Cristian, I., Molina, G., & Latacunga -Ecuador, M. C. (2019a). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado para un invernadero de producción de tomate riñón en el cantón Ambato parroquia Unamuncho*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5628>
- Fabricio, J., Casa, G., Omar, C., Achachi, M., Cristian, I., Molina, G., & Latacunga -Ecuador, M. C. (2019b). *Diseño E Implementación De Un Sistema De Riego Automatizado Para Un*

*Invernadero De Producción De Tomate Riñón En El Cantón Ambato Parroquia Unamuncho.* 1–93.

GmbH Lüdenscheid, D. (1989). *DIALux*. <https://www.dial.de/de-DE/dialux>

GROWERIQ. (2023, January 29). *Manejo Integrado de Plagas (IPM) para el Cannabis*. <https://groweriq.ca/es/2020/09/08/manejo-integrado-de-plagas-ipm-para-el-cannabis/>

Grupo epm. (2013, October 23). *Normas técnicas de energía*.

Guardado, A. (2022, April 7). *TIPOS DE INVERNADEROS Y SUS CARACTERÍSTICAS*. <https://www.lamastore.es/blog/tipos-de-invernaderos/>

Hakkarainen, P., Decorte, T., Sznitman, S., Karjalainen, K., Barratt, M. J., Frank, V. A., Lenton, S., Potter, G., Wersé, B., & Wilkins, C. (2019). Examining the blurred boundaries between medical and recreational cannabis – results from an international study of small-scale cannabis cultivators. *Drugs: Education, Prevention and Policy*, 26(3), 250–258. <https://doi.org/10.1080/09687637.2017.1411888>

Humboldt Seeds. (2020, June 23). *10 parámetros importantes para lograr unas condiciones ideales en tu cultivo de exterior*. <https://www.humboldtseeds.net/es/blog/10-parametros-ideales-cultivo-exterior/>

Ideas Repec. (2019). *La industria del cannabis medicinal en Colombia*. <https://ideas.repec.org/p/col/000124/017608.html>

Infinita Naturaleza. (n.d.). *Invernadero Casero, Ventajas y Desventajas*. Retrieved October 31, 2023, from <https://www.postposmo.com/invernadero-casero/>

InfoAgro. (n.d.). *¿Por qué cultivar en invernadero? Ventajas y desventajas*. Retrieved October 1, 2023, from <https://www.berger.ca/es/recursos-para-los-productores/tips-y-consejos-practicos/cultivar-invernadero-ventajas-desventajas/>

- InfoAgro México. (2016, December 7). *Principales tipos de invernaderos*.  
<https://mexico.infoagro.com/principales-tipos-de-invernaderos/>
- Interaction Design Lab. (2007, August). *Fritzing*. <https://fritzing.org/>
- Iprecom. (2021, September 26). *Tipos de bombas industriales*. <https://www.iprecom.com/tipos-de-bombas-industriales/>
- Jelsma, M., Blickman, T., Kay, S., Metaal, P., & Martínez Rivera Nicolás. (2022, September 1).  
*Un Futuro Sostenible para los Agricultores de Cannabis*.
- King, J. (2020, September 24). *How Lighting Can Influence Cannabis Potency - Greenhouse Grower*.  
<https://www.greenhousegrower.com/production/how-lighting-can-influence-cannabis-potency/>
- Kopustinskiene, D. M., Masteikova, R., Lazauskas, R., & Bernatoniene, J. (2022). Cannabis sativa L. Bioactive Compounds and Their Protective Role in Oxidative Stress and Inflammation. *Antioxidants*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11040660>
- Magagnini, G., Grassi, G., & Kotiranta, S. (2018). The Effect of Light Spectrum on the Morphology and Cannabinoid Content of Cannabis sativa L. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 1(1), 19. <https://doi.org/10.1159/000489030>
- MedlinePlus. (2022, July 20). *Cannabidiol (CBD)*.  
<https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/natural/1439.html>
- Mehdi, M. (2023, January 29). *Marihuana: IDENTIFICAR Y TRATAR LAS ENFERMEDADES Y PLAGAS DEL CANNABIS*. <https://www.amazon.com/-/es/Miled-Mehdi-ebook/dp/B0BTDWP1S6>
- Ministerio de Energía. (2013). *Reglamento Técnico De Instalaciones Eléctricas (RETIÉ)*. 1–211.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2017a). *Decreto 613 de 2017*. 1–35.

