



**Diseño de un sistema eléctrico para regular la humedad del suelo dentro de un invernadero  
de cultivo de fresa**

Autores:

Jose Luis Hidalgo Matabanchoy

John Marlon Castro Montenegro

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño Facultad de Ingeniería

Ingeniería mecánica

San Juan de Pasto

2023



**Diseño de un sistema eléctrico para regular la humedad del suelo dentro de un invernadero  
de cultivo de fresa**

Autores:

Jose Luis Hidalgo Matabanchoy

John Marlon Castro Montenegro

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor Técnico

Ing. Jaiver Realpe

Ing. Juan Guillermo Chinchajoa

Asesor Metodológico

Ing. Msc. Jorge Andrés Segovia Ortega

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño Facultad de Ingeniería

Ingeniería mecánica

San Juan de Pasto

2023



Nota de Aceptación

---

---

---

---

Firma del presidente de jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

PROHIBIDA SU COPIA



## **Agradecimientos**

No puedo agradecerles lo suficiente por su constante apoyo a lo largo de mi carrera académica. Has sido mi roca, mi fuente de inspiración y mis motivadores continuos. Su apoyo ha sido importante para ayudarme a superar los diferentes obstáculos que he enfrentado durante mi carrera universitaria.

Mamá, papá, hermanos y abuelos: cada uno de ustedes ha jugado un papel importante en la formación de lo que soy hoy. Su fe inquebrantable en mis talentos me ha dado la confianza para seguir mis aspiraciones y alcanzar mis objetivos.

PROHIBIDA SU COPIA



## Tabla de contenido

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| <b>Tabla de contenido</b> .....            | 5  |
| <b>Lista de figuras</b> .....              | 6  |
| <b>Lista de tablas</b> .....               | 7  |
| <b>Introducción</b> .....                  | 10 |
| <b>1. Planteamiento del problema</b> ..... | 11 |
| 1.1 Descripción del problema .....         | 11 |
| 1.2 Formulación del problema .....         | 13 |
| 1.3 Justificación .....                    | 13 |
| <b>2. Objetivos</b>                        |    |
| 2.1 Objetivo general .....                 | 14 |
| 2.2 Objetivos específicos .....            | 14 |
| <b>3. Marco referencial</b>                |    |
| 3.1 Marco contextual .....                 | 15 |
| 3.2 Marco teórico .....                    | 17 |
| 3.2.1 Humedad del suelo .....              | 17 |
| 3.2.2 Humedad Relativa .....               | 18 |
| 3.2.3 Tipos de riego para el cultivo.....  | 18 |
| 3.2.4 Riego por goteo.....                 | 19 |
| 3.2.5 Riego por microaspersión.....        | 20 |
| 3.2.6 Sensores.....                        | 20 |
| 3.2.7 Sensor de humedad.....               | 20 |
| 3.2.8 Higrostató.....                      | 20 |



|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 3.2.9 Control.....                                | 21 |
| 3.2.10 Controlador de humedad.....                | 22 |
| 3.2.11 Fuentes de electricidad.....               | 22 |
| 3.2.12 Invernaderos.....                          | 22 |
| 3.2.13 La fresa.....                              | 23 |
| 3.2.14 Bomba centrífuga.....                      | 25 |
| 3.2.15 Motor eléctrico .....                      | 25 |
| 3.2.16 Cultivo hidropónico.....                   | 25 |
| 3.3 Marco legal .....                             | 26 |
| 3.4 Marco tecnológico.....                        | 28 |
| <b>4. Diseño de aspectos metodológicos</b>        |    |
| 4.1 Línea de investigación.....                   | 33 |
| 4.2 Enfoque mixto.....                            | 34 |
| 4.3 Investigación cuantitativa y cualitativa..... | 34 |
| 4.4 Método.....                                   | 35 |
| 4.5 Variables.....                                | 36 |
| <b>5. Elementos de administración y control</b>   |    |
| 5.1 Talento humano.....                           | 36 |
| 5.2 Presupuesto.....                              | 37 |
| <b>6. Análisis y resultados</b>                   |    |
| 6.1 Consumo de agua por planta.....               | 38 |
| 6.2 Área del invernadero y matas sembradas .....  | 39 |
| 6.4 Consumo de agua por planta.....               | 39 |



|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| 6.5 Consumo de agua total del cultivo.....   | 39        |
| 6.6 Bomba de agua.....                       | 40        |
| 6.7 Válvula Solenoide.....                   | 41        |
| 6.8 Tubería pvc.....                         | 41        |
| 6.9 Control.....                             | 41        |
| 6.10 Diagrama de control .....               | 42        |
| 6.11 Sensor.....                             | 43        |
| 6.11 Arduino.....                            | 43        |
| 6.12 Diagrama Arduino .....                  | 44        |
| 6.13 Circuito.....                           | 45        |
| 6.14 Depósito de recurso hídrico.....        | 46        |
| 6.15 Selección de tubería (Material).....    | 47        |
| 6.16 Cálculo de la tubería de descarga ..... | 47        |
| 6.17 Consumo de bomba .....                  | 49        |
| 6.18 Consumo válvula solenoide .....         | 49        |
| 6.19 Consumo plc.....                        | 49        |
| 6.20 Cálculo de cableado y protecciones..... | 49        |
| <b>7. Conclusiones.....</b>                  | <b>52</b> |
| <b>8. Recomendaciones.....</b>               | <b>55</b> |
| <b>9. Anexos .....</b>                       | <b>57</b> |
| 9.1 Anexo 1 código arduino.....              | 57        |
| 9.2 Diagrama .....                           | 60        |
| <b>10. Referencias .....</b>                 | <b>61</b> |



### Lista de figuras

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. La fresa en invernaderos y su producción .....       | 11 |
| Figura 2. Mapa del lugar de cultivo de fresa .....             | 15 |
| Figura 3. Cultivo de fresa en invernadero .....                | 16 |
| Figura 4. La humedad del suelo y su importación .....          | 17 |
| Figura 5. Electrobomba Centrifuga 1 Hp .....                   | 40 |
| Figura 6. Válvula solenoide 110V.....                          | 41 |
| Figura 7. Plc Logo .....                                       | 41 |
| Figura 8. Diagrama de control cade simu .....                  | 42 |
| Figura 9. Sensor De Humedad Del Suelo .....                    | 43 |
| Figura 10. Arduino uno .....                                   | 43 |
| Figura 11. Diagrama Arduino uno.....                           | 44 |
| Figura 12. Circuito de conexión Arduino primera analisis.....  | 45 |
| Figura 13. Circuito de conexión Arduino segundo análisis ..... | 45 |
| Figura 14. Esquema Arduino segundo análisis .....              | 46 |
| Figura 15. Trabajo maqueta .....                               | 54 |
| Figura 16. Instalacion electrica maqueta.....                  | 54 |
| Figura 17. Módulo de control .....                             | 55 |





### Lista de tablas

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Área cosechada por el departamento en los años 2015 a 2019 .....        | 23 |
| Tabla 2. Producción por departamento en los años 2015 a 2020 .....               | 23 |
| Tabla 3. Rendimiento del departamento en ton/has .....                           | 23 |
| Tabla 4. Decretos y Normas Relacionados con la agricultura.....                  | 26 |
| Tabla 5. Tipos de variables .....                                                | 36 |
| Tabla 6. Presupuesto costo unitario y costo total de emulación del circuito..... | 37 |
| Tabla 7. Presupuesto costo unitario y costo total del circuito.....              | 37 |
| Tabla 8. Características bomba .....                                             | 40 |

PROHIBIDA SU COPIA



## Introducción

El estudio actual se enfoca en el desarrollo de un modelo de control utilizando un control eléctrico.

Se realiza una descripción del problema relacionado con el riego en el cultivo de fresas, destacando las prácticas tradicionales de aplicación de agua en las plantas de fresa. A partir de esto, se formula el problema y se definen los objetivos de manera que permita tener un conocimiento previo de la situación antes de la implementación de la solución.

Se cuenta con un conocimiento exhaustivo del marco teórico, así como de los tipos de elementos que se utilizarán en el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta los fundamentos legales que constituyen la base para la investigación.

Se procede a la aplicación de tecnologías de control, las cuales incluyen el uso de herramientas de programación para la implementación del control lógico programable o del sistema Arduino. En este sentido, se emplea el conocimiento técnico y teórico necesario para llevar a cabo el diseño y la programación de dichos sistemas, asegurando su correcto funcionamiento y eficiencia en el desarrollo de la investigación.

Finalmente, se determina que para la implementación a nivel industrial se recomienda el uso de controladores lógicos programables (PLC), debido a su mayor capacidad de procesamiento y flexibilidad en la configuración de los sistemas de control. Sin embargo, para la construcción de una maqueta con fines didácticos y de bajo costo, se sugiere la utilización de la plataforma Arduino, la cual permite el desarrollo de prototipos y proyectos a pequeña escala con una alta versatilidad y bajo coste.

## 1. Planteamiento del problema

### 1.1. Descripción del problema

El riego es un componente esencial de la agricultura de invernadero y juega un papel crucial en el desarrollo y la producción de cultivos. El riego es extremadamente vital en el cultivo de fresas en Colombia debido a la temperatura cálida del país y al régimen de lluvias fluctuantes.

Uno de los principales desafíos que enfrenta el sistema de riego de invernaderos en Colombia está relacionado con el suministro del recurso hídrico, el suministro de agua suele ser insuficiente, lo que conduce a un caudal mínimo para la producción rentable de la fresa, especialmente en épocas de sequía la producción baja.

#### Figura 1

*La fresa en invernaderos y su producción*



Fuente: La república (2012)



Una de las cuestiones más relevantes, es la humedad afirmando que el porcentaje de humedad relativa para el correcto desarrollo de la planta de fresa deben estar en un rango del 60% al 75% (Acuña J, 2020). Infiriendo que si no se trabaja a este rango se producen los microesclerocios y no generan un buen desarrollo para la planta (Chamorro M, 2014).

El problema del sistema de riego está relacionado con la distribución de agua dentro del sistema de riego. Las líneas de riego por goteo están destinadas a asegurar una distribución constante de agua a las plantas, sin embargo, variables como la baja presión, las tuberías bloqueadas y las fugas han causado variaciones considerables en el flujo de agua en la plantación. Como resultado, algunas plantas reciben demasiada agua y mueren, mientras que otras reciben poca agua. Esta distribución desigual del agua tiene un impacto en el desarrollo y la producción de la planta, reduciendo la productividad y elevando los gastos.

En Colombia, el uso del agua carece de eficiencia, lo que resulta en prácticas derrochadoras que agotan los recursos hídricos. Además, Colombia depende en gran medida de fuentes de energía no limpias, lo que dificulta aún más el consumo y la utilización sostenibles del agua. Por ejemplo, en el caso del cultivo de fresas, se utilizan métodos de riego tradicionales, lo que conduce a una producción subóptima y rendimientos inconsistentes. Esto se traduce en beneficios reducidos para los agricultores, ya que la falta de automatización y tecnologías modernas dificulta el uso eficiente de los recursos naturales. Además, el acceso limitado a la educación y los recursos para la producción agrícola exacerba los desafíos que enfrentan los agricultores para lograr los objetivos de sostenibilidad en el cultivo de fresas afirma (Chipiaje, 2021).

El sector agrícola en Colombia emplea ampliamente tecnologías para la automatización del riego, así como para monitorear y controlar los niveles de humedad del suelo.



Estas tecnologías juegan un papel fundamental en las operaciones de invernadero, regulando efectivamente las tasas de evaporación. Sin embargo, un adecuado control de humedad del suelo carece los carecer el campesinado, el riesgo de manera tradicional da paso diversas enfermedades en los cultivos aumentaría significativamente gastos al productor. La adopción de estas tecnologías avanzadas se ha vuelto frecuente en la agricultura colombiana, lo que garantiza un crecimiento óptimo de los cultivos y la prevención de enfermedades, pero también añade un gasto al campesino afirma (Valera, 2021).

