

**Diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de humedad y temperatura para huertas en zonas urbanas de Bogotá**

**Elaborado por:**

**Nicolás Andrés Morales Moreno**

**Juan Pablo Pulido Ángel**

**Docente:**

**Lina María Chacón Rivera**

**Universidad EAN**

**Proyecto de grado**

**Bogotá, 2023**

### **Resumen ejecutivo:**

El desarrollo de sistemas de monitoreo agrícola se ha vuelto una prioridad en la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles. En el contexto de Bogotá, una ciudad en constante expansión, la producción de cultivos y huertas dentro de zonas urbanas presenta desafíos únicos que requieren enfoques tecnológicos.

El distrito capital se conforma en gran parte de territorio rural, en estas zonas se presenta la mayor producción agrícola del distrito, por el contrario, en las zonas urbanas la producción agrícola es baja debido a que el espacio disponible para la agricultura es muy limitado, por lo tanto, las prácticas agrícolas urbanas se ven reflejadas en la creación de huertas caseras ubicadas en patios traseros, azoteas, jardines comunitarios, terrenos baldíos y parcelas pequeñas, no obstante, la producción de alimentos a partir de huertas es baja puesto que las personas no tienen suficiente tiempo, capacidad para supervisar los cultivos, conocimiento del uso de herramientas tecnológicas, etc.

Ante estas restricciones en la urbanidad, en un intento por superar estos desafíos, se desarrolla la robótica agrícola, introduciendo sistemas automatizados en huertos urbanos. Este avance no solo busca mejorar la eficiencia, sino también brindar apoyo a quienes se dedican a la agricultura urbana. Mediante el uso de robótica agrícola se desarrolla un sistema de monitoreo de humedad y temperatura con el fin de automatizar un huerto, de esta manera se asiste y ayuda a personas que tengan cultivos urbanos y aquellas que se encuentren interesadas. Además, se contrasta la eficiencia entre un sistema con tecnología y un sistema convencional.

### **Palabras clave:**

Agricultura, Huertas urbanas, Humedad del suelo, Sensores, Agricultura urbana, Sistema de riego, Invernadero, Tomate Cherry, Control, Temperatura, Monitoreo Agrícola, Automatización.

## Tabla de contenido:

|   |    |
|---|----|
| Resumen ejecutivo:.....   | 2  |
| Palabras clave: .....   | 2  |
| Tabla de contenido:.....  | 3  |
| Índice de tablas .....  | 5  |
| Índice de figuras.....  | 6  |
| Introducción: .....   | 7  |
| Objetivos .....   | 7  |
| Objetivo general: .....   | 7  |
| Objetivos específicos: .....                                    | 7  |
| Definición del problema: .....                                  | 8  |
| Justificación: .....  | 9  |
| Análisis de requerimientos:.....                                | 10 |
| Marco de referencia: .....                                      | 11 |
| Definición agricultura: .....                                   | 11 |
| Evolución de la agricultura: .....                              | 11 |
| Agricultura Urbana:.....  | 12 |
| Tipos de cultivo para agricultura en ciudades:.....             | 13 |
| Cultivo de tomate Cherry:.....                                  | 13 |
| Sistemas de control tecnificados para agricultura urbana: ..... | 13 |
| Lazos de control: .....   | 14 |
| Componentes tecnológicos: .....                                 | 14 |
| Análisis de restricciones: .....                                | 16 |
| Restricciones ambientales: .....                                | 16 |
| Restricciones económicas: .....                                 | 16 |

|  |    |
|--|----|
| Restricciones de accesibilidad:.....                             | 16 |
| Restricciones socioculturales: .....                             | 16 |
| Restricciones de espacio: .....                                  | 17 |
| Metodología para la selección y desarrollo de la solución: ..... | 17 |
| Alternativa 1:.....  | 17 |
| Alternativa 2:.....  | 17 |
| Alternativa 3:.....  | 18 |
| Selección de solución: .....                                     | 18 |
| Diseño Metodológico:.....  | 21 |
| Definición del prototipo: .....                                  | 21 |
| Desarrollo del prototipo: .....                                  | 22 |
| Experimentación: .....   | 30 |
| Validación: .....  | 32 |
| Análisis de resultados: .....                                    | 33 |
| Análisis de impacto ambiental: .....                             | 36 |
| Análisis de costos:.....   | 37 |
| Conclusiones: .....  | 40 |
| Referencias:.....  | 42 |
| Anexos: .....  | 45 |

## Índice de tablas

|                |    |
|----------------|----|
| Tabla 1 .....  | 19 |
| Tabla 2 .....  | 20 |
| Tabla 3: ..... | 21 |
| Tabla 4 .....  | 38 |
| Tabla 5 .....  | 38 |

## Índice de figuras

|                    |    |
|--------------------|----|
| Figura 1: .....    | 22 |
| Figura 2: .....    | 23 |
| Figura 3: .....    | 24 |
| Figura 4: .....    | 25 |
| Figura 5: .....    | 25 |
| Figura 6: .....    | 26 |
| Figura 7: .....    | 26 |
| Figura 8: .....    | 27 |
| Figura 9: .....    | 27 |
| Figura 10: .....   | 28 |
| Figura 11.1: ..... | 29 |
| Figura 11.2: ..... | 29 |
| Figura 11.3: ..... | 30 |
| Figura 12: .....   | 31 |
| Figura 13: .....   | 31 |
| Figura 14: .....   | 33 |
| Figura 15: .....   | 34 |
| Figura 16: .....   | 35 |

## **Introducción:**

El desarrollo de sistemas de monitoreo agrícola se ha vuelto una prioridad en la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles. En el contexto de Bogotá, una ciudad en constante expansión, la producción de cultivos y huertas dentro de zonas urbanas presenta desafíos únicos que requieren enfoques tecnológicos.

A medida que las huertas urbanas y los espacios de cultivo en terrazas se vuelven más comunes en Bogotá, surge la necesidad de gestionar eficazmente los factores que afectan el crecimiento de las plantas. La humedad del suelo y la temperatura ambiente son dos de los elementos que influyen en los cultivos. Este proyecto se centra en la creación y diseño de un sistema de monitoreo de humedad y temperatura agrícola específicamente para las zonas urbanas de Bogotá. La implementación de sensores capaces de recopilar datos en tiempo real permitirá un control preciso de las condiciones ambientales en las que se desarrollan los cultivos. La implementación de sensores de monitoreo en estas áreas asistirá a los agricultores urbanos y a las comunidades locales en el crecimiento y producción de sus cultivos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Desarrollar un sistema de monitoreo de humedad y temperatura agrícola mediante el uso de sensores que recopilen datos en tiempo real.

### **Objetivos específicos:**

- Investigar los conceptos teóricos necesarios para la implementación del sistema de monitoreo.
- Diseñar el algoritmo de control del sistema.
- Desarrollar el sistema eléctrico en el cual se incluyan todos los componentes electrónicos.
- Crear un interfaz que muestre los datos obtenidos por los sensores.
- Contrastar los datos obtenidos entre el sistema con tecnología y el sistema tradicional.

### **Definición del problema:**

El uso de los recursos naturales en el sector agrícola ha tenido una mayor demanda, tanto así que la optimización de los recursos se ha convertido en una problemática a resolver.

Debido a un aumento en el crecimiento demográfico la demanda de alimentos es cada vez mayor, según la FAO (Food and Agriculture organization) se espera que en el año 2050 la población sea de 10 billones de personas lo que requiere un aumento en la producción de alimentos del 70 %, por lo tanto, se requieren sistemas agrícolas con alta productividad. El aumento de la producción en el sector agrícola se ve afectada debido a diferentes factores ambientales, como lo son el acceso a las tierras, la escases de recursos en ciertas zonas. Según las estadísticas del FAO en el mundo un 25% de todas las tierras de cultivo están altamente degradadas, mientras que en Colombia un 12.3%, es decir aproximadamente 14 de los 114 millones de hectáreas se ven afectadas por la alta degradación de las tierras, por lo que cada vez se cuenta con superficies menos aptas para la producción. Además, según el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (s.f) en Colombia de los suelos aptos solo se destina un 4,6% del 19,3% para actividades agrícolas, lo que limita gran parte de la producción en el sector.