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2017b). *Decreto 613 de 2017 (abril 10)* (pp. 1–35).
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021a). *Decreto 811 de 2021* (pp. 1–59).
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021b). *Decreto 811 de 2021*. 1–59.
- National Institute on Drug Abuse (NIDA). (2022). *El Cannabis (marihuana)*.  
<https://nida.nih.gov/es/areas-de-investigacion/canabis-marihuana>
- Nieto, G. (2021, May 20). *El cannabis al rescate del medio ambiente • Red Forbes • Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/red-forbes-el-cannabis-al-rescate-del-medio-ambiente/>
- NOVAGRIC. (n.d.-a). *Invernaderos Túnel*. Retrieved October 31, 2023, from <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-tunel>
- NOVAGRIC. (n.d.-b). *Tipos de Invernaderos*. Retrieved October 31, 2023, from <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/>
- Odieka, A. E., Obuzor, G. U., Oyedeji, O. O., Gondwe, M., Hosu, Y. S., & Oyedeji, A. O. (2022). The Medicinal Natural Products of Cannabis sativa Linn.: A Review. *Molecules*, 27(5).  
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES27051689>
- Pacheco Hernández, P., Villanueva Gaxiola, N., Antonio Reyes Mares, J., Antelo Villareal, J., Carlos Herrera Ponce, J., Unland Weiss, H., Manuel Ángeles Hernández, J., Andrés Castillo González, J., & Dolores Olvera Salgado, M. (2017). *El Proyecto De Riego Por Gravedad Tecnificado*. 1–13.
- Pedrollo, S. (1983). *Pedrollo S.p.A. | Electrobombas*.  
<https://www.pedrollo.com.co/es/productos/superficie-3/centrifugas-38>
- PNSD. (n.d.). *Portal Plan Nacional sobre Drogas*. Retrieved July 5, 2023, from <https://pnsd.sanidad.gob.es/ciudadanos/informacion/cannabis/home.htm>

- Predictiva21. (n.d.). *Impulsores*. Retrieved July 7, 2023, from <https://predictiva21.com/2-1-impulsores/>
- Punja, Z. K., & Rodriguez, G. (2018). Fusarium and Pythium species infecting roots of hydroponically grown marijuana (*Cannabis sativa* L.) plants. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(4), 498–513. <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1535466>
- la tienda del invernadero. (n.d.). *¿Qué tipos de invernaderos existen?* Retrieved October 31, 2023, from <https://latiendadelinvernadero.com/blog/general/que-tipos-de-invernaderos-existen>
- Reich, M. (n.d.). *7 Considerations for Optimizing Cannabis Cultivation in a Greenhouse - Greenhouse Product News*. Retrieved October 1, 2023, from <https://gpnmag.com/article/7-considerations-for-optimizing-cannabis-cultivation-in-a-greenhouse/>
- Revista Seguridad 360. (2023). *¿Qué es un PLC y cómo funciona?* <https://revistaseguridad360.com/noticias/que-es-un-plc/>
- Rodríguez Yzquierdo, G. A., Patiño Moscoso, M. A., & Betancourt Vásquez, M. (2021). *Visor Redalyc - Caracterización fisiológica en plantas de Cannabis medicinal durante distintas etapas fenológicas bajo estrés biótico I*. <https://www.redalyc.org/journal/437/43768194009/>
- RTC - Arduino Reference. (n.d.). Retrieved October 9, 2023, from <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/rtc/>
- Sanchez, A. (2021, June 17). *La agricultura ecológica en invernadero | Inveurop*. <https://inveurop.com/es/la-agricultura-ecologica-en-invernadero/>
- Sembralía. (2020, August 12). *Tipos de Sistema de Riego en Invernaderos. Cultivos bajo Cubierta*. <https://sembralía.com/blogs/blog/sistema-de-riego-en-invernaderos>
- Semillas de Marihuana. (2020, April 14). *Ruderalis: ¿Qué es Este Tipo de Marihuana y Para Qué Sirve?* <https://www.semillas-de-marihuana.com/blog/ruderalis/>

- Sensoricx. (2021). *¿Cuál es la diferencia entre un PLC y un DCS?* <https://sensoricx.com/control-logico-programable-plc/cual-es-la-diferencia-entre-un-plc-y-un-dcs/>
- Sistemas Hortícolas. (2021, December 3). *Invernadero tipo parral - Sistemas Hortícolas Almería*. <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/por-que-en-almeria-se-usa-el-invernadero-de-tipo-parral/>
- Soft Secrets. (2020, October 1). *La importancia económica del cannabis*. <https://softsecrets.com/es-ES/articulo/la-importancia-economica-del-cannabis>
- Trancoso, I., de Souza, G. A. R., Dos Santos, P. R., Dos Santos, K. D., de Miranda, R. M. D. S. N., da Silva, A. L. P. M., Santos, D. Z., García-Tejero, I. F., & Campostrini, E. (2022). Cannabis sativa L.: Crop Management and Abiotic Factors That Affect Phytocannabinoid Production. *Agronomy* 2022, Vol. 12, Page 1492, 12(7), 1492. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12071492>
- VAPE / VAPERS EN PERÚ. (n.d.). *El cannabis medicinal mejora significativamente la salud*. Retrieved July 5, 2023, from <https://marihuana.net.pe/estudio-cannabis-medicinal-mejora-significativamente-salud/>
- Vázquez Flota, F. (2021, September 30). *Una breve historia del cannabis en tres partes*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Wikipedia. (2023a, March 20). *Hernando Barragán*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Hernando\\_Barrag%C3%A1n](https://en.wikipedia.org/wiki/Hernando_Barrag%C3%A1n)
- Wikipedia. (2023b, August 1). *Arduino*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- Wikipedia, la enciclopedia libre. (2023c, July 29). *Cannabis sativa sativa*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Cannabis\\_sativa\\_sativa](https://es.wikipedia.org/wiki/Cannabis_sativa_sativa)

Yepes Piqueras, V., & e-libro, Corp. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*.

## Apéndices

**Apéndice A.** Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca

UIS