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo regular la humedad del suelo con un sistema de control eléctrico de un invernadero para el cultivo de fresa?

## **1.3 Justificación**

El riego en invernaderos de fresa es importante para el sector campesino porque permite mejorar la calidad y cantidad de la producción agrícola, lo que se traduce en mayores ingresos económicos para los agricultores. Además, el riego en invernaderos permite controlar la humedad del suelo y evitar la pérdida de agua por evaporación. El control de humedad con PLC o Arduino permite controlar el riego de manera más precisa y eficiente, así generando mayores ganancias para los campesinos, no aplicando los mismos métodos de riego tendríamos como ventaja el ahorro del recurso hídrico y el aprovechamiento de la energía sin embargo todos estos procesos hasta la actualidad se siguen trabajando de manera arcaica afirma (Cabello, 2015).

La producción de fresas abarca varias etapas, desde la siembra hasta llegar al consumidor final. Entre estas etapas críticas, el riego juega un papel fundamental para garantizar una producción óptima de fresas. El contenido de humedad del suelo es un factor crucial que debe monitorearse y controlarse cuidadosamente durante todo el proceso de producción, ya que



afecta directamente la calidad de las fresas cosechadas (Cadena, 2017). En concreto, mantener un nivel de humedad relativa del 60% al 75% se considera óptimo para conseguir fresas de alta calidad (Chamorro, 2014).

El manejo adecuado del riego es vital en la producción de fresas, ya que asegura que el nivel de humedad en el suelo se mantenga dentro del rango deseado. Esto ayuda a que las fresas crezcan y se desarrollen en las condiciones más favorables, lo que lleva a frutos de mejor calidad. Sin un control consistente de la humedad del suelo, la calidad de las fresas puede verse comprometida. Por lo tanto, el monitoreo y mantenimiento meticulosos de los niveles de humedad del suelo son esenciales para asegurar una producción exitosa de fresas y entregar fresas de calidad superior a los consumidores sostiene (Cadena, 2017).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control que permita equilibrar la humedad del suelo mejorando la producción de fresa.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar entre los diferentes tipos de sensores el más adecuado para sistemas de monitoreo en la detección y control del riego validando su precisión y costo.
- Realizar una emulación de maqueta a escala del sistema eléctrico funcional.
- Establecer un protocolo de operación y mantenimiento para el sistema de riego.

### 3. Marco Referencial

#### 3.1 Marco contextual

#### Figura 2

*Mapa del lugar de cultivo de fresa*



Fuente: Google Earth. (2020) Nariño,

Departamento ubicado en el suroeste de Colombia y reconocido por su producción de fresas, ha aportado el 4% de la producción nacional de fresas en los últimos cinco años. A través del análisis de sus indicadores económicos, es claro que Nariño es considerado un productor, ya que los ingresos del departamento han aumentado un 0,4% año con año. El cultivo de fresas en Nariño involucra tanto a pequeños como a grandes agricultores, con diversos grados de inversión tecnológica y experiencia. El proceso de producción de la fresa incluye la siembra, el riego, la fertilización, el manejo de plagas y la cosecha, entre otras actividades. Las fincas de fresas de Nariño dependen en gran medida del trabajo manual, ya que el terreno y el clima de la región dificultan la automatización total de los procesos de producción afirma (Ministerio de agricultura, 2021).



**Figura 3***Cultivo de fresa en invernadero*

Fuente: Caracol radio (2023)

Al mismo tiempo de su sector agrícola, la economía de Nariño también está impulsada por industrias como la minería, la energía y el turismo. Los abundantes recursos naturales del departamento, incluidos el carbón, el oro y el petróleo, han atraído operaciones mineras a gran escala. El terreno accidentado y el patrimonio cultural único de la región también la han convertido en un popular destino turístico, con atractivos como el Volcán Galeras y la ciudad de Pasto testifica (Plan Pacífico, 2015).

A pesar de sus éxitos económicos, Nariño también enfrenta desafíos relacionados con la pobreza, la desigualdad social y el conflicto armado. Históricamente, el departamento ha sido un sitio de violencia política y guerra de guerrillas, y continúa luchando con problemas como el tráfico de drogas y el desplazamiento. Los esfuerzos para promover el desarrollo sostenible y la consolidación de la paz en Nariño han sido continuos, con iniciativas como el "Plan Pacífico" del gobierno colombiano (Pazcífico, 2015).



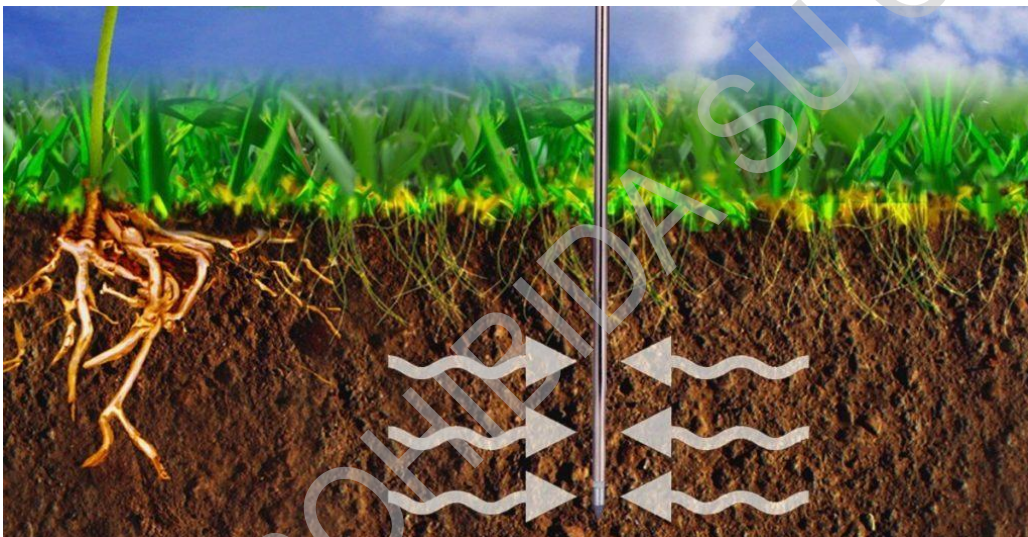
En general, el estatus de Nariño como productor de fresas y contribuyente a la economía nacional destaca la diversidad y complejidad de las economías regionales de Colombia. Si bien el departamento enfrenta desafíos relacionados con el conflicto y la desigualdad, sus recursos y potencial de crecimiento lo convierten en un actor clave en el desarrollo continuo del país afirma (Gobernación de Nariño, 2020).

### 3.2. Marco Teórico

#### 3.2.1 humedad del suelo

##### Figura 4

*La humedad del suelo y su importación*



Fuente: Portal Fruticola.com (2018)

La humedad del suelo es la cantidad de agua que está disponible en el suelo para que las plantas puedan absorber. Esta humedad es crucial para el desarrollo y crecimiento de las plantas y es debido a que se debe mantener la humedad relativa, la fresa requiere riegos frecuentes. como lo afirma (Fuente D, 2022). Esta planta requiere alrededor de 40 riegos



cada temporada, cuando otras plantas, como el maíz, solo requieren cuatro. Esto requiere más mano de obra y esfuerzo para regar manualmente, lo que puede generar ineficiencias y mayores gastos. Sin embargo, una investigación encontró que diferentes formas de automatización pueden ahorrar un 20% más de agua que los enfoques humanos (López G, 2020). Como resultado, se confirma que varias formas de automatización son posibles y pueden ayudarnos a hacer un mejor uso del suministro de agua existente.

La humedad del suelo es la cantidad de agua que está disponible en el suelo para que las plantas puedan absorber, es esencial para asegurar un cultivo saludable y productivo por lo tanto su control es fundamental (Paltineanu, 2016).

### **3.2.2 Humedad relativa**

La humedad relativa se define como el porcentaje de la cantidad de vapor de agua presente en el aire, en relación a la cantidad máxima que el aire podría contener a esa misma temperatura. En otras palabras, es una medida de la cantidad de humedad presente en el aire en comparación con la cantidad máxima que puede haber a esa temperatura específica (Ashrae, 2017).

### **3.2.3 Tipos de riego para el cultivo**

La adopción de tecnología en la agricultura es fundamental para lograr una producción más eficiente, sostenible y lucrativa. La capacidad de los agricultores para explotar plenamente los recursos naturales existentes y la sequía se ve limitada por los sistemas de riego manual y la falta de tecnología adecuada.

Implementar sistemas de filtración que permitan una gestión del agua más precisa y eficiente, reduciendo pérdidas y aumentando la productividad. Los sensores y los medidores de humedad del suelo pueden ayudar a los agricultores a determinar cuándo y cuánto regar, mientras



que los sistemas de control de riego y el micro goteo, permiten una distribución de agua más equitativa y precisa (Kreisler, 2018).

Los diversos métodos de riego son ineficientes ya que la mayoría de las pérdidas económicas ocurren durante las sequías. Esto se debe en parte al hecho de que la mayoría de los campesinos de la región carecen de tecnología y dependen de técnicas de riego manual. Sin embargo, el énfasis en la Industria 4.0 daría como resultado una mejor utilización de los recursos naturales limitados (Kreisler, 2018).

Es fundamental popularizar los muchos tipos de tecnología accesibles, como sensores, controlador lógico programable (plc) , Arduino y válvulas, ya que su uso aumentaría la rentabilidad y la eficiencia de nuestros recursos naturales. Cada año, desarrollamos nuevas tecnologías para industrializar el campo, centralizando así el negocio agrícola, arrancando todo tipo de máquinas, y elevando el valor de cada producto, es fundamental enfatizar que el uso de la tecnología en el negocio agrícola no solo aumentaría la eficiencia y la rentabilidad, sino que también ayudaría a la preservación y protección de los recursos naturales y el medio ambiente (Pilco, 2022). El uso de la tecnología en la agricultura puede ayudar a mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción agrícola. Los agricultores que utilicen estas soluciones creativas estarán mejor equipados para enfrentar problemas futuros y utilizar plenamente los recursos naturales existentes.

#### **3.2.4 Riego por goteo**

Este método de irrigación es ampliamente utilizado en los invernaderos de fresas y se basa en suministrar agua directamente a las raíces de la planta por medio de emisores pequeños



que gotean lentamente. Debido a su lenta liberación, el agua se aplica de manera eficiente, minimizando las pérdidas por evaporación (Anchivilca, 2018).

### **3.2.5 Riego por microaspersión**

Este método de riego guarda similitudes con el riego por goteo, aunque en este caso se utilizan pequeños aspersores que rocían agua de manera similar a una lluvia fina. Este tipo de riego es especialmente útil en invernaderos con plantas de mayor tamaño o cuando se busca una distribución uniforme del agua (Infocampo, 2017).

### **3.2.6 Sensores**

Los sensores de temperatura y humedad son herramientas que se encargan de medir los niveles de dichos factores en un determinado ambiente. Estos sensores son cruciales para la regulación de las condiciones ambientales en un invernadero, como el que se utiliza para el cultivo de fresa donde es necesario mantener cierto nivel específico de temperatura y humedad. (Iraceburu, 2021).

### **3.2.7 Sensor de humedad**

Es un dispositivo que detecta y mide los niveles de humedad en el suelo o en un objeto específico. Su función principal es detectar y medir la presencia de humedad en una región o sustancia específica. Este dispositivo puede proporcionar información útil en una multitud de industrias, incluida la agricultura, el clima, la electrónica y el negocio de alimentos, por mencionar algunas. Los sensores de humedad son fundamentales para garantizar la calidad y la seguridad en una variedad de procesos y productos, lo que los convierte en una herramienta indispensable en la actualidad (Recknagel, 2018).

### **3.2.8 Higrostató**



El higrostató es un instrumento que se utiliza para medir la humedad presente en el aire y regular la cantidad de vapor de agua en él, activando sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado según sea necesario. Su función principal es mantener la humedad en el ambiente dentro de niveles aceptables para el confort humano y/o para la preservación de materiales. En otras palabras, el higrostató permite controlar la humedad ambiental de manera automática, asegurando así un ambiente óptimo y confortable (Siegel, 2019).