Según la alcaldía de Bogotá, la ciudad está compuesta en un 75 % de territorio rural, donde la mayor densidad poblacional se encuentra en zonas urbanas, además el aumento de población en estas zonas se da por mayor calidad de vida, en los últimos años la producción del sector agrícola en Bogotá ha aumentado gracias a las redes de agricultores de las diferentes zonas rurales y periurbanas, en las zonas urbanas la producción de cultivos se da a través de huertas caseras ubicadas en la ciudad en lugares como patios traseros, azoteas, jardines comunitarios, terrenos baldíos y parcelas pequeñas, aun así, la producción de alimentos por medio de huertas caseras es baja debido a la falta de tiempo de las personas, su incapacidad para supervisar los cultivos y su falta de información en cuanto a herramientas tecnológicas (sensores, inteligencia artificial, automatización).

### **Justificación:**

La agricultura es un pilar importante para sustentar la vida humana, ya que proporciona alimentos. Sin embargo, el crecimiento de la población y la escasez de recursos naturales tales como el agua y los nutrientes del suelo están disminuyendo, lo que afecta negativamente la capacidad de la población mundial para cumplir con las necesidades de la agricultura. En América Latina se han desarrollado una serie de proyectos relacionados con las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, que, según el BID (Banco Interamericano de Desarrollo), estos proyectos piloto han aumentado los rendimientos entre un 50% y un 80%, además de reducir los costos entre un 20% y un 40%. Por lo tanto, es importante explorar cómo la robótica agrícola puede ayudar a abordar estos desafíos, mejorar la productividad agrícola, la sostenibilidad y garantizar la seguridad alimentaria en el futuro.

En este proyecto, la robótica agrícola se considera como una solución para mejorar la productividad en el sector agrícola y reducir el consumo de recursos naturales, en ella se utilizan tecnologías digitales avanzadas como inteligencia artificial, automatización y análisis de datos.

Este proyecto permitirá comparar la eficiencia en la producción agrícola utilizando tecnología avanzada y métodos tradicionales. Además, una investigación de este sector también puede contribuir al desarrollo de políticas públicas y estrategias empresariales que promuevan la adopción de la agricultura robótica en diferentes contextos agrícolas. Esto permitiría aprovechar al máximo el potencial de la tecnología para mejorar la seguridad alimentaria, proteger los recursos naturales y promover un desarrollo sostenible en la agricultura.

La implementación de un sistema de riego automatizado conlleva una serie de beneficios económicos significativos. En primer lugar, la automatización del riego en el cultivo permite un uso más eficiente de los recursos, lo que resulta en una reducción de los costos asociados al consumo de estos. Además, este proyecto podría tener potencial como emprendimiento con una posible salida al mercado, atrayendo así a posibles inversionistas y brindando un impulso significativo al desarrollo del proyecto.

### **Análisis de requerimientos:**

Para la realización del proyecto se debe tener en cuenta las partes interesadas, por lo tanto, es necesario analizar los requerimientos de cada una de ellas con el fin de obtener las especificaciones de diseño del sistema de monitoreo.

En las zonas urbanas las condiciones para la producción agrícola son más complejas, debido a factores ambientales (climáticos, terreno) y personales (tiempo, conocimiento). Por lo tanto, se optó por un cultivo de Tomate Cherry que se adapta a las condiciones necesarias en estas zonas. En primer lugar, el Tomate Cherry requiere una temperatura entre 15° C y 30° C para un crecimiento óptimo, además necesita que el suelo este constantemente húmedo (65%). El cultivo necesita 6 horas diarias de luz directa y agua filtrada para su riego.

Según Rosales (2008) la calidad del fruto estará determinada por la apariencia física, firmeza y sabor, asegura que en cuanto a la firmeza el tomate debe ser firme al tacto, no debe estar suave ni deformarse fácilmente debido a su sobre madurez, además que el color del tomate debe ser de anaranjado-rojo a rojo intenso. (pp.11-12).

En cuanto a verificar el sabor del tomate, Peet (1996) describe que un buen sabor de tomate esta dado por una acidez alta (PH de 4.0-4.5) y un contenido de azúcar alto (6°-10 brix).

Para la implementación del sistema automatizado se requieren unas dimensiones específicas, en la urbanidad la limitación de espacio hace que el sistema sea pequeño, por lo tanto, las dimensiones del invernadero son 90 cm de ancho, 160 cm de alto y 90 cm de profundo. Cuenta con un sistema de riego automatizado por medio de una mini bomba de agua sumergible que opera con un voltaje entre 2.5-6 V controlada por el sensor de humedad (YL-69) obteniendo medidas precisas con una desviación de 0.03V, además de un sensor de temperatura (DHT-11) con una incertidumbre de +/- 2°C que indique la temperatura del ambiente.

El sistema automatizado está enchufado a un tomacorriente que suministra una tensión de 110V, la placa de desarrollo Arduino trabaja con un voltaje de 7-12V y los sensores a 5V, por lo tanto, se implementa un adaptador AC-DC que reduce los 110V a 12V.

Para el cultivo, en el proceso de germinación se utiliza un semillero relleno de sustrato coco, en él se plantan 2 semillas de tomate Cherry a 1cm de la superficie del sustrato, posteriormente se pasa la planta a una matera de 25 cm de alto y 15 cm de ancho, el contenido de la matera es de un 70 % de tierra negra y un 30 % cascarilla de arroz.

## **Marco de referencia:**

### **Definición agricultura:**

Según la secretaria de ambiente del gobierno de ciudad de México (s.f) la agricultura se puede definir como una actividad que se ocupa de la producción de cultivo del suelo, el desarrollo y recogida de las cosechas, por lo tanto, es aquella que involucra una serie de procesos, desde la preparación del terreno hasta la cosecha de los cultivos (p.2). A lo largo de la historia, la agricultura ha evolucionado y se ha utilizado una variedad de tecnologías para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos agrícolas.

### **Evolución de la agricultura:**

La agricultura desde su origen ha tenido una notable evolución, teniendo 4 etapas hasta su estado actual, dicha evolución se caracterizó por la implementación de tecnología con el fin de mejorar su productividad, en la agricultura 1.0 (origen) se utilizaba únicamente el esfuerzo humano y animal, con una productividad baja, según Melgar (2018) la agricultura 2.0 se caracteriza por ser industrial y mecanizada, en general se aplicaron tractores, cosechadoras, aperos y maquinas, además con el uso de estas herramientas la aplicación de medios de producción se aplica de manera homogénea en todo el terreno y se genera mayor producción respecto a la etapa 1.0 (pp.13). No obstante, un problema de esta etapa de la agricultura es que se sacrifica el impacto ambiental, mediante el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero debido al combustible de origen fósil que se usa en los tractores.

La agricultura 3.0 a diferencia de la etapa anterior, tienen a una mecanización avanzada debido a la implementación de componentes electrónicos, en esta etapa se logra controlar de forma precisa el trabajo en campo, es así como en el año 1990 se crearía la agricultura de precisión, según Marote (2010) el factor que potencio e hizo posible este punto en la agricultura fue el GPS, ayudando con la guía del tractor y control electrónico, además, también aparecen las aplicaciones del uso de satélites, brindando así a la agricultura componentes como los drones y sensores. La agricultura de precisión con la implementación de estas tecnologías lograría recuperar información detallada de las parcelas y expresar dicha información en mapas, con el fin de analizar y dar tratamientos diferenciales a distintas partes del cultivo (pp.151-152).