### **3.2.9 Control**

El control eléctrico engloba diversas técnicas y dispositivos que permiten modificar los valores de tensión, corriente, frecuencia o tiempo para controlar procesos eléctricos o electrónicos punto seguido el contexto de un invernadero de fresa el control electrónico puede ser utilizado para regular la temperatura la iluminación la humedad y otros factores los cuales influyen en dicho cultivo (Stienecker, 2018).

Los controladores lógicos programables O PLC son aparatos electrónicos que pueden ser programados para automatizar y controlar procesos industriales mediante el uso de diferentes lenguajes de programación, en el contexto de un invernadero estos dispositivos pueden ser empleados para regular con precisión y automatizar la temperatura humedad e iluminación de este ambiente (Bolton, 2015)

Los sistemas de control automatizados son una herramienta invaluable para la automatización y control preciso de los procesos en un invernadero. En particular, en lo que respecta al control de la humedad del suelo, estos sistemas permiten ajustar el riego según la humedad del suelo detectada por los sensores de humedad. De esta forma, se logra un riego preciso y efectivo, evitando el despilfarro de agua y asegurando un óptimo crecimiento de las plantas. Además, estos sistemas también permiten controlar otros factores críticos para el



crecimiento de las plantas, como la humedad y la iluminación, lo que permite una gestión más eficiente y una mayor producción. En definitiva, los sistemas de control automatizados son una herramienta indispensable para el éxito de cualquier invernadero moderno y sostenible (Ñamo, 2019).

### **3.2.10 Controlador de humedad**

Un regulador de humedad es un dispositivo que mide, controla y regula la cantidad de agua en la atmósfera. Esto se logra activando los sistemas de gestión del riego, que permiten cambiar y mantener la humedad del suelo en niveles ideales. Este dispositivo es fundamental en una variedad de industrias, incluidas la agricultura, la conservación de obras de arte y la fabricación de alimentos, entre otras, donde se requiere mantener una atmósfera con suficiente humedad para proteger la calidad de los productos o materiales. En esencia, el objetivo del regulador de humedad es garantizar que el nivel de humedad en el ambiente sea suficiente para preservar el bienestar y la seguridad de las personas, o para conservar determinados materiales (Khandpur, 2019).

### **3.2.11 Fuentes de electricidad**

Sistemas de alimentación eléctrica son los encargados de proveer o suministrar la energía eléctrica requerida para el correcto funcionamiento en los equipos del invernadero destinados a este cultivo. Es crucial diseñar estos sistemas para asegurar la confiabilidad seguridad y eficiencia energética adecuada (Pansini, 2015).

### **3.2.12 Invernaderos**

Un invernadero es una construcción hecha de materiales transparentes como vidrio, policarbonato o plástico que permite el crecimiento controlado de las plantas ajustando los parámetros climáticos interiores como la temperatura, la humedad y la luz. Los invernaderos se



utilizan en la agricultura para alargar la temporada de crecimiento, mejorar la producción y proteger las plantas de las inclemencias del tiempo y las plagas. Los invernaderos también son beneficiosos para el estudio y desarrollo de nuevos tipos de plantas, así como para la protección de especies en peligro de extinción. En resumen, los invernaderos son un instrumento clave en la agricultura contemporánea para garantizar productos de alta calidad a largo plazo (Fernández, 2020).

### 3.2.13 La fresa

**Tabla 1**

*Área cosechada por el departamento en los años 2015 a 2019*

| Departament | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| o           |      |      |      |      |      |
| Nariño      | 44   | 45   | 65   | 75   | 90   |

Fuente: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021)

**Tabla 2**

*Producción por departamento en los años 2015 a 2020*

| Departament | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| o           |      |      |      |      |      |      |
| Nariño      | 233  | 254  | 337  | 291  | 401  | 328  |

Fuente: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021)

**Tabla 3**



*Rendimiento del departamento en ton/has*

| Departamento | Rendimiento |
|--------------|-------------|
|              | Ton/Has     |
| Nariño       | 44          |

Fuente: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021)

Debido a que se debe mantener la humedad relativa, la fresa requiere riegos frecuentes. como lo afirma (Fuente, 2022). Esta planta requiere alrededor de 40 riegos cada temporada, cuando otras plantas, como el maíz, solo requieren cuatro. Esto requiere más mano de obra y esfuerzo para regar manualmente, lo que puede generar ineficiencias y mayores gastos. Sin embargo, una investigación encontró que diferentes formas de automatización pueden ahorrar un 20% más de agua que los enfoques humanos (López, 2020). Como resultado, se confirma que varias formas de automatización son posibles y pueden ayudarnos a hacer un mejor uso del suministro de agua existente.

Pertenece a la familia de las fresas (Fragaria), y es una fruta de enorme importancia económica y nutricional en el sector alimentario por su sabor dulce y atractivo aspecto. Esta fruta es originaria de América y se cultiva en muchas partes del mundo, incluida Colombia. Es una planta herbácea perenne que produce frutos cónicos, de color rojo intenso, en forma de corazón, ricos en nutrientes como vitamina C, ácido fólico y antioxidantes. Además de su contenido nutricional, las fresas son fuente de químicos bioactivos, los cuales han sido tema de investigación por sus efectos favorables en la salud humana, como la prevención de enfermedades cardiovasculares y la disminución de inflamaciones. La fresa es una fruta con alto valor nutricional y beneficios para la salud, además de ser una rica fuente de compuestos





bioactivos. Su delicioso sabor y versatilidad en la industria alimentaria la convierten en una fruta muy apreciada en todo el mundo (Agencia de las Naciones Unidas (FAO), 2020).

### **3.2.14 Bomba centrífuga**

La bomba centrífuga, comúnmente conocida como bomba rotodinámica, se utiliza ampliamente como un medio para bombear fluidos incompresibles, como líquidos. Las bombas centrífugas, que funcionan en función del movimiento rotatorio, se clasifican como bombas hidráulicas que convierten la energía mecánica generada por un impulsor en energía cinética o de presión del fluido incompresible (Valderrama, 2022).

### **3.2.15 Motor eléctrico**

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, utilizando el principio de la interacción entre campos magnéticos y corrientes eléctricas. Básicamente, cuando se aplica una corriente eléctrica a través de un motor eléctrico, este genera un campo magnético que interactúa con otro campo magnético presente en su interior, lo que produce la rotación del motor y genera trabajo mecánico. Los motores eléctricos son ampliamente utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, desde electrodomésticos y vehículos eléctricos hasta maquinaria industrial y sistemas de transporte público, debido a su eficiencia, versatilidad y capacidad para convertir la energía eléctrica en movimiento mecánico afirma (Gómez, 2020).

### **3.2.16 Cultivo hidropónico**

La hidroponía es un método de cultivo de plantas que no requiere tierra como fuente de sustento. En cambio, un sistema de riego automático proporciona una solución nutritiva a las



raíces. Esta tecnología permite un control exacto sobre la cantidad y el tipo de nutrientes que se aportan a las plantas, mejorando así su desarrollo y producción. Además, la hidroponía permite un mayor uso de la superficie ya que las plantas pueden crecer a densidades más altas. Estos beneficios han aumentado su atractivo en la producción agrícola y alimentaria en entornos urbanos y periurbanos con tierras limitadas. Como resultado, en un mundo cada vez más poblado y urbanizado, la hidroponía se está convirtiendo en una alternativa viable y sostenible para la producción de alimentos (López, 2019).

### 3.3 Marco Legal

**Tabla 4**

*Decretos y Normas Relacionados con la agricultura*

| NORMA                | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 9 de 1979        | Establece las disposiciones sanitarias y fitosanitarias para la producción agrícola y la comercialización de alimentos en Colombia (El Congreso de Colombia, 1979).                                                                                                        |
| Decreto 616 de 2006. | Este decreto establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los insumos, materias primas, aditivos y coadyuvantes utilizados en la producción de alimentos para consumo humano o animal (Ministerio de la protección social, 2006).                                 |
| Ley 1333 de 2009     | Esta ley establece las normas de procedimiento para las actuaciones administrativas sancionatorias en materia ambiental, incluyendo las sanciones por el incumplimiento de las normas relacionadas con la producción agrícola y la protección ambiental (El congreso de la |



|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                               | república, 2009).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Decreto 2811 de 1974                                          | Por la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Esta ley establece los principios y normas básicas para la protección y conservación del medio ambiente en Colombia, así como las medidas para la prevención y control de la contaminación (El presidente de la república de Colombia, 1974).                                             |
| Decreto 1076 de 2015 sector ambiente y desarrollo sostenible. | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este decreto regula el manejo ambiental en Colombia, establece las normas y procedimientos para la gestión ambiental de proyectos y actividades, y fija las obligaciones de los responsables en materia ambiental (República Colombia, 2015).                                                |
| Resolución 1207 de 2014                                       | Por la cual se establecen las normas para la implementación de planes de manejo ambiental. Esta resolución establece los requisitos para la elaboración, implementación, seguimiento y evaluación de los planes de manejo ambiental, que son obligatorios para proyectos y actividades que puedan generar impactos ambientales significativos (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014). |
| Norma Técnica Colombiana NTC 45001:2018                       | Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo - Requisitos con orientación para su uso. Esta norma establece los requisitos para implementar un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo                                                                                                                                                                                        |



|                          |                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | en cualquier organización, con el objetivo de prevenir accidentes y enfermedades laborales (Sánchez, 2019).                                                                                                          |
| Ley 1955 de 2019         | Por medio de la cual se establece la política integral de economía circular (Presidencia de la República, 2019).                                                                                                     |
| Decreto 1072 de 2015     | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (Presidencia de la República, 2015).                                                                                                  |
| Resolución 2356 de 2019  | Por medio de la cual se establecen los requisitos fitosanitarios para la producción, manejo, postcosecha y exportación de frutas frescas, incluyendo fresas (Instituto Colombiano Agropecuario, 2019).               |
| Resolución 2408 de 2018  | Por medio de la cual se establecen los requisitos sanitarios para la producción, procesamiento, empaque, almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018). |
| Resolución 2408 de 2018. | Por medio de la cual se establecen los requisitos sanitarios para la producción, procesamiento, empaque, almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos.                                                 |

### 3.4 Marco Tecnológico

Los sistemas de riego automatizado son una solución tecnológica innovadora que brinda un control preciso y eficiente del suministro de agua a las plantas de fresas. Este tipo de tecnología permite optimizar el riego, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua en el momento oportuno, lo cual resulta en una mejora en la calidad de las fresas cosechadas. Una de las aplicaciones más destacadas de sistemas de riego



automatizado es el sistema de riego por goteo, el cual utiliza goteros estratégicamente ubicados para suministrar agua directamente a las raíces de las plantas, minimizando la pérdida de agua por evaporación y escorrentía.

Teniendo en cuenta la precisión en el suministro de agua, los sistemas de riego automatizado también ofrecen ventajas en términos de eficiencia en el uso del recurso hídrico. La programación y automatización del riego permite evitar el riego excesivo o insuficiente, lo cual puede resultar en un ahorro significativo de agua. Además, estos sistemas suelen contar con sensores y monitores que registran datos sobre la humedad del suelo, la temperatura y otros indicadores, lo que permite ajustar el riego en tiempo real y adaptarlo a las condiciones cambiantes del entorno, optimizando aún más el consumo de agua.

Otro dato favorable de los sistemas de riego automatizado es su capacidad de integrarse con otros sistemas y tecnologías agrícolas que pueden utilizar sensores de humedad del suelo, en combinación los sistemas de riego automatizado ajustan el riego en función de las necesidades reales de las plantas. Además, algunos sistemas de riego automatizado también ofrecen la posibilidad de integrarse con sistemas de gestión agronómica y software de monitoreo, lo que permite tener un mayor control y seguimiento del riego, optimizando la eficiencia del proceso de cultivo afirma (López, 2017).

Los sistemas de control climático son tecnologías avanzadas que permiten mantener las condiciones ambientales ideales en el invernadero para el cultivo de fresas. Estos sistemas utilizan una combinación de sensores, actuadores y dispositivos de control para regular de manera precisa factores clave como la temperatura, la humedad y la ventilación.



Mediante el uso de sensores de temperatura y humedad, los sistemas de control climático monitorean constantemente las condiciones del invernadero y ajustan automáticamente los parámetros necesarios para mantener un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas.

Los sistemas de control climático además de la humedad y la temperatura, también pueden gestionar otros aspectos del ambiente de cultivo como: La ventilación es esencial para mantener una buena circulación del aire en el invernadero, lo cual favorece la transpiración de las plantas y ayuda a prevenir problemas como la acumulación de humedad y la proliferación de enfermedades.

La implementación de sistemas de control climático en el cultivo de fresas ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, garantiza que las plantas se encuentren en un ambiente óptimo para su crecimiento, lo que puede resultar en una mayor productividad y calidad de las fresas cosechadas. Además, el uso eficiente de los recursos, como la energía y el agua, contribuye a una gestión más sostenible y responsable del cultivo. Los sistemas de control climático también permiten un mayor control y monitoreo del invernadero, lo que facilita la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas para optimizar el proceso de cultivo afirma (Altes, 2019).

Los sistemas de control climático son tecnologías avanzadas que permiten mantener las condiciones ambientales ideales en el invernadero para el cultivo de fresas. Estos sistemas utilizan una combinación de sensores, actuadores y dispositivos de control para regular de manera precisa factores clave como la temperatura, la humedad y la ventilación.

Mediante el uso de sensores de temperatura y humedad, los sistemas de control climático monitorean constantemente las condiciones del invernadero y ajustan



automáticamente los parámetros necesarios para mantener un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, si la temperatura aumenta por encima de los niveles deseados, los sistemas de control climático pueden activar la ventilación o la refrigeración para reducir la temperatura a los rangos adecuados, en nuestro caso si la humedad se vuelve demasiado baja, los sistemas de control climático pueden activar los riegos para mantener la humedad en niveles óptimos.

los sistemas de control climático además de la humedad y la temperatura, también pueden gestionar otros aspectos del ambiente de cultivo, como la ventilación, en este caso es esencial para mantener una buena circulación del aire en el invernadero, lo cual favorece la transpiración de las plantas y ayuda a prevenir problemas como la acumulación de humedad y la proliferación de enfermedades.

La implementación de sistemas de control climático en el cultivo de fresas ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, garantiza que las plantas se encuentren en un ambiente óptimo para su crecimiento, lo que puede resultar en una mayor productividad y calidad de las fresas cosechadas. Además, el uso eficiente de los recursos, como la energía y el agua, contribuye a una gestión más sostenible y responsable del cultivo. Los sistemas de control climático también permiten un mayor control y monitoreo del invernadero, lo que facilita la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas para optimizar el proceso de cultivo afirma (Toro , 2020).

La automatización y monitorización son componentes esenciales en la gestión tecnificada de invernaderos, que abarcan la implementación de sistemas automatizados para el control y seguimiento de parámetros clave como la temperatura, humedad, iluminación y



riego, así como la utilización de sistemas de monitorización y registro de datos para el análisis y toma de decisiones en tiempo real.

Los sistemas de automatización permiten el control preciso y automatizado de los diferentes parámetros ambientales dentro del invernadero, lo cual garantiza un manejo eficiente y ajustado a las necesidades específicas de los cultivos de fresas. En nuestro caso, mediante el uso de sensores y actuadores, los sistemas automatizados pueden ajustar automáticamente la humedad en función de los requerimientos de las plantas, asegurando condiciones óptimas para su desarrollo afirma (Osorio, 2019).

La monitorización y registro de datos en tiempo real es otra herramienta valiosa en la gestión tecnificada de invernaderos. Los sistemas de monitorización pueden recopilar datos sobre diferentes variables ambientales y del cultivo, como temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>, pH del suelo, entre otros, y registrarlos en una base de datos centralizada. Estos datos pueden ser analizados y visualizados en tiempo real, lo cual permite a los agricultores tomar decisiones informadas y realizar ajustes precisos en el manejo del invernadero para optimizar el crecimiento y rendimiento de las fresas.

Hay que tener en cuenta que la automatización y monitorización también facilitan la implementación de estrategias de agricultura de precisión, donde se pueden aplicar técnicas como la irrigación de precisión, la fertirrigación y la aplicación selectiva de agroquímicos, basándose en los datos recopilados y analizados. Esto permite una gestión más eficiente y sostenible del cultivo de fresas, minimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental.

La implementación de sensores y sistemas de monitoreo en el cultivo de fresas permite la obtención de datos precisos sobre parámetros clave del cultivo, tales como la





conductividad eléctrica, el pH del suelo, la humedad foliar, entre otros. Estos datos son recopilados de forma automatizada y en tiempo real, lo cual brinda a los agricultores información detallada para la toma de decisiones informadas en el manejo del cultivo y la optimización de recursos.

La utilización de sensores en el cultivo de fresas puede ser de gran beneficio para los agricultores, ya que les permite obtener información en tiempo real sobre el estado del cultivo, lo cual facilita la identificación temprana de posibles problemas y la implementación de acciones correctivas de manera oportuna. Por ejemplo, mediante la medición de la conductividad eléctrica del suelo, los agricultores pueden evaluar la disponibilidad de nutrientes y ajustar las prácticas de fertilización de forma precisa, evitando la sobre fertilización o la falta de nutrientes, lo cual contribuye a un manejo eficiente y sostenible del cultivo infiere. (Osorio D, 2019). Los sistemas de monitoreo del cultivo también permiten el seguimiento de las condiciones ambientales en tiempo real, lo cual es crucial para el manejo adecuado del riego y la ventilación en el cultivo de fresas. Por ejemplo, mediante la medición de la humedad foliar, los agricultores pueden determinar el momento adecuado para la aplicación del riego, evitando el estrés hídrico o el exceso de humedad en las plantas. Asimismo, la medición del pH del suelo en tiempo real permite ajustar la acidez del sustrato, lo cual es esencial para garantizar un ambiente óptimo para el crecimiento de las fresas afirma (Osorio, 2019).

#### **4. Diseño de aspectos metodológicos**

##### **4.1 Línea de investigación**



Diseño de máquinas o equipos industriales.

Uno de los principales objetivos del ingeniero mecánico, es el diseño y construcción de maquinaria, herramientas o equipos que permitan la solución de un problema industrial; mejorando su eficiencia, a un bajo costo, con un óptimo aprovechamiento de la energía y con el menor impacto ambiental.

Diseño de máquinas o equipos industriales.

Uno de los principales objetivos del ingeniero mecánico, es el diseño y construcción de maquinaria, herramientas o equipos que permitan la solución de un problema industrial; mejorando su eficiencia, a un bajo costo, con un óptimo aprovechamiento de la energía y con el menor impacto ambiental.

#### **4.2 Enfoque mixto**

Se hace uso de este enfoque mediante el empleo de herramientas gráficas y tablas, para la interpretación de resultados de datos recolectados de los sectores cultivados y cosechados como infiere en el estudio realizado de producción departamental (Minagricultura. 2021). Que pudieron brindar su ayuda para la adquisición de información. Población y muestra.

Este enfoque mixto nos proporciona una visión más completa y profunda del riego en invernaderos, permitiendo una comprensión más afina de los procesos, factores y dinámicas relacionadas con la gestión del agua en la agricultura.

#### **4.3 Investigación cuantitativa y cualitativa.**

Investigación mixta, ya que implica la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos para abordar los objetivos planteados.

Se lleva a cabo una investigación cuantitativa para evaluar y comparar los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado en términos de precisión y costo. Esto implicó la



recopilación y análisis de datos numéricos, como mediciones de precisión y costos de adquisición y mantenimiento de los sensores, para determinar cuál de ellos es el más adecuado para su aplicación en sistemas de monitoreo en la detección y control del riego.

Luego realizamos una investigación cualitativa para desarrollar un protocolo de operación y mantenimiento para el sistema de riego. Esto implica la revisión de literatura científica y técnica, así como entrevistas o encuestas a expertos en sistemas de riego, para identificar las mejores prácticas y recomendaciones en términos de operación y mantenimiento de sistemas de riego eficientes.

Desarrollamos una emulación y maqueta a escala del sistema eléctrico funcional, que involucra tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Utilizando mediciones cuantitativas de la humedad del suelo y la producción de fresa en la maqueta para evaluar la efectividad del sistema de control propuesto, equilibrando la humedad del suelo y mejorar la producción de fresa. También están investigaciones, estudios donde confirmaban observaciones cualitativas y entrevistas con expertos en los cultivos de fresa.

#### **4.4 Método**

Aplicamos un método deductivo, estamos realizando una revisión de investigaciones y estudios realizados para identificar los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado para la detección y control del riego en invernaderos de cultivo de fresa, analizando las características técnicas, precisión y costo de cada tipo de sensor. Con base en esta revisión, seleccionamos el sensor más adecuado para el sistema de control de humedad del suelo. Además, llevando a cabo el diseño del sistema eléctrico que integrará el sensor seleccionado con los componentes necesarios para la regulación de la humedad del suelo.



En esta etapa, realizamos una emulación y maqueta a escala del sistema eléctrico funcional diseñado. Esto permitirá simular el funcionamiento del sistema en condiciones controladas de laboratorio o campo, para validar su eficiencia y realizar ajustes si es necesario. Realizamos pruebas de funcionamiento del sistema, registrando los datos obtenidos del sensor y del sistema de regulación de la humedad del suelo.

Por último, establecemos un protocolo de operación y mantenimiento del sistema de riego diseñado. Esto incluirá los procedimientos de instalación, calibración y configuración del sensor, así como los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema eléctrico. Elaborando una guía para el usuario que describa detalladamente los pasos a seguir para la correcta operación y mantenimiento del sistema.

#### 4.5 Variables

**Tabla 5**

*Tipos de variables*

| <b>Variables dependientes</b>          | <b>Variables independientes</b> |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| Voltaje                                | Caudal                          |
| Sensores                               | Precisión del sensor            |
| Emulación y maqueta a escala           |                                 |
| Protocolo de operación y mantenimiento |                                 |
| presión y caudal                       |                                 |

Fuente: Autoría propia.

### 5. Elementos de administración y control

#### 5.1 Talento humano



Jose Luis Hidalgo Matabanchoy, Jhon Marlon Castro Montenegro y asesores Ing. Jaiver Realpe, Ing. Juan Guillermo Chinchajoa y el Asesor Metodológico Ing. Msc. Jorge Andrés Segovia Ortega.

## 5.2 Presupuesto

**Tabla 6**

*Presupuesto costo unitario y costo total de emulación del circuito*

Presupuesto del Prototipo

| Materiales                 | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|----------------------------|----------|----------------|-------------|
| Arduino                    | 1        | 40000          | 40000       |
| Fuente 12V                 | 1        | 35000          | 35000       |
| Sensor de humedad de suelo | 1        | 24000          | 24000       |
| Electroválvulas            | 1        | 38000          | 38000       |
| Cable                      | 1        | 46000          | 46000       |
| Resistencias               | 1        | 26000          | 26000       |
| Manguera                   | 3m       | 50000          | 15000       |
|                            |          | Total          | 224000      |

Fuente: Autoría propia

**Tabla 7**

*Presupuesto costo unitario y costo total del circuito*

Presupuesto del Prototipo

| Materiales | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
|------------|----------|----------------|-------------|
| PLC        | 1        | 850000         | 850000      |
| Fuente 12V | 1        | 60000          | 60000       |



|                            |    |        |        |
|----------------------------|----|--------|--------|
| Sensor de humedad de suelo | 1  | 24000  | 24000  |
| Electroválvulas            | 1  | 99000  | 99000  |
| Cable                      | 1  | 50000  | 50000  |
| Resistencias               | 1  | 26000  | 26000  |
| Sensor de nivel            | 3m | 50000  | 15000  |
| Breaker                    | 2  | 47000  | 94000  |
| Termomagnético             | 1  | 180000 | 180000 |
| Contactador                | 1  | 85000  | 85000  |
| Caja de control            | 1  | 50000  | 50000  |
| Pilotos                    | 2  | 8000   | 16000  |
| Pulsadores                 | 3  | 20000  | 60000  |
|                            |    | Total  | 844000 |

Fuente: Autoría propia

## 6. Análisis y resultados

Diseñar un sistema de control que permita equilibrar la humedad del suelo para mejorar la producción de fresa. Para lograr este objetivo, se plantean tres objetivos específicos que son seleccionar el tipo de sensor más adecuado para el monitoreo y control del riego, realizar una emulación y maqueta a escala del sistema eléctrico funcional, y establecer un protocolo de operación y mantenimiento para el sistema de riego.