La etapa actual en la cual se encuentra la agricultura es denominada como agricultura 4.0, según la FAO (2020) los procesos y actores agrícolas implicados en el trabajo están en un constante contacto a través de redes, es decir que se crea un ecosistema digital conectado por sistemas de manera coordinada. En el campo de la agricultura 4.0 se maneja la robótica agrícola a través de dispositivos mecatrónicos y autónomos que tienen como fin la realización de tareas de producción de cultivos bajo supervisión humana (pp.5-10). De igual manera la FAO determina que en la robótica agrícola se utiliza gran variedad de tecnologías, entre las cuales se encuentran:

- Los drones se utilizan para monitorear y vigilar el cultivo en tiempo real, además para realizar la cartografía del terreno.
- Los sensores ambientales registran los datos meteorológicos climáticos y de la humedad del suelo.
- La información y datos obtenidos de los sensores se guardan para ser procesados por un software o inteligencia artificial, este conjunto de datos se define como Big Data.
- La inteligencia artificial instruye a las máquinas para tomar decisiones teniendo en cuenta situaciones específicas previamente entrenadas.

### **Agricultura Urbana:**

Para entender la definición de la agricultura urbana la FAO (s.f) afirma que “la Agricultura Urbana se denomina a la producción de alimentos dentro de los confines de las ciudades: en los patios, terrazas, huertos comunitarios y huertas de frutales, así como en espacios públicos o no aprovechados”(p. 1), de modo que se da un uso nuevo a estos espacios para la generación de alimentos; de igual manera Degenhart (2016) afirma que la implementación y existencia de esta actividad se da desde tiempos inmemoriales, pero su auge e incremento se dio durante el siglo XX, debido al exponencial incremento de población urbana, siendo la migración del campo a la ciudad una de las principales causas del aumento.

## **Tipos de cultivo para agricultura en ciudades:**

La agricultura urbana puede abarcar una amplia variedad de cultivos, dichos cultivos son aquellos que se adaptan a las limitaciones de espacio y condiciones del entorno, de igual manera pueden variar según la región y el clima, según el OAB (Observatorio ambiental de Bogotá) (2021) los cultivos que más se manejan en la agricultura urbana son:

- Hortalizas. tomates, hierbas aromáticas, pimientos, fresas, zanahoria, cebollas, cultivo del tomate

## **Cultivo de tomate Cherry:**

El cultivo de tomate Cherry ha experimentado un notorio aumento en su popularidad en la agricultura contemporánea, destacándose por características distintivas como su tamaño compacto y ciclo de crecimiento más breve.

El riego del cultivo de tomate Cherry, demanda riegos generosos durante las primeras etapas del cultivo y en condiciones ambientales secas y calurosas. El sustrato ideal debe mantenerse cálido y húmedo. Durante el verano, el cultivo necesita un riego de 3 a 4 veces por semana, ajustado según la humedad del sustrato. En invierno, la planta requiere menos agua, siendo suficiente un riego de solo 2 veces por semana.

En cuanto a la luz y la temperatura, el tomate Cherry debe recibir al menos 6 horas de luz directa al día y su temperatura óptima oscila entre 20 °C y 30 °C, aunque puede tolerar mínimas de 13 °C y máximas de 40 °C. Mantener estas condiciones lumínicas y térmicas contribuye significativamente al crecimiento saludable y a la producción exitosa de tomates Cherry. Estos cuidados son esenciales para maximizar la calidad y el rendimiento del cultivo.

## **Sistemas de control tecnificados para agricultura urbana:**

### ***Sistema de ambiente controlado:***

Uno de los mejores métodos para la agricultura urbana, es la CEA (Controlled-environment Agriculture), según Schupp (2021) el CEA se basa en el concepto del cultivo de invernadero que tiene como fin mantener el sistema en un área en el que se regulan las variables (Temperatura, humedad, iluminación). Además, afirma que una de las principales ventajas de la implementación de la CEA en zonas urbanas es el impacto ambiental que generan, debido al uso adecuado y óptimo de los recursos (agua, suelo, pesticidas).

### ***Sistema de riego automatizado:***

Es un sistema que utiliza componentes mecánicos y electrónicos para controlar la cantidad de agua que se provee a un huerto o cultivo, se utiliza con el fin de suministrar agua de manera automática en un momento determinado, una de las ventajas de la implementación de este sistema es que suministra el agua de manera precisa y permite que el cultivo se encuentre constantemente húmedo, por otro lado, al optimizar el uso de agua, se reduce el gasto recursos.

### **Invernadero:**

Los invernaderos diseñados para zonas urbanas representan una solución innovadora que aborda los desafíos de la agricultura en entornos urbanos mediante un enfoque compacto. Según Ecoinventos (2022) los invernaderos pueden integrar sistemas avanzados de monitoreo automatizado para controlar factores ambientales clave, como temperatura y humedad, permitiendo una gestión precisa de las condiciones de crecimiento con el fin de mejorar la eficiencia de recursos, también incorporan tecnologías sostenibles como riego por goteo y energías renovables, contribuyendo a la sostenibilidad en entornos urbanos.

### **Lazos de control:**

Según Vásquez (s.f) en su artículo Ingeniería de control, Los lazos de control son esenciales para mantener condiciones deseadas en procesos o sistemas específicos. Estos lazos, fundamentales en sistemas automáticos, utilizan diversos elementos como válvulas, medidores y PLCs para controlar variables y mantenerlas en un valor deseado. Un ejemplo común es el lazo de control de temperatura, crucial en entornos industriales y domésticos. La importancia de los lazos de control radica en su capacidad para estabilizar sistemas, permitiendo a los ingenieros obtener resultados consistentes en procesos industriales. Existen dos tipos de sistemas: en lazo abierto, donde la salida no se compara con la señal de referencia, y en lazo cerrado, que realiza esta comparación para conocer la evolución de la variable en todo momento.

### **Componentes tecnológicos:**

Para la implementación del sistema de riego automático se requiere un controlador que tome los datos enviados por un sensor de humedad y que a partir de dichos datos active una mini bomba que ejecute el sistema de riego, los elementos que se utilizan son:

### ***Placa de desarrollo Arduino:***

Según Arduino (s.f) , Arduino UNO es una placa electrónica de desarrollo de hardware versátil y de código abierto que incorpora un microcontrolador ATMEGA, posee 20 pines hembra donde 14 son pines digitales y 6 son pines analógicos, estos permiten realizar conexiones entre el microcontrolador, sensores y actuadores, es decir que la placa de desarrollo Arduino permite leer los datos (señales) obtenidos por los sensores e interpretarlos con el microcontrolador, a través de la programación del mismo se toman decisiones o acciones que se envían a los actuadores .

### ***Sensor de humedad del suelo (YL-69):***

Makers Chile (s.f) define el funcionamiento del sensor YL-69 como “La resistencia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo, por lo que para un suelo muy húmedo tendremos una resistencia muy baja (corto circuito) y para un suelo muy seco la resistencia será muy alta (circuito abierto)” (p.2). De acuerdo con dicho funcionamiento el sensor se encargará de monitorear las condiciones en las que se encuentra el suelo de la planta para ejecutar el sistema de riego.

### ***Sensor de temperatura (DTH-11):***

Según Todo Micro (s.f) el sensor DTH-11 “Es un sensor digital el cual integra un termistor para medir el aire circundante y mostrar los datos mediante una señal digital. El rango de capacidad de este sensor se encuentra entre 0°C y 50°C” (p.1). El sensor permitirá medir la temperatura ambiente que posea el sistema.

### ***Mini Bomba de agua sumergible:***

Según Fontanería Lucero (s.f), la mini bomba sumergible tiene como fin mover agua de un recipiente a un destino específico, en el caso de un sistema de goteo, tendrá la función de suministrar agua a la planta, la bomba realiza la toma de agua en la parte inferior de sí misma y tiene un ducto en el lado lateral en el cual saldrá el agua, la capacidad de caudal de la mini bomba es de 80 L/h.

## **Análisis de restricciones:**

### **Restricciones ambientales:**

La polución del aire es una variable que afecta el crecimiento de las plantas, los contaminantes atacan directamente las funciones metabólicas y los tejidos de esta, por lo tanto, la planta requiere una barrera física que logre disminuir la exposición al entorno exterior y así mismo que reduzca los contaminantes atmosféricos que lleguen a esta.

La aparición de vectores y plagas pueden tener un impacto significativo en el cultivo, debido a la transmisión de enfermedades y patógenos que pueden afectar las hojas y frutos de las plantas, causando deformidades, debilitamiento o incluso reduciendo la producción de frutos, por lo tanto, es necesario tener un buen método preventivo para el control de estas. En este caso el uso de una barrera física impide el acceso de los insectos a la planta, y el uso de productos químicos para plagas.

### **Restricciones económicas:**

El desarrollo del sistema se limita a su presupuesto (500.000 COP), de tal modo que la elección de los componentes electrónicos varía, en consecuencia, los sensores, la capacidad de la tarjeta de desarrollo y los actuadores poseen rangos de incertidumbre acordes a la disponibilidad de recursos. De igual manera el presupuesto es un determinante en la elección de materiales que componen el invernadero.

### **Restricciones de accesibilidad:**

El sistema debe ser amigable con el usuario brindando un fácil entendimiento y manejo, con el fin de que pueda ser operado por cualquier persona, por lo tanto, la persona puede acceder al sistema y utilizarlo de manera eficaz y óptima.

### **Restricciones socioculturales:**

Es importante la aceptación y beneficio de la comunidad, por lo tanto, se deben tomar las inquietudes y problemas que surjan con la implementación del sistema y asegurar la aceptación de este. Por otro lado, se debe prevenir la aparición de vectores y plagas que puedan afectar o perjudicar a la comunidad.

### **Restricciones de espacio:**

El sistema de monitoreo se implementa en zonas urbanas, por ello, hay limitaciones de espacio, el sistema se debe dimensionar para su adaptación a lugares pequeños que se den en la urbanización como terrazas, patios, balcones, etc.

### **Metodología para la selección y desarrollo de la solución:**

#### **Alternativa 1:**

En primer lugar, se plantea un invernadero que posee unas dimensiones de 160 cm de alto, 120 cm de ancho, 120 cm de profundidad, en él se utiliza madera para la formación de la estructura y polietileno de baja densidad para permitir el paso de la luz hacia la planta. En este invernadero se ubican 2 macetas, la primera maceta se encuentra controlada con sensores y actuadores, por otro lado, la segunda maceta no posee control y será cuidada por la persona, de esta manera se compara el desarrollo y calidad de la planta en cada maceta para determinar la viabilidad de utilizar un sistema de riego automatizado.

Para el sistema de riego automatizado se plantea como controlador una Raspberry Pi que se encargara de tomar los datos de los sensores de humedad y temperatura.

#### **Alternativa 2:**

Para esta opción se plantea un invernadero de dimensiones 160 cm de alto, 60 cm de ancho, 60 cm de profundidad, compuesto de tubos PVC para su estructura y polietileno de baja densidad, posee dichas dimensiones debido a que en este se ubica únicamente una maceta, la maceta que se encuentra en el invernadero está controlada por Arduino UNO que toma los datos de los sensores de humedad, temperatura y nivel de agua. Por otro lado, una segunda maceta esta por fuera del invernadero y es cuidada por la persona.

Con esta alternativa se logra comparar el desarrollo y calidad de la planta en un sistema controlado y una planta en entorno normal.

### **Alternativa 3:**

Por último, se plantea un invernadero compuesto por unas dimensiones de 160 cm de alto, 120 cm de ancho, 120 cm de profundidad, la estructura se realiza con tubos PVC y polietileno de baja densidad para el filtro de luz de la planta, las dimensiones del invernadero permiten ubicar 2 materas, la primera posee un sistema de riego automatizado y la restante no posee un sistema de control, de tal modo que esta será cuidada por la persona. El sistema de riego está controlado por un Arduino UNO que a su vez toma datos del sensor de humedad para así activar una mini bomba de agua sumergible que se encarga de brindar una cantidad adecuada de agua a la planta. El implementar esta opción nos permite comparar el desarrollo y calidad de la planta bajo la aplicación de un sistema de riego.

### **Selección de solución:**

Para determinar la mejor alternativa entre las 3 previamente definidas, se utiliza una matriz de decisión, esta herramienta permite tomar decisiones en base a la comparación de opciones a partir de ciertos criterios, en este caso se establecen 6 criterios, cada uno de estos posee una ponderación, en primer lugar, el criterio de la complejidad técnica, se refiere a la facilidad que tiene el usuario para acceder al sistema, por lo tanto, el 5 representa una fácil operación y accesibilidad, por consiguiente, el costo de implementación es el criterio con mayor importancia, donde el 5 representa un sistema más económico. El espacio hace referencia a las dimensiones que tiene el sistema, el numero 5 representa un sistema de menores dimensiones y más compacto, por el contrario, el numero 1 indica que es de grandes dimensiones; la calidad de datos posee la menor ponderación debido a que la diferencia entre la precisión de los sensores es mínima y ambos son de mucha exactitud. Por último, en el consumo de recursos, el número 5 indica que el sistema optimiza de mejor manera el uso de recursos y el numero 1 señala que hay mayor desperdicio de estos.

**Tabla 1***Matriz de decisión*

| Ponderación | Criterios               | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|-------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 20%         | Complejidad técnica     | 5             | 2             | 5             |
| 25%         | Costo de implementación | 1             | 4             | 3             |
| 15%         | Impacto ambiental       | 5             | 2             | 5             |
| 20%         | Espacio                 | 4             | 5             | 4             |
| 5%          | Calidad de datos        | 5             | 3             | 3             |
| 15%         | Consumo de recursos     | 5             | 2             | 4             |
|             | puntuación              | 7,2           | 7,35          | 7,45          |

*Nota:* Esta tabla evalúa cada una de las alternativas en base a unos criterios con una ponderación específica, cada alternativa tiene una puntuación y de allí se toma la de mayor puntaje. Autores: Nicolas Andrés Morales y Juan Pablo Pulido Angel

Teniendo en cuenta la puntuación de cada una de las opciones de la matriz de decisión, la alternativa con mayor puntuación es la numero 3 con 7.45, por lo tanto, esta se toma como la solución a ejecutar, en base a esto se realiza una tabla con los costos preliminares que conlleva esta solución, examinando los componentes electrónicos del circuito y los materiales que requiere el invernadero.

**Tabla 2***Costos preliminares de la alternativa seleccionada*

| Costos Preliminares  |  |        |          |                 |              |
|----------------------|--|--------|----------|-----------------|--------------|
| Ítem                 | Producto                                 | Unidad | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
| Circuito electrónico |  |        |          |                 |              |
| 1                    | Arduino UNO                              | UND    | 1        | \$ 40.000       | \$ 40.000    |
| 2                    | Modulo sensor de humedad del suelo YL-69 | UND    | 1        | \$ 6.000        | \$ 6.000     |
| 3                    | Sensor de temperatura y humedad DTH-11   | UND    | 1        | \$ 8.000        | \$ 8.000     |
| 4                    | Mini bomba de agua sumergible            | UND    | 1        | \$ 13.000       | \$ 13.000    |
| 5                    | Sensor nivel de agua analógico           | UND    | 1        | \$ 5.000        | \$ 5.000     |
| Invernadero          |  |        |          |                 |              |
| 6                    | Plástico de polietileno calibre 6        | Metro  | 4        | \$ 24.000       | \$ 96.000    |
| 7                    | Tubo PVC 1/2 "                           | Metro  | 10       | \$ 1.700        | \$ 17.000    |
| 8                    | Matera                                   | UND    | 2        | \$ 6.000        | \$ 12.000    |
|                      |  |        |          |                 | \$ 197.000   |

*Nota:* Esta tabla muestra los costos preliminares que tiene la implementación de la alternativa previamente seleccionada. Autores: Nicolas Andrés Morales Moreno y Juan Pablo Pulido Ángel

### **Diseño Metodológico:**

En primer lugar, para la ejecución de la solución se realiza una revisión de la literatura de 25 fuentes con el fin de comprender conceptos, métodos y proyectos similares, los cuales son necesarios para la creación del sistema de monitoreo en la planta de tomate Cherry.

#### **Definición del prototipo:**

A partir de la literatura se define que el prototipo tiene un sistema de riego automatizado en base al uso de un sensor de humedad, de tal modo que el sistema controla la cantidad de agua que recibe la planta, no obstante, al ser un cultivo de tomate Cherry se necesita luz directa, por lo tanto el sistema y la planta deben estar en un invernadero, el tamaño del invernadero está limitado debido a que está planeado para zonas urbanas por lo tanto debe tener dimensiones para su implementación en la urbanidad, de igual manera el usuario puede ver la temperatura del invernadero a partir de una aplicación móvil.