### 6.1 Consumo de agua por planta



El consumo de agua de una planta de fresa puede variar dependiendo de varios factores como la temperatura, la humedad relativa, la luz y la edad de la planta. Sin embargo, en promedio, una planta de fresa puede consumir entre 0.5 a 1 litro de agua por semana en condiciones óptimas de crecimiento (Fuerte, 2022).

## 6.2 Área del invernadero y matas sembradas

### Área

Fórmula 1

$$A=L*L$$

$$A=10*15=150m^2$$

Donde:

A: Área

L: Lado

## 6.3 Área por mata

$$\text{Área por cada mata} = 45cm^2$$

$$\text{Matas en el invernadero} = 320$$

$$\text{Área Total de siembra } A = 0.45 * 320 = 144m^2$$

## 6.4 Consumo de agua por planta

$$\text{Agua consumida semanal por la planta} = 750 \text{ cm}^3$$

## 6.5 Consumo de agua total del cultivo

$$CT = \text{Consumo de agua diaria por planta} * \text{Número de plantas en la siembra}$$

$$750cm^3 * 320 = 32 \text{ lts}$$

El consumo de agua aproximado es de 32 L diarios

## 6.6 Bomba de agua

**Figura 5***Electrobomba Centrifuga 1 Hp*

Fuente: Truper 2023

**Tabla 8***Características bomba*

| <b>Tipo</b>                | <b>Centrifuga</b> |
|----------------------------|-------------------|
| Potencia                   | 1HP               |
| Voltaje                    | 110V              |
| Fase                       | 1F                |
| Presión Máxima             | 47 Psi            |
| Diámetro de succión        | 1in               |
| Diámetro de descarga       | 1in               |
| Altura máxima de elevación | 33m               |
| Caudal máximo              | 110 L/min         |

Fuente: Autoría propia

**6.7 Válvula Solenoide**



**Figura 6**

*Válvula solenoide 110V*



Fuente: Covna 2023

**6.8 Tubería pvc**

20 Metros de tubería pvc de 1 in

**6.9 Control****Figura 7**

*Plc Logo*



Fuente: Electrónica (2022)

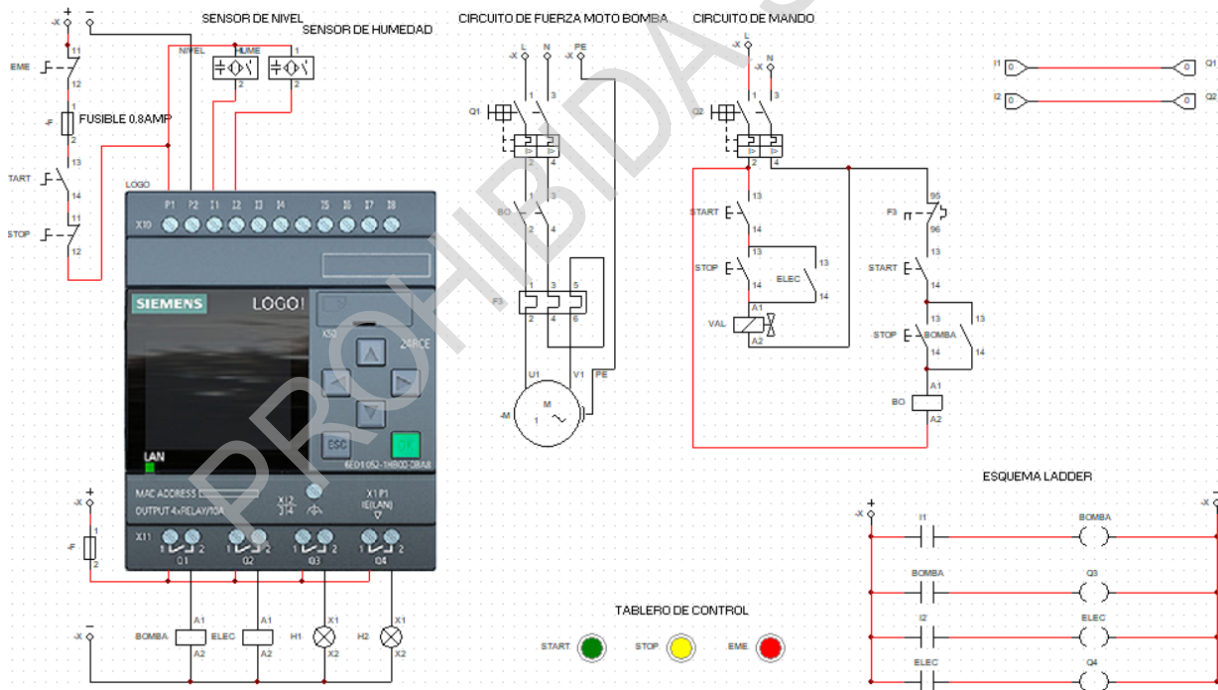
Características:

- Tensión de alimentación: 12-24VDC
- Frecuencia de red admisible: 63Hz máx.
- Número de entradas digitales: 8, 4 de estas entradas pueden ser análogos
- Número de salidas: 4 tipo relé
- Salida de relé: con carga inductiva: 3A máx, con carga resistiva: 10A máx.
- Puerto Ethernet
- Servidor Web
- Compatible con riel DIN de 35mm

## 6.10 Diagrama de control

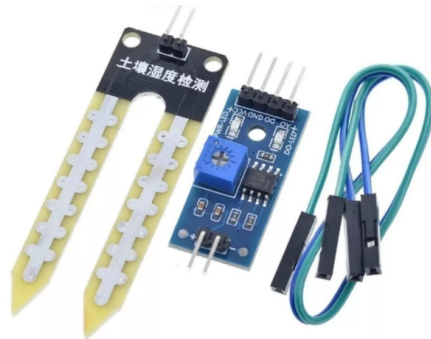
Figura 8

Diagrama de control cado simu



Fuente: Autoría propia

## 6.11 Sensor

**Figura 9***Sensor De Humedad Del Suelo*

Fuente: Mercado libre (2023)

**6.11 Arduino****Figura 10***Arduino uno*

Fuente: Mercado libre (2023)

**Código arduino de la emulación**

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>
// Definición de pines
const int pinSensorHumedad = A0;
const int pinSensorAgua = A1;
const int pinRelayBomba = 2;
```



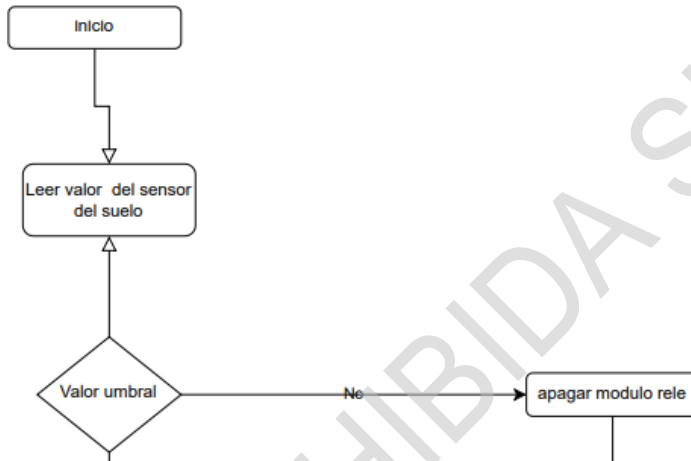
```
const int pinRelayValvula = 9;  
const int pinBotonInicio = 3;  
const int pinBotonParada = 4;  
const int pinBotonEmergencia = 5;  
const int pinLedVerde = 6;  
const int pinLedAzul = 7;  
const int pinLedRojo = 8;
```

Para continuación del código anexo 1

## 6.12 Diagrama Arduino

**Figura 11**

*Diagrama Arduino uno*



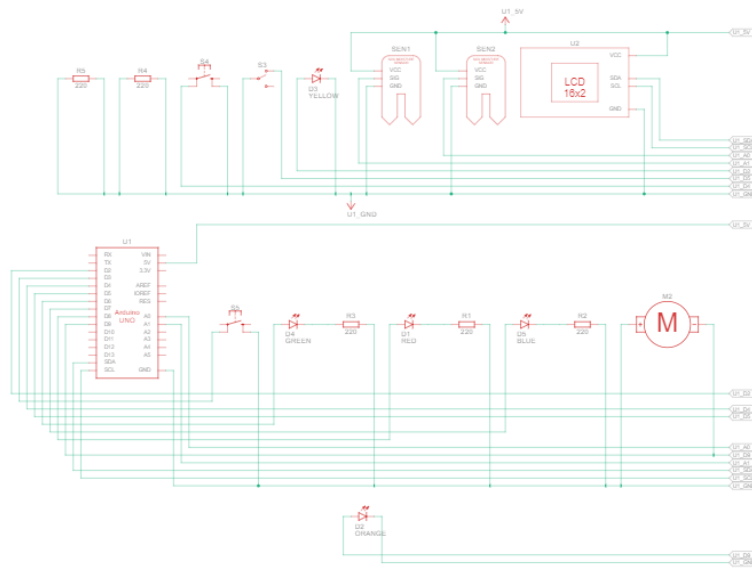
Fuente: Autoría propia

Para la continuación del diagrama anexo 2

## 6.13 Circuito



### Esquema Arduino segundo análisis



Fuente: Autoría Propia

### 6.14 Depósito de recurso hídrico

El depósito de recurso hídrico con el que se trabaja es de material plástico con una capacidad de 5,000 Lt lo que permite que el sistema de riego cuente con la presión necesaria para abastecer todas las plantas y permitir que su crecimiento sea óptimo.

El depósito debe contener agua por más de dos meses en caso de escasez por lo que el material PVC es adecuado evitando que se genere hongos o microorganismos en el agua, después del tiempo indicado se debe realizar el mantenimiento el cual se hace mediante drenaje del agua y utilización de jabón o algún tipo de desinfectante el cual no afecta en la parte física ni química del depósito, permitiendo así contener agua limpia durante dos meses y a la vez generando que la fluencia de esta sea continúa.

Para el cálculo de la presión tenemos que:

La presión generada por el tanque de reserva ubicado a 10 metros es:

PAG: DENSIDAD x GRAVEDAD x ALTURA



$$V = 5000 \text{ litros} = 5 \text{ metros } 3m.$$

$$PAG = \rho * g * h.$$

$$PAG = 1000 * 9.81 * 10$$

$$PAG = 98100 \text{ Pa}$$

### 6.15 Selección de tubería (Material)

Colocamos como principal material la tubería PVC ya que esta cuenta con gran capacidad de resistencia y es un material muy rentable ante otras opciones, tiene una elevada resistencia a la abrasión y su densidad es de 1.4 gramos por centímetro cúbico esta es una buena resistencia mecánica y al impacto

Tiene una resistencia a la corrosión y su costo de instalación es muy bajo, teniendo en cuenta todas estas características podemos decir que la más adecuada es la tubería PVC.

### 6.16 Cálculo de la tubería de descarga

para calcular la tubería de descarga se debe tener en cuenta el flujo del sistema y la velocidad de descarga de esta manera se obtiene el diámetro de la tubería el cuál se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q=V * A$$

donde:

Q= flujo del sistema

V= velocidad del sistema

A= área del tubo de PVC

Para tener un diseño óptimo se debe considerar una velocidad de descarga que esté en rangos entre 0,5 m/s y 2 m/s debido a que si se supera este rango el desgaste de las tuberías sea superior a los límites, por lo que se toma un valor de velocidad igual a 1,5 m/s.



Continuando con el cálculo de la tubería se despeja el diámetro de la fórmula anterior, del área la cual se reemplaza su fórmula facilitando este cálculo

$$(Q)=240 \text{ litros } 24 \text{ horas} \approx 10 \text{ litros por hora}$$

$$(Q)=10 \text{ litros } 3600 \text{ segundos} \approx 0.00278 \text{ litros por segundo}$$

entonces tenemos que:

$$A=vq=0.00278 \text{ litros por segundo } 1.5 \text{ metros por segundo} \approx 0.001853 \text{ metros cuadrados}$$

despejamos del área el diámetro

$$0.001853 \text{ metros}^2 = \pi \cdot (d/2)^2$$

despejamos

$$d = 2 \cdot \sqrt{0.001853 \text{ metro}^2 / \pi} \approx 0.077 \text{ metros}$$

$$d \approx 7.7 \text{ cm}$$

dando a esto un 30% de tolerancia se calcula

$$7.7 \cdot 0.3 = 2.31 \text{ cm}$$

entonces

$$7.7 \text{ cm} + 2.31 \text{ cm} = 10.01 \text{ cm}$$

Siendo este el diámetro interior necesario para abastecer el riego, pero debido a motivos de diseño y ya que el valor es 10 cm de diámetro interior elegimos la tubería de pvc existente en el mercado la cual es de 4 pulgadas favoreciendo el funcionamiento del sistema.

### 6.17 Consumo de bomba

Consumo 11 amp

Tanque de 5000lts a una altura de 10 metros

Vol 110





$$5000 \text{ L} / 116 \text{ L} \cdot \text{min} = 43.10 \text{ min}$$

Quiere decir que la bomba se demora 43 min o 0.71 horas en llenar la reserva de agua

$$I = V \cdot A$$

$$110 \text{ vol} \cdot 11 \text{ amp} = 1.21 \text{ kw}$$

Sacamos el consumo por hora

$$1.21 \text{ kw} \cdot 0.71 \text{ h} = 0.859 \text{ kwh}$$

### 6.18 Consumo válvula solenoide

Consumo 0.045 amp

Vol 110 vol

$$I = V \cdot A$$

$$I = 110 \text{ vol} \cdot 0.045 \text{ amp} = 0.005 \text{ kw}$$

$$0.005 \text{ kw} \cdot 0.5 \text{ h} = 0.0025 \text{ kwh}$$

### 6.19 Consumo plc

Vol 12 vol

Consumo 15 amp

$$I = V \cdot A$$

$$I = 12 \text{ vol} \cdot 0.0015 \text{ amp} = 0.018 \text{ kw}$$

$$0.018 \text{ kw} \cdot 24 \text{ h} = 0.432 \text{ kwh}$$

**6.20 Cálculo de cableado y protecciones** La corriente total del sistema es la suma de las corrientes de la bomba la electroválvula y el PLC.

$$C. \text{ total (A)} = C \text{ de la bomba (A)} + C \text{ de la electroválvula (A)} + C \text{ del PLC (A)}$$

$$C \text{ total (A)} = 11 \text{ A} + 0,045 \text{ A} + 0.025 \text{ A} = 11.07 \text{ A}$$



Utilizando ya las tablas de capacidades establecidas las cuales se usan para cables de corriente en cobre como referencia, podemos decir que para una corriente de 26,045 amperios el calibre adecuado y más correcto sería el de 10 AWG.

La resistencia del cable se puede calcular utilizando la resistividad del cobre

(0,00000172 Ohm/m) , suponiendo que la longitud del cable es 10 m la cual podría variar dependiendo de la instalación que se requiera hacer tenemos

Resistencia del cable ( $\Omega$ ) = Resistividad del cobre ( $\Omega/m$ )  $\times$  Longitud del cable (m)

Resistencia del cable ( $\Omega$ ) = 0,00000172  $\Omega/m$   $\times$  10 m = 0,0000172  $\Omega$

Ahora, podemos calcular la caída de vol

Caída de Voltaje (V) = Corriente total (A)  $\times$  Resistencia del Cable ( $\Omega$ ) Caída de Voltaje (V) = 26.045 A  $\times$  0.0000172  $\Omega$  = 0.000447 V (o 0.447 mV).

Resistencia Específica del Cable: 0.00000172  $\Omega/m$  (Resistencia del cobre).

La caída de voltaje puede estar normalmente en torno al 3-5% para sistemas de baja tensión. Tomaremos un 3% como ejemplo.

Caída de Voltaje Permitida (V) = Tensión de Alimentación (V)  $\times$  0.03 Caída de Voltaje Permitida (V) = 110 V  $\times$  0.03 = 3.3 V

Resistencia del Cable ( $\Omega$ ) = Caída de Voltaje Permitida (V) / Corriente Total (A)

Resistencia del Cable ( $\Omega$ ) = 3.3 V / 26.045 A = 0.1266  $\Omega$

Resistencia del Cable ( $\Omega$ ) = Resistividad del cobre ( $\Omega/m$ )  $\times$  Longitud del Cable (m) / Área Transversal ( $m^2$ )



$\text{Área Transversal (m}^2\text{)} = \text{Longitud del Cable (m)} \times \text{Resistencia del Cable } (\Omega) /$   
 $\text{Resistividad del cobre } (\Omega/\text{m})$ 
 $\text{Área Transversal (m}^2\text{)} = 10 \text{ m} \times 0,1266 \Omega / 0,00000172 \Omega/\text{m} =$   
 $0,737 \text{ m}^2$

El área transversal equivale al diámetro al cuadrado, asumiendo una forma circular del cable. Entonces, el diámetro del cable sería:

$\text{Diámetro del Cable (m)} = \sqrt{(4 \times \text{Área Transversal (m}^2\text{)} / \pi)}$ 
 $\text{Diámetro del Cable (m)} = \sqrt{(4$   
 $\times 0,737 \text{ m}^2 / \pi)} = 1,525 \text{ mm}$

El calibre del cable más cercano que podría requerir es aproximadamente 15 AWG, que tiene un diámetro aproximado de 1,45 mm.

**Protección:** Para la protección contra sobrecorriente, puede utilizar un disyuntor termomagnético. Escoge un disyuntor que tenga un valor nominal igual o ligeramente superior a la corriente total del sistema, en este caso, un disyuntor de 30 A.

**Cable:** Para un calibre de cable de 15 AWG (aproximadamente 1,45 mm de diámetro), se podrían considerar cables de cobre, que son comunes y muy disponibles. Estos cables tienen aislamiento termoplástico y son adecuados para instalaciones en conductos, bandejas y sistemas de cableado en general.

**Protección contra sobrecorriente:** Para la protección contra sobrecorriente, usamos un disyuntor termomagnético de 30 amperios.

**Protección de los dispositivos individuales:** Generalmente, los dispositivos como bombas, electroválvulas y PLC ya cuentan con protecciones integradas en su diseño.



Dado que la tensión es más baja la pérdida del voltaje es menor entonces se debe usar un cable de calibre normal por lo que en esta situación se utilizará un calibre 22 AWG este puede ser adecuado para el sistema

Protección contra sobrecorriente: La protección contra sobrecorriente seguirá siendo necesaria. Puede utilizar un disyuntor termomagnético de 2 amperios, que sea apropiado para corrientes más bajas. Esto protegerá el cableado y el PLC contra posibles sobrecargas

## **7. Conclusiones**

Después de llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre el riego automatizado para fresas, se han obtenido conclusiones significativas que demuestran la viabilidad y los beneficios de implementar este sistema en la producción de fresas.

Optimización del riego: La automatización del riego en cultivos de fresa permite una optimización precisa y eficiente de la cantidad de agua suministrada a las plantas. Mediante la utilización de sensores de humedad en el suelo y la programación de algoritmos, es posible ajustar la frecuencia y la duración del riego de acuerdo con las necesidades específicas. Esto asegura un suministro constante de humedad sin excesos ni deficiencias, lo que conduce a un mejor desarrollo de las raíces y un crecimiento saludable de las fresas.

Ahorro de agua: La automatización del riego contribuye significativamente al ahorro de agua en comparación con los métodos de riego tradicionales. Los sensores de humedad y la parte de control permiten administrar el riego de manera precisa, evitando el desperdicio de agua causado por el riego excesivo. Esto es especialmente importante en regiones con escasez de agua o donde el recurso hídrico es costoso.



Mejora en la calidad del producto: El riego automatizado se traduce en un suministro constante y equilibrado de agua y nutrientes a las fresas. Esto tiene un impacto directo en la calidad del producto final. Las fresas cultivadas con un sistema automatizado de riego tienden a ser más grandes, jugosas y dulces, lo que aumenta su valor en el mercado y la satisfacción del consumidor.

Reducción de costos: A pesar de la inversión inicial requerida para establecer un sistema de riego automatizado, a largo plazo se produce una reducción significativa en los costos operativos. La eficiencia en el uso del agua y la optimización de los recursos permiten disminuir los gastos relacionados con el riego, como la energía y el mantenimiento.

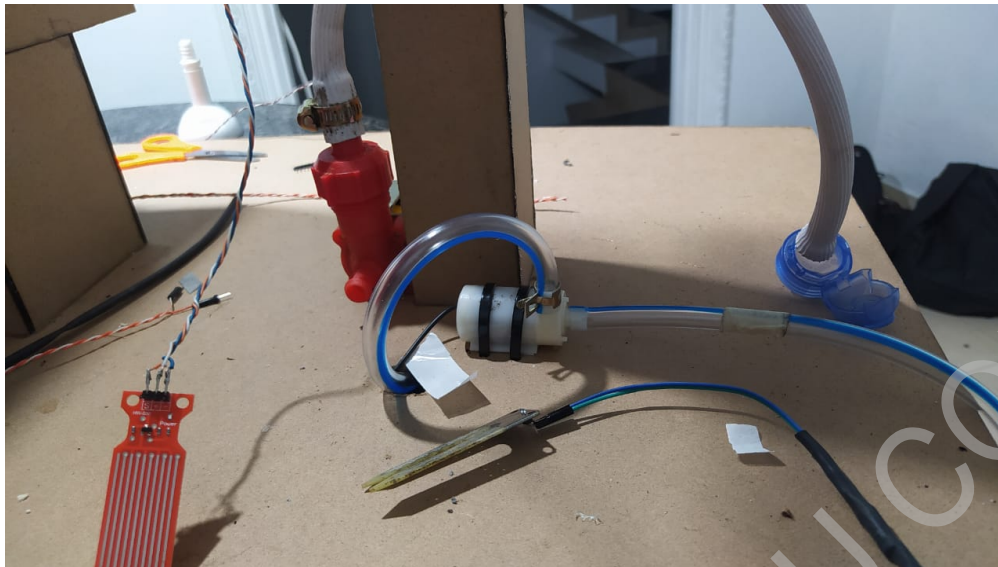
Mayor control y monitoreo: La automatización del riego proporciona a los agricultores un mayor control sobre el proceso de cultivo. Los datos recopilados por los sensores permiten monitorear en tiempo real las condiciones del suelo y la planta, lo que facilita la toma de decisiones informadas. Los ajustes pueden realizarse de manera remota, lo que mejora la flexibilidad y la capacidad de respuesta ante cambios ambientales.

Se realizará una revisión de la literatura para identificar los diferentes tipos de sensores disponibles en el mercado y su aplicación en sistemas de monitoreo de riego. Se seleccionará el sensor más adecuado en términos de precisión y costo, y se validó su funcionamiento mediante pruebas en la maqueta

Se realizará una emulación y maqueta a escala del sistema eléctrico funcional para evaluar su funcionamiento y detectar posibles fallos o mejoras necesarias antes de la implementación final.

**Figura 15**

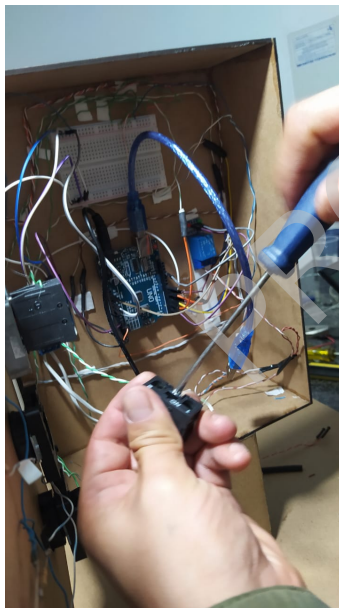
*Trabajo maqueta*



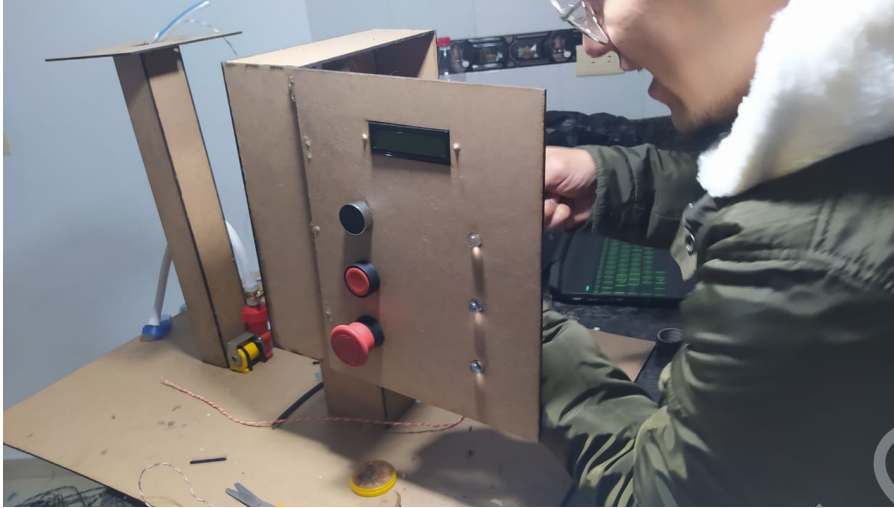
Fuente: Autoría Propia

**Figura 16**

*Instalacion electrica maqueta*



Fuente: Autoría Propia

**Figura 17***Módulo de control*

Fuente: Autoría Propia

Se elaborará un protocolo de operación y mantenimiento para el sistema de riego que incluirá instrucciones detalladas sobre la operación del sistema, la frecuencia de mantenimiento preventivo y las medidas de seguridad necesarias.

Diseñar un sistema de control para equilibrar la humedad del suelo en un invernadero de cultivo de fresa, con el fin de mejorar la producción de este cultivo. Para lograrlo, se emplea un enfoque mixto de investigación que combina métodos cuantitativos y cualitativos para evaluar los diferentes tipos de sensores disponibles, realizar una emulación del sistema eléctrico y establecer un protocolo de operación y mantenimiento.

### **8. Recomendaciones**

Realiza un diseño detallado del sistema de riego en caso aumentar sensores, incluyendo la ubicación de los dispositivos (bomba, electroválvula, PLC), la disposición de las tuberías y la ubicación de las áreas a regar.



Asegúrese de que las tuberías estén dispuestas de manera eficiente para minimizar la pérdida de presión y maximizar la uniformidad del riego.

#### Cableado y Alimentación:

Utilice cables de calidad y calibre adecuados para cada dispositivo, considerando las especificaciones eléctricas y la distancia entre los componentes.

Asegúrese de tener una fuente de alimentación confiable y estable para el sistema.

#### protecciones:

Utilice disyuntores termomagnéticos adecuados para cada componente y el cableado.

Verifica que los dispositivos individuales (bomba, electroválvula, PLC) tengan protecciones internas y externas cuando sea necesario.

#### Voltaje y tensión:

Asegúrese de que todos los dispositivos funcionen con el voltaje adecuado (12V en el caso del PLC) y de que la tensión de alimentación (110V) esté disponible de manera segura.

#### Aislamiento y Protección Ambiental:

Protege los componentes eléctricos de la humedad y el polvo utilizando cajas de conexiones herméticas o sistemas de protección adecuados.

Asegúrese de que todos los cables están aislados y protegidos para evitar daños o cortocircuitos.

Programa el PLC adecuadamente para controlar la bomba y la electroválvula según los horarios y necesidades de riego.

Considere la lógica de operación y los modos de funcionamiento, como riego programador, riego manual y detección de fallas.

#### Pruebas y Mantenimiento:





Realice pruebas exhaustivas del sistema antes de su implementación completa para asegurarte de que todos los componentes funcionan correctamente.

Establece un plan de mantenimiento periódico para inspeccionar y limpiar los dispositivos, verificar las conexiones eléctricas y garantizar un funcionamiento continuo.

Cumplimiento Normativo:

Asegúrese de cumplir con las normas y los controles eléctricos y de seguridad locales al instalar y operar el sistema.

## 9. Anexos

### 9.1 Anexo 1 código arduino

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>
// Definición de pines
const int pinSensorHumedad = A0;
const int pinSensorAgua = A1;
const int pinRelayBomba = 2;
const int pinRelayValvula = 9;
const int pinBotonInicio = 3;
const int pinBotonParada = 4;
const int pinBotonEmergencia = 5;
const int pinLedVerde = 6;
const int pinLedAzul = 7;
const int pinLedRojo = 8;
// Estados del sistema
enum Estado { INICIO, ACTIVO, APAGADO };
Estado estadoActual = INICIO;
// Variables de estado
int nivelHumedad = 0;
int nivelAgua = 0;
// Variable para definir el límite inferior del nivel de agua para encender la bomba
const int limiteAgua = 100;
// Configuración del LCD
Adafruit_LiquidCrystal lcd(0);
void setup() {
  // Configuración inicial de pines y LCD
  pinMode(pinSensorHumedad, INPUT);
  pinMode(pinSensorAgua, INPUT);
  pinMode(pinRelayBomba, OUTPUT);
  pinMode(pinRelayValvula, OUTPUT);
  pinMode(pinBotonInicio, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBotonParada, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBotonEmergencia, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinLedVerde, OUTPUT);
```



```

pinMode(pinLedAzul, OUTPUT);
pinMode(pinLedRojo, OUTPUT);
lcd.begin(16, 2);
lcd.setBacklight(LOW);
lcd.print("Sistema de Riego");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Iniciando...")
// Apagamos inicialmente todos los componentes
detenerSistema();
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("Listo para usar");
}
void loop() {
  // Lecturas y cálculos
  nivelHumedad = analogRead(pinSensorHumedad);
  int porcentajeHumedad = map(nivelHumedad, 0, 1023, 0, 100);
  nivelAgua = analogRead(pinSensorAgua);
  // Manejo de botones
  if (digitalRead(pinBotonInicio) == LOW) estadoActual = ACTIVO;
  if (digitalRead(pinBotonParada) == LOW) estadoActual = APAGADO;
  if (digitalRead(pinBotonEmergencia) == LOW) {
    detenerSistema();
    encenderLED(pinLedRojo);
    lcd.clear();
    lcd.print("Emergencia");
    delay(2000); // Esperamos un poco para que el usuario pueda ver el mensaje
    estadoActual = APAGADO;
  }
  // Lógica principal basada en estados
  switch (estadoActual) {
    case INICIO:
      // Código para el estado inicial, si es necesario
      break;
    case ACTIVO:
      gestionarRiego(porcentajeHumedad);
      break;
    case APAGADO:
      detenerSistema();
      lcd.clear();
      lcd.setBacklight(LOW);
      break;
  }
}
void gestionarRiego(int porcentajeHumedad) {
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Humedad: ");
  lcd.print(porcentajeHumedad);
  lcd.print("%   ");
  if (nivelHumedad < 650) {
    digitalWrite(pinRelayValvula, HIGH);
    encenderLED(pinLedVerde);
    apagarLED(pinLedAzul);
  }
}

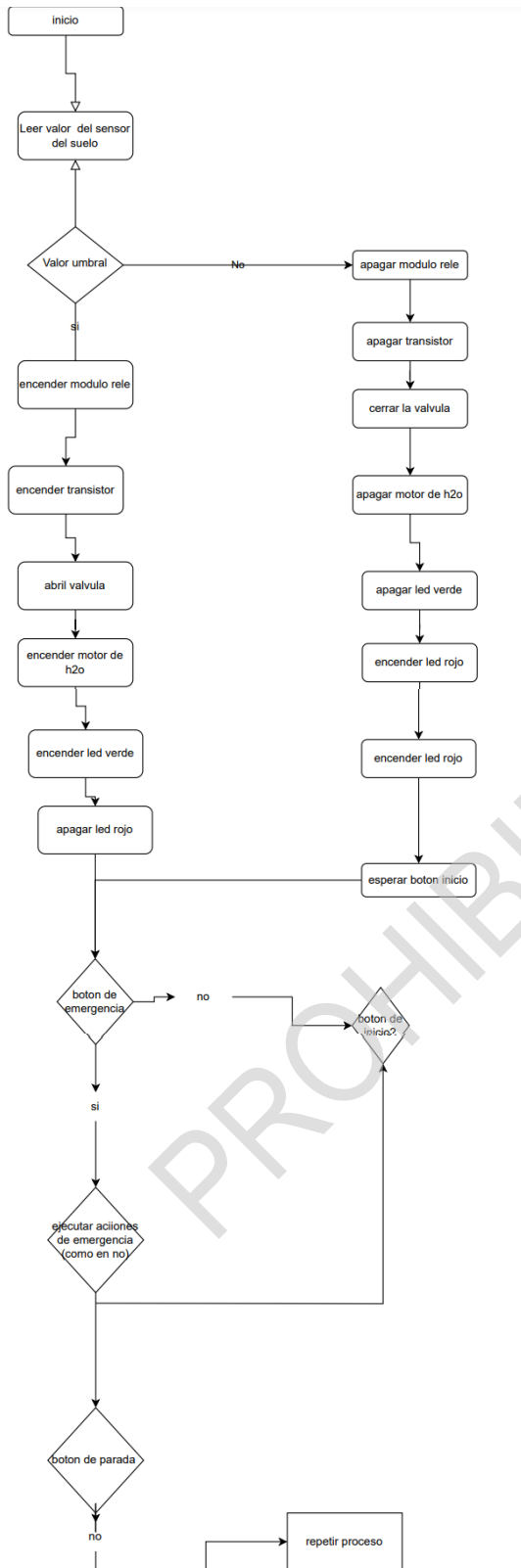
```



```
    apagarLED(pinLedRojo);
} else if (nivelHumedad >= 650 && nivelHumedad <= 760) {
    digitalWrite(pinRelayValvula, LOW);
    encenderLED(pinLedAzul);
    apagarLED(pinLedVerde);
    apagarLED(pinLedRojo);
} else {
    digitalWrite(pinRelayValvula, LOW);
    encenderLED(pinLedRojo);
    apagarLED(pinLedVerde);
    apagarLED(pinLedAzul);
}
}
if (limiteAgua < nivelAgua) {
    digitalWrite(pinRelayBomba, HIGH);
} else {
    digitalWrite(pinRelayBomba, LOW);
}
}
void encenderLED(int pinLED) {
    digitalWrite(pinLED, HIGH);
}
void apagarLED(int pinLED) {
    digitalWrite(pinLED, LOW);
}
void detenerSistema() {
    digitalWrite(pinRelayBomba, LOW);
    digitalWrite(pinRelayValvula, LOW);
    apagarLED(pinLedVerde);
    apagarLED(pinLedAzul);
    apagarLED(pinLedRojo);
    lcd.setBacklight(LOW);
}
```