#### ***Selección de componentes electrónicos:***

Posteriormente en base a la definición del prototipo se identifican y seleccionan los componentes electrónicos necesarios que conlleva realizar tanto el sistema de riego como el sistema de monitoreo, de tal modo que la tabla 3 muestra los componentes electrónicos a usar.

**Tabla 3:**

#### *Componentes electrónicos del proyecto*

| <b>Componente</b>           | <b>Especificación</b>                              |
|-----------------------------|--|
| Controlador                 | Tarjeta de desarrollo ESP32                        |
| Sensor de humedad del suelo | Sensor de humedad del suelo higrómetro FC-28 YL-69 |
| Sensor de nivel de agua     | Sensor flotador nivel de agua horizontal en Codo   |
| Sensor de temperatura       | Modulo sensor DHT-11 de humedad y temperatura      |
| Bomba de agua               | Mini Bomba de agua sumergible                      |
| Relé                        | Modulo Relé 1 canal                                |
| Reductor de Voltaje         | Modulo Lm2596 reductor de voltaje                  |

*Nota:* Esta tabla muestra los componentes electrónicos que se utilizan en el desarrollo de la solución con sus respectivas especificaciones. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales Moreno

### ***Componentes estructurales:***

Seguidamente a la selección de componentes, se revisa la literatura y el mercado para evaluar los materiales a implementar en el invernadero, de tal modo que se usa plástico de invernadero de 3 metros de ancho, poli sombra de 2 metros de ancho y madera para la construcción de la estructura.

### **Desarrollo del prototipo:**

#### ***Diseño invernadero:***

Para el diseño del invernadero se utiliza el software SolidWorks, de tal modo que se realiza un diseño conceptual de la estructura tal como se muestra en la Figura 1. De igual manera en SolidWorks se realiza la caja que se encuentra en el invernadero y en la que se instala el circuito.

### **Figura 1:**

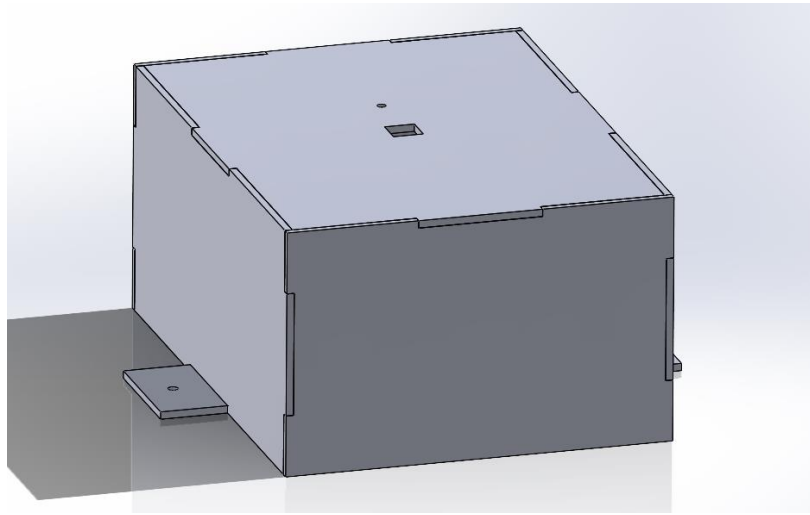
#### ***Diseño del invernadero***



*Nota:* Esta imagen muestra el diseño del invernadero realizado en SolidWorks. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales Moreno

## **Figura 2:**

### *Caja circuito*

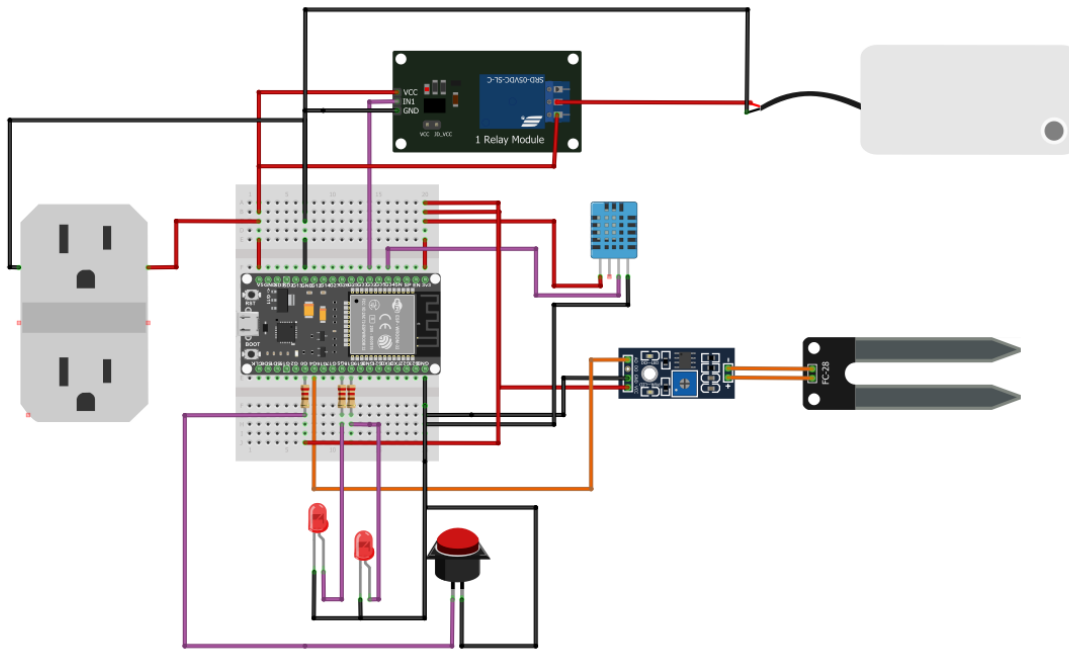


*Nota:* Esta imagen representa la caja en donde están las conexiones eléctricas de los componentes electrónicos del sistema. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales Moreno

### ***Diseño del circuito:***

El diseño del sistema de riego automatizado y de monitoreo de temperatura se realiza en el software de Fritzing de modo que se obtiene un diagrama eléctrico en el que se incluyen todos los componentes electrónicos previamente nombrados, este diagrama se toma como guía para realizar las conexiones.

**Figura 3:**  
*Diagrama eléctrico*



*Nota:* Esta imagen muestra el diagrama eléctrico de los componentes necesarios para la ejecución del sistema de monitoreo. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales Moreno

***Pruebas del circuito:***

En base al diseño del circuito, se toman los diferentes sensores y actuadores, para comprobar el correcto funcionamiento de cada componente, de igual manera se realiza una integración final entre todos los componentes para el circuito final.

**Sensor de Humedad.** Se ajusta y determina el accionamiento del sensor de humedad del suelo YL-69.

#### Figura 4:

##### *Prueba sensor de humedad*

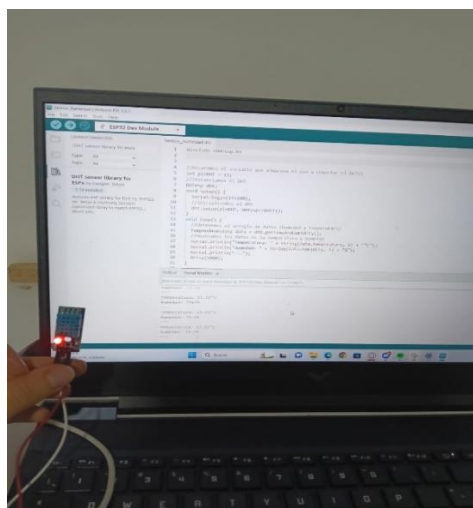


*Nota:* Esta imagen muestra la prueba que se realizó con el sensor de humedad. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

**Sensor de temperatura.** Para el sensor de temperatura DTH 11 se realiza una prueba de funcionamiento, de igual manera se comprueba que los datos del sensor se puedan leer en la aplicación de Arduino Cloud.

#### Figura 5:

##### *Prueba sensor de Temperatura*

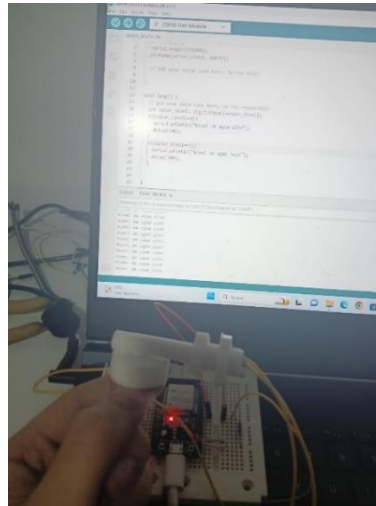


*Nota:* Esta imagen muestra la prueba que se realizó con el sensor de temperatura. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

**Sensor de nivel.** Se realiza una prueba con el sensor de nivel de agua de modo que se identifica la manera en que este se puede implementar en el balde con agua.

**Figura 6:**

*Prueba sensor de nivel*



*Nota:* Esta imagen muestra la prueba que se realizó con el sensor flotador de nivel de agua. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

**Integración del circuito.** Por último, se realiza un prototipo del circuito final teniendo en cuenta todos los componentes electrónicos, de modo que se toman las pruebas de los sensores y actuadores para ajustar el sistema los mejor posible.

**Figura 7:**

*Prototipo final del circuito*



*Nota:* Esta imagen muestra el prototipo final del circuito en el que se integra cada componente del sistema. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

### ***Construcción del invernadero:***

Para la construcción del invernadero en primer lugar se realiza el corte laser de la caja en la que se instala el circuito eléctrico, se lleva a cabo el corte en MDF de 3 mm de espesor, del corte laser se obtienen 6 partes tal y como se aprecia en la figura 8. Así mismo en la figura 9 se aprecia que el invernadero se realiza en madera y sigue con la estructura definida en el diseño de SolidWorks.

### **Figura 8:**

*Corte laser*



*Nota:* Esta imagen muestra las partes que se realizaron en corte laser para la creación de la caja del circuito. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

### **Figura 9:**

*Estructura del invernadero*



*Nota:* Esta imagen muestra la estructura del invernadero, que se realizó en madera en base al diseño. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

Seguidamente a la obtención de la estructura del invernadero, se agrega el plástico y la poli sombra mediante tachuelas, de modo que el invernadero estaría completo.

**Figura 10:**

*Invernadero*



*Nota:* Esta imagen muestra el invernadero completo. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales

***Integración del sistema completo:***

Por último, al invernadero se agrega el circuito eléctrico, esta implementación se da mediante la caja resultante del corte laser la cual tiene el circuito en su interior la cual se atornilla a la estructura del invernadero.

**Figura 11.1:**

*Sistema completo*



*Nota:* Esta imagen muestra la integración del circuito al invernadero de modo que el sistema está completo. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

**Figura 11.2:**

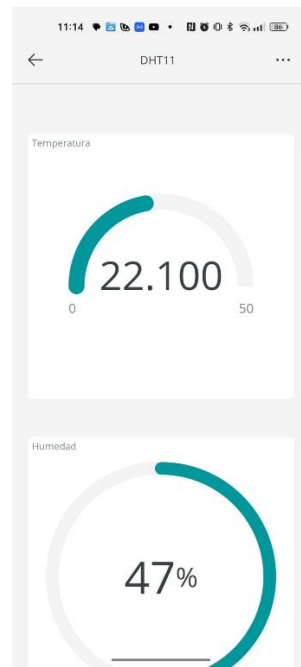
*Sistema completo*



*Nota:* Esta imagen muestra la integración del circuito al invernadero de modo que el sistema está completo. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

### Figura 11.3:

#### Interfaz de monitoreo



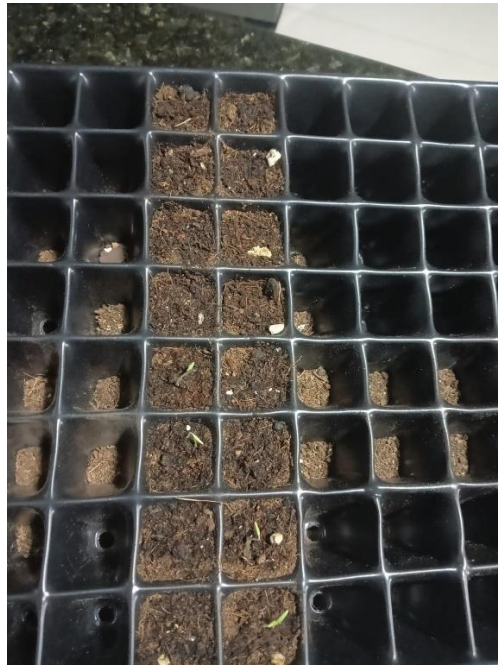
*Nota:* Esta imagen muestra el monitoreo de temperatura y humedad del invernadero. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

#### Experimentación:

Previamente al desarrollo de la solución se plantaron 3 grupos de tomates Cherry, en el proceso de germinación cada grupo se riego de manera manual cada 2 días con diferente cantidad de agua, de manera que el primer grupo se riego con 2 mililitros de agua, el segundo se riego con 5 mililitros y el tercero con 10 mililitros, mediante este proceso las plantas con riego de 5 mililitros crecieron mucho más que las otras, la figura 14 representa el crecimiento de cada planta.

**Figura 12:**

*Plantas de tomate Cherry*



*Nota:* Esta imagen muestra el momento en el que se plantaron las semillas en el semillero.  
Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

**Figura 13:**

*Plántulas de tomate Cherry*



*Nota:* Esta imagen muestra el momento en el que las plantas terminan su proceso de germinación. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

Por otro lado, en el proceso de experimentación en base a las pruebas con el sensor de humedad YL-69 que toma datos de 0-4095 se determina que el valor a usar para la planta es 2500 es decir que el sistema se riega cuando la tierra tenga menos del 60 % de humedad, este valor se ajusta en base a los requerimientos de la planta de tomate Cherry.

### **Validación:**

Para el proceso de validación se toman 2 plantas después del proceso de germinación y se dejan en el invernadero en donde las condiciones de luz solar y temperatura serán las mismas para ambas plantas, la única diferencia es que una de estas plantas tiene el sistema de riego automatizado y la otra es regada de manera manual, de esta manera se compara el crecimiento de ambas plantas con el fin de conocer la necesidad y efectividad del sistema de riego.

Los datos de crecimiento se toman en cm y se miden cada 2 días, el proceso se realiza desde el día 1 de noviembre de 2023 hasta el 29 de noviembre del mismo año, la figura 15 representa el tamaño final de ambas plantas.