PROHIBIDA SU COPIA

## 9.2 Diagrama





## 10. Referencias

- Acuña, J. (2020). *fresa*. Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. *Corredor Tecnológico Agroindustria*.  
[http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion\\_bogota/Manuales/04-manual-fresa-2020-EBOOK.pdf](http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/Manuales/04-manual-fresa-2020-EBOOK.pdf)
- Chamorro, M. (2014). *Evaluación de la eficacia de tratamientos de desinfección de suelo en el control de hongos patógenos en el cultivo de la fresa, en las condiciones de cultivo de la provincia de Huelva* [Tesis de doctorado, instituto de investigación y formación agraria y pesquera].  
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/79829/2014chamoevalu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- El campo es de todos Minagricultura. (2021). Cadena de la Fresa.  
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Fresa/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Fuente, D. (2022). *Evaluación de la huella hídrica en la producción de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Cointzio. Un análisis de vulnerabilidad hídrica*. [Tesis de doctorado, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo]. Archivo digital.  
[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/6785/FEVAQ-D-2022-0091.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6785/FEVAQ-D-2022-0091.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- López, G. (2020). *Sistema de control de riego automatizado para un uso eficiente del agua*. [Tesis de pregrado, Universidad Republica de el Alto]. Archivo digital.  
<http://repositorio.upea.bo/bitstream/123456789/105/1/PDG%20GUIDO%20ALVARO%20LOPEZ%20MAMANI.pdf>