**Figura 14:**

*Crecimiento de plantas final*



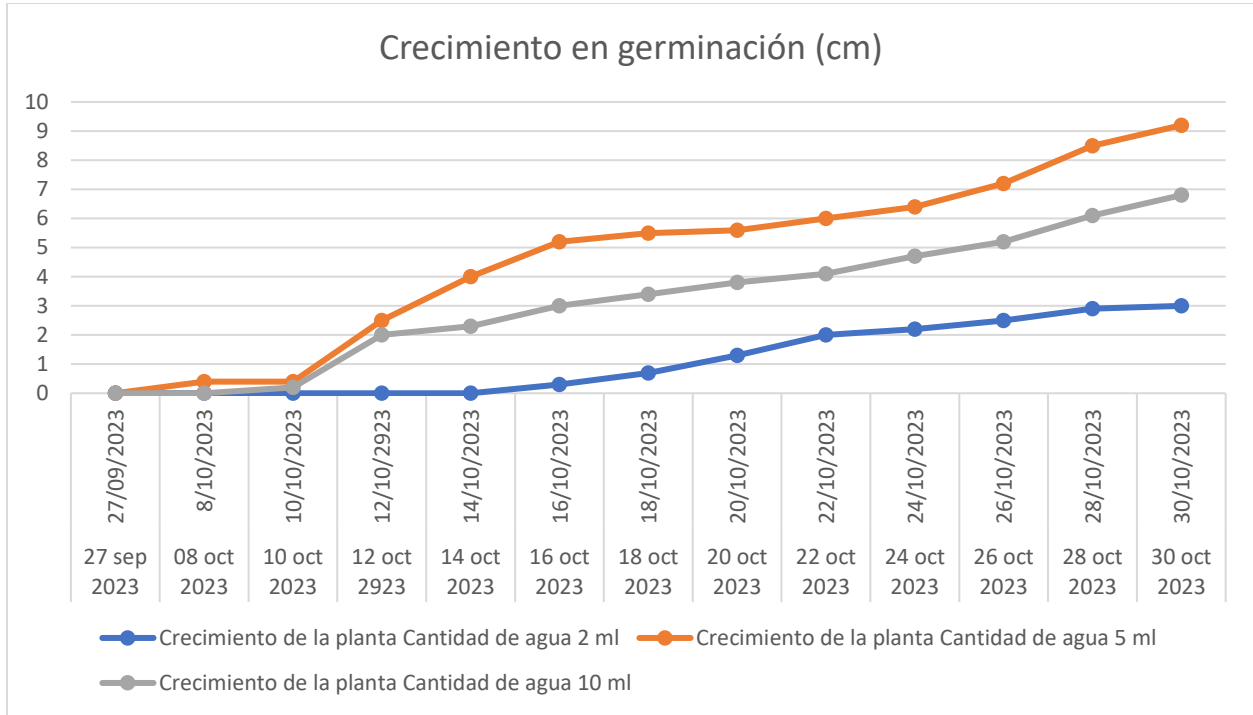
*Nota:* Esta imagen muestra la diferencia de crecimiento entre la planta con el sistema de riego y la planta con riego manual mediante una persona. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

**Análisis de resultados:**

Como se mencionó en el proceso de experimentación se realizó la prueba de crecimiento de 3 grupos de planta a diferente cantidad de agua, de modo que la figura 15 representa el crecimiento de estas plantas en un periodo de 1 mes, por lo tanto, para el proceso de germinación las mejores plantas fueron las que crecieron bajo el riego de 5 mililitros.

**Figura 15:**

*Crecimiento de plantas*

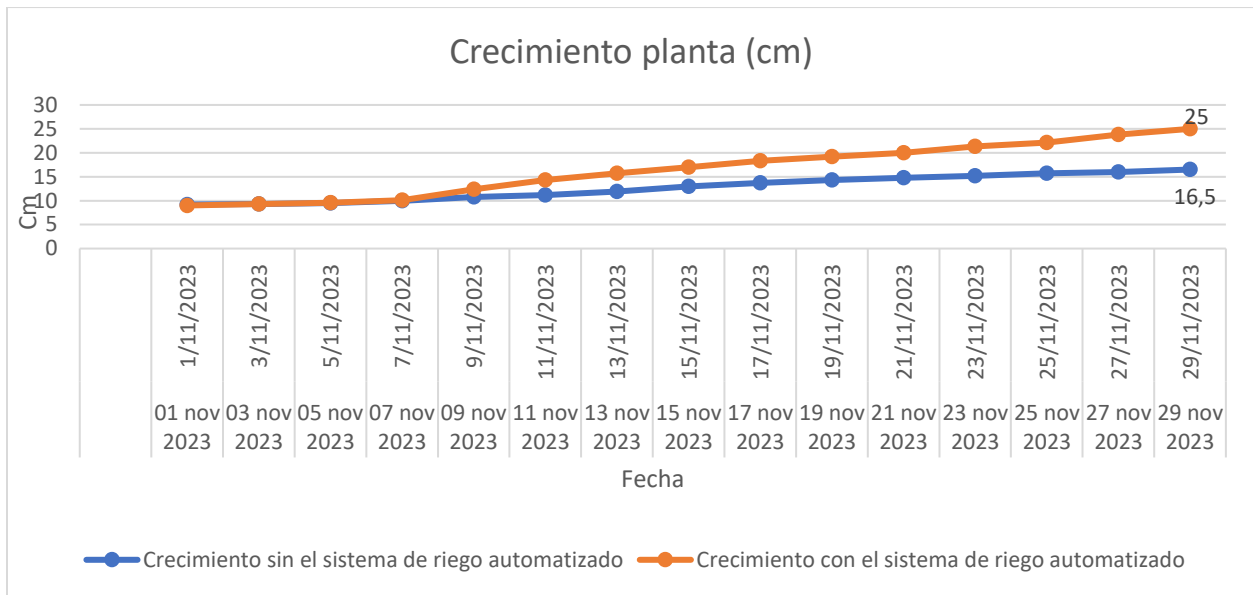


*Nota:* Esta imagen muestra el crecimiento de las plantas con diferente cantidad de agua. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

Por otro lado, para validar la funcionalidad y efectividad del sistema se toman 2 plantas, donde una de ellas tiene el sistema de riego automatizado y la otra tiene riego manual, seguidamente se hace una toma de datos en base al crecimiento de la planta cada 2 días, la figura 16 representa el crecimiento de estas plantas en el transcurso de un mes.

**Figura 16:**

*Crecimiento final de plantas*



*Nota:* Esta imagen muestra la diferencia de crecimiento de la planta automatizada y la de riego manual. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

En base a la figura 16 se tiene que la planta automatizada tiene un crecimiento de 25 cm para el día 29 de noviembre, en cuanto a la planta de riego manual se tiene un crecimiento final de 16,5 cm, en consecuencia, el sistema automatizado tuvo una diferencia de 8,5 cm respecto al riego manual, así que el sistema es funcional y efectivo, esto significa que el usuario tiene un beneficio con el sistema, donde puede tener un cultivo en producción y crecimiento sin tener que estar constantemente cuidándolo, no obstante el sistema asegura de mejor manera la salud de la planta con un crecimiento optimo. De igual manera es un sistema con gran eficiencia energética, esto debido a que se hace uso de un controlador de bajo consumo energético (ESP32) por lo que es viable su implementación.

### **Análisis de impacto ambiental:**

Para el desarrollo y construcción del proyecto se ejecutan ciertas actividades que son causantes de un impacto ambiental, de tal modo que se examina y determinan 3 actividades principales, en primer lugar para el desarrollo del circuito, al pelar el cable necesario para las conexiones, se generan residuos de cable, estos residuos generan contaminación al agua y al suelo, de tal modo que la estrategia para mitigar este impacto es un buen reciclaje y reutilización de estos residuos, por otro lado al soldar cables y componentes hay generación de material particulado lo que ocasiona riesgos al personal, tal como las enfermedades pulmonares, este impacto se puede mitigar a través de un equipo adecuado de protección. Por consiguiente, en la construcción del invernadero se genera material particulado ya que se hace corte de madera y de igual manera crea un riesgo a enfermedades pulmonares, al cortar la madera también se genera gran cantidad de residuos, adicionalmente a estos residuos se le suma el plástico del invernadero y tachuelas, esto conlleva a la contaminación de agua y de suelo y se puede mitigar con la gestión eficiente de recursos y reciclaje. Por último el diseño del invernadero y del circuito tiene un consumo de energía y consumo del equipo utilizado, esto genera un agotamiento del recurso de electricidad y la extracción de recursos para el mantenimiento del equipo, para la mitigación de este impacto se puede utilizar energías renovables.