- Pilco, A. (2022). *Optimización del sistema de riego usando agricultura 4.0 para el cultivo de fresas en la asociación de campesinos de miñarica*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Indoamérica]. Archivo digital.  
<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/4458>
- Kreisler, D. (2018). *Análisis del impacto de las principales revoluciones científicas y tecnológicas en la sociedad: de la primera revolución industrial a la industria 4.0*. [Tesis de pregrado Universidad Pontificia Comillas Madrid,]. Archivo digital.  
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/22693/TFG%20%20Kreisler%20Joly%2C%20Diego%20JoseI%20.pdf?sequence=1>
- Iraceburu, J. (2014). *Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad*. [Tesis de pregrado, E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación]. Archivo digital.  
[https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/11846/TFG\\_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Stienecker, R. (2018). Basic electrical control circuits. *Industrial Press*
- Bolton, W. (2015). Programmable logic controllers. *Elsevier*
- Pansini, A. (2015). Power Electronics and Power Quality Applications. *Springer*
- Paltineanu, C. (2016). Soil moisture sensors for irrigation management in agriculture. *Agricultural water management*
- Ñamo S, (2019). *Desarrollo de un prototipo para la automatización de un sistema de riego de agua y control remoto mediante la plataforma zolertia remote*. [Tesis de pregrado, Escuela politécnica nacional,] Archivo digital.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20343/1/CD%209814.pdf>



- Fernández J, (2020). Diseño y manejo de invernaderos. *Mundi-Prensa Libros*
- FAO. (2020). *Cultivo de la fresa*.
- López, G. (2019). Cultivo hidropónico. Producción agrícola bajo cubierta. *Mundi-Prensa Libros*.
- Ashrae, (2017). Ashrae handbook-fundamentals. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.
- Recknagel, S. (2018). Building Services Engineering. *Springer*.
- Khandpur, R. (2019). Handbook of Analytical Instruments. *Tata McGraw-Hill Education*.
- Siegel R, (2019). HVAC Controls and Systems. *CRC Press*.
- ANCHIVILCA, R. (2018). *Abonamiento orgánico y fertilización npk en arveja verde (pisum sativum l.) cv. rondo, bajo riego por goteo en tupicocha, Huarochirí*. [Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. Archivo digital.  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3559/anchivilca-rojas-guiller-henry.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ley 9 de 1979. (1979, enero 24). El Congreso de Colombia. No 35.193.  
<file:///C:/Users/HP/Downloads/Ley%20n%C3%BAm.%209%20de%2024%20de%20Enero%20de%201979.pdf>
- Decreto 616 de 2006. (2006, feb 28). Ministerio de protección social.  
<https://www.ica.gov.co/getattachment/15425e0f-81fb-4111-b215-63e61e9e9130/2006d616.aspx>
- Ley 1333 de 2009. (2009, Julio 21). El congreso de la república. No 47.417.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>
- Decreto 2811 de 1974. (1974, diciembre 18). El presidente de la república de Colombia. No 34243.



<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551#:~:text=ART%3%8DCULO%201.,utilidad%20p%3%BAblica%20e%20inter%3%A9s%20social>

Decreto 1076 de 2015. Sector ambiente y desarrollo sostenible. (2015, mayo 26).

la república Colombia.

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=78153](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78153)

Resolución número 1207 de 2014. (2014, julio 25). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. No 4.942.

[https://fenavi.org/wpcontent/uploads/2018/05/Resoluci%C3%B3n\\_1207\\_2014-Reuso-aguas-tratadas-1.pdf](https://fenavi.org/wpcontent/uploads/2018/05/Resoluci%C3%B3n_1207_2014-Reuso-aguas-tratadas-1.pdf)

Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo-requisitos con orientación para su uso.

(2018, marzo 12). Norma técnica ntc-iso colombiana. No 45.001.

<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=zgvmyxvsdgrvbwfipbnwymzazyxnjfgd4ojflotfkzja0mtzytg3nza>

Decreto número 2408 de 2018. (2018, 24 diciembre). Ministerio de salud y protección social No 2.408.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/decreto-2408-de-2018.pdf>

Chipiaje, I. (2021). *Fertirrigación por goteo para cultivo de fresas en túnel aplicando energías renovables* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Archivo digital.

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1814&context=ing\\_automatizacion](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1814&context=ing_automatizacion)

Valera, V. (2014). Programación y manejo del riego localizado en invernadero mediante tres métodos de estimación de la evapotranspiración en el cultivo de pimentón (*capsicum*





annuum l.). *researchhate*

[https://www.researchgate.net/publication/325270720\\_programacion\\_y\\_manejo\\_del\\_rieg\\_o\\_localizado\\_en\\_invernadero\\_mediante\\_tres\\_metodos\\_de\\_estimacion\\_de\\_la\\_evapotranspiracion\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_pimenton\\_capsicum\\_annuum\\_l?enrichid=rgreq-64c5dda81bd4090bac951d5db749d77e-xxx&enrichsource=y292zxjqywdlozmynti3mdcymdtbuzo2mij3mzu3mjyntmxodzamtuyvjkxmzy4njq4mw%3d%3d&el=1\\_x\\_2&esc=publicationcoverpdf](https://www.researchgate.net/publication/325270720_programacion_y_manejo_del_rieg_o_localizado_en_invernadero_mediante_tres_metodos_de_estimacion_de_la_evapotranspiracion_en_el_cultivo_de_pimenton_capsicum_annuum_l?enrichid=rgreq-64c5dda81bd4090bac951d5db749d77e-xxx&enrichsource=y292zxjqywdlozmynti3mdcymdtbuzo2mij3mzu3mjyntmxodzamtuyvjkxmzy4njq4mw%3d%3d&el=1_x_2&esc=publicationcoverpdf)

Cabello, T. (2015). Problemática de plagas en cultivos hortícolas en invernaderos: evolución, y situación actual. *Researchhate*

[https://www.researchgate.net/publication/256446016\\_Problematica\\_de\\_plagas\\_en\\_cultivos\\_horticolos\\_en\\_invernaderos\\_evolucion\\_y\\_situacion\\_actual?enrichId=rgreq-4613e7bcbceb73eafb3a8eab937cb24-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI1NjQ0NjAxNjtBUzoxODkyMjU5NTc4NjM0MzBAMTOyMjEyNjM5MjY4NQ%3D%3D&el=1\\_x\\_2&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/256446016_Problematica_de_plagas_en_cultivos_horticolos_en_invernaderos_evolucion_y_situacion_actual?enrichId=rgreq-4613e7bcbceb73eafb3a8eab937cb24-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI1NjQ0NjAxNjtBUzoxODkyMjU5NTc4NjM0MzBAMTOyMjEyNjM5MjY4NQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)

Google Earth. (2023). *Mapa corregimiento de cabrera*. Recuperado el 20 de abril de 2023.

<https://earth.google.com/web/@1.21796438,-77.20435523,2846.58294714a,1153.30788768d,35y,153.36452656h,0t,0r>

Departamento Nacional de Planeación. (2015). PAZcífico .

<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/todossomospazcifico/SitePages/Plan-Todos-Somos-Pazcifico.aspx>

Gobernación de Nariño. (2020). Plan departamental de extensión agropecuaria departamental Nariño 2020-2023.



<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PD EA/Nari%C3%B1o.pdf>

Cadena, M. (2017). Estudio de factibilidad para el cultivo hidropónico de fresa (fragaria x ananassa d), en facatativá cundinamarca. [Tesis de pregrado, Universidad nacional abierta y a distancia – unad facultad de ciencia agrícolas pecuarias y del medio ambiente-ecapma]. archivo digital.

[https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/14322/estudio%20de%20factibilidad%20para%20el%20cultivo%20hidrop%3nico%20de%20fresa%20\(fragaria%20x%20ananassa%20d\).%20en%20facativ%20cundinamarca..pdf;jsessionid=e5b6a10ceff1d54e1610cca44e08c309.jvm1?sequence=1](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/14322/estudio%20de%20factibilidad%20para%20el%20cultivo%20hidrop%3nico%20de%20fresa%20(fragaria%20x%20ananassa%20d).%20en%20facativ%20cundinamarca..pdf;jsessionid=e5b6a10ceff1d54e1610cca44e08c309.jvm1?sequence=1)

Valderrama, L. (2022). Optimización energética en sistemas de bombeo con bombas centrífugas, desarrollo de un caso práctico [Tesis de maestría, Universidad EAFIT escuela de ingenierías]. Archivo digital.

[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/31760/ValderramaGarcia\\_LinaMarcela\\_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/31760/ValderramaGarcia_LinaMarcela_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Gómez, I (2020). Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos (1ª edición).

COPYRIGHT.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ypzODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=motor+el%C3%A9ctrico+funcionamiento&ots=LAq3HaZTEM&sig=qCJaB3mMe\\_TZXG1-pGjtauJzyek#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ypzODwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=motor+el%C3%A9ctrico+funcionamiento&ots=LAq3HaZTEM&sig=qCJaB3mMe_TZXG1-pGjtauJzyek#v=onepage&q&f=false)

Sánchez, D. (2019). Documentación del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo ntc-iso 45001: 2018 al interior de la corporación club campestre de Neiva “ccn” [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Archivo digital. [content \(ucc.edu.co\)](https://content.ucc.edu.co)



- Lopez, K. (2017). Sistema automatizado de riego por goteo en cultivo de café para la granja experimental blonay, chinacota, norte de santander [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Archivo digital. [1160378.pdf \(ufps.edu.co\)](#)
- Altes B. (2019). y Systems Altes-Buch, Queralt and Quoilin, Sylvain and Lemort, Vincent 533 Greenhouses: A Modelica Library for the Simulation of Greenhouse Climate and Energy Systems
- y Systems Altes-Buch, Queralt and Quoilin, Sylvain and Lemort, Vincent 533 Greenhouses: A Modelica Library for the Simulation of Greenhouse Climate and Energy Systems. *Biblioteca de Modelica para la simulación de sistemas de energía y clima de invernadero.*
- <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/233577/1/Modelica2019paper5A2.pdf>
- Toro, S. (2020). Sistemas automatizados para el control del recurso hídrico y variables ambientales bajo invernadero: aplicaciones y tendencias. *Entre Ciencia e Ingeniería, vol.14 (No. 27).*
- <https://doi.org/10.31908/19098367.1796>
- Osorio-Luna, D. F. (2019). Automation and control of greenhouse implemented technologies: a review. *Visión electrónica, 2(2), 381–394.*
- <https://doi.org/10.14483/22484728.18439>
- Fuente, D. (2022). Evaluación de la huella hídrica en la producción de aguacate y fresa en municipios de la Subcuenca de Cointzio. Un análisis de vulnerabilidad hídrica. [tesis doctoral, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Archivo digital.
- [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/6785/FEVAQ-D-2022-0091.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/6785/FEVAQ-D-2022-0091.pdf?sequence=1&isAllowed=y)