**Tabla 4***Análisis de impacto*

| Actividad                                       | Aspecto  | Impacto   | Mitigación   |
|---|--|---|--|
| Pruebas del circuito y desarrollo del prototipo | Generación de residuos(cable)                      | Contaminación de suelo y agua   | Reciclaje y reutilización  |
|   | Generación de material particulado                 | Riesgo a enfermedades pulmonares; Contaminación atmosférica               | Equipo de protección; Sistemas de ventilación localizada para capturar y eliminar el humo generado |
| Construcción del invernadero                    | Generación de material particulado                 | Riesgo a enfermedades pulmonares  | Equipo de protección   |
|   | Ruido  | Problemas de salud (Pérdida de audición); Molestias en la calidad de vida | Equipos o tecnologías que produzcan menor nivel de ruido   |
|   | Generación de residuos (Hierro, Madera y plástico) | Contaminación de suelo y agua   | Gestión eficiente de residuos  |
| Diseño  | Consumo de energía                                 | Agotamiento del recurso   | Uso de energías renovables   |
|   | Consumo del equipo de computo                      | Extracción de recursos  |  |

*Nota:* Esta muestra el impacto ambiental que conlleva el desarrollo del proyecto. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

**Análisis de costos:**

En cuanto al análisis de costos, en base a la tabla 4 el tiempo que tomo la creación y construcción del invernadero es de 20 horas, no obstante, los costos de materia prima tienen un valor de 144.000 COP, está asociado al precio de los componentes electrónicos y estructurales, en cuanto al costo de mano de obra se toman las 20 horas que llevo realizar el invernadero, para el costo de energía se toman las 7,5 horas de uso que del computador donde el KW/h se encuentra a 809 COP y el computador tiene un consumo de 0,150 KW/h, el arriendo se evalúa en estrato 2 y tiene un costo de 22.002 COP , la estructura tiene un valor de 120.000 ya que hay un taller de madera que brinda este precio fijo, por último se generó 620 gramos de residuos con un costo de 415 COP. En base a lo anterior el invernadero tiene un costo de 460.969 COP, por lo que el valor final del invernadero es de 650.000 COP.

**Tabla 5***Costo invernadero*

| Elemento  | Tiempo de operación(horas) | Costo Materia Prima (COP) | Costo Mano de Obra (COP) | Energía (Computador) (COP) | Arriendo (COP) | Estructura (COP) | Residuos (COP) | Total         | PVP       |
|---|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|-----------|
| Construcción del sistema de monitoreo e invernadero | 20                         | \$144.000                 | \$ 173.642               | \$910,125                  | _22.002        | \$120.000        | \$415,735      | \$460.969,527 | \$650.000 |

*Nota:* Esta tabla muestra los costos para la creación del invernadero. Autores: Juan Pablo Pulido

Angel y Nicolas Andrés Morales.

**Tabla 6***Proyección del proyecto*

| Proyección |                   |                   |                |               |                 |                 |
|------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Año        | Costo invernadero | Valor invernadero | Cantidad (mes) | Ingresos      | Egresos         | Flujo           |
| 0          |                   |                   |                |               | \$-1500000      | \$-1500000      |
| 2024       | \$460.969,5267    | \$650.000         | 10             | \$78'000.000  | \$55'316.343,2  | \$22'683656,8   |
| 2025       | \$507.066,4793    | \$715.000         | 10             | \$85'800.000  | \$60'847.977,52 | \$24'952.022,48 |
| 2026       | \$557.773,1273    | \$786.500         | 11             | \$103'818.000 | \$73'626.052,8  | \$30'191.947,2  |
| 2027       | \$613.550,44      | \$865.150         | 12             | \$124'581.600 | \$88'351.263,36 | \$36'230.336,64 |
| 2028       | \$674.905,484     | \$951.665         | 15             | \$171'299.700 | \$121'482.987,1 | \$49'816.712,88 |
|            |                   |                   |                | \$563'499.300 | \$398'124.624   | \$16'537.4676   |

*Nota:* Esta tabla los costos para la creación del invernadero. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.

Se realiza una evaluación financiera teniendo en cuenta la proyección del proyecto en 5 años, donde se realiza una inversión inicial de 1.500.000 en herramientas y equipo necesario para construir el invernadero. El análisis financiero nos revela que para que la tasa interna de retorno (TIR) se necesitan vender en promedio 10 invernaderos mensuales en el transcurso del año para tener un TIR del 15% de modo que supera el TIR de Colombia que se encuentra en el 12%, de tal forma que el proyecto genera una rentabilidad. El VPN de implementación es de \$ 148.137.087,48 COP lo cual indica que los flujos futuros que genera el proyecto superan el valor

de la inversión inicial. Por último, el valor de costo beneficio es de 1,41 por lo tanto los ingresos son superiores a los costos resultando en un proyecto rentable.

## **Conclusiones:**

En conclusión, se realizó un sistema de monitoreo de temperatura y humedad a través de los sensores YL-69 y DHT-11, los cuales permiten al usuario ver los datos en tiempo real mediante la aplicación móvil Arduino Cloud, de igual manera se desarrolló un sistema funcional el cual permite controlar el riego de la planta de manera automática lo que optimizó la calidad del cultivo.

Por otro lado, la investigación teórica proporcionó una base sólida para comprender los principios tecnológicos detrás del monitoreo de humedad y temperatura. Lo que fue esencial para el diseño y la implementación precisa del sistema.

El contraste de datos permitió validar la precisión y confiabilidad del sistema con tecnología en comparación con el sistema tradicional. También al evaluar los datos contrastados se proporcionó una base para analizar el costo-beneficio de la implementación tecnológica, de modo que el sistema con tecnología demuestra mejoras en la eficiencia del crecimiento de la planta.

En cuanto al apartado de construcción del sistema, el algoritmo que se implementó para el funcionamiento del sistema fue óptimo y funcional debido a que se logró realizar un lazo de control cerrado con los sensores y actuadores planteados, no obstante se realizaron pruebas con el sensor YL-69 para definir la mejor condición de humedad para la planta, donde esta se encuentre siempre húmeda y sin encharcamientos, por otro lado, la aplicación de Arduino Cloud es ideal para este proyecto ya que ofrece un interfaz sencillo de utilizar por el usuario y es de fácil acceso, además que es una plataforma gratuita. La forma de la estructura que se diseñó para el invernadero es correcta ya que sus dimensiones son aptas para implementarse en terrazas, patios o balcones, de igual manera su forma hace que esta pueda soportar climas lluviosos. En cuanto a los materiales que se utilizaron para la construcción del invernadero, la madera es una buena opción para una estructura de esas dimensiones, pero al estar expuesta debe ser bien cubierta con plástico de modo que no pierda su capacidad estructural. El sistema eléctrico que se diseñó también fue acertado ya que en la construcción del circuito todos los componentes funcionaron correctamente.

Para seguir el proyecto y complementar la investigación se recomienda que se realice el control de temperatura y de luz, de modo que el sistema siempre cuente con el rango óptimo de temperatura y con la cantidad de luz necesaria que requiere la planta, de esta manera se cuenta con las condiciones ideales para que la planta crezca de la mejor manera en zonas urbanas.

## Referencias:

- La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050.* (2009). FAO. Recuperado el 25 de agosto de 2023, de [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf)
- Colombia, un país con una diversidad de suelos ignorada y desperdiciada.* (s.f). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado el 12 de octubre de 2023, de <https://igac.gov.co/es/noticias/colombia-un-pais-con-una-diversidad-de-suelos-ignorada-y-desperdiciada>
- Loukos, P., Arathoon, L. (2021). *Landscaping the agritech ecosystem for smallholder farmers in Latin America and the Caribbean.* InterAmericanDevelopmentBank. <http://dx.doi.org/10.18235/0003027>
- Cortés, J. (2013). *La ruralidad, prioridad para la Bogotá Humana.* Bogota.gov. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/desarrollo-economico/la-ruralidad-prioridad-para-la-bogota-humana>
- Pardo, K. (2018). *Colombia tiene 14 millones de hectáreas degradadas por salinización.* El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/colombia-tiene-14-millones-de-hectareas-degradadas-por-salinizacion-188242>
- Hernández, L., (2006). *LA AGRICULTURA URBANA Y CARACTERIZACIÓN DE SUS SISTEMAS PRODUCTIVOS Y SOCIALES, COMO VÍA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN NUESTRAS CIUDADES.* Cultivos Tropicales, 27(2), 13-25. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215872002.pdf>

SEDEMA (s. f.). Glosario Definición - SEDEMA.

<http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/glosario-definicion/Agricultura>

Melgar, M. (2017). *Agricultura Digital o Agricultura 4.0*.

<https://cengicana.org/files/2018091813553326.pdf>

Marote, M. (2010). *Agricultura De Precisión*.

<http://dspace.palermo.edu/dspace/bitstream/handle/10226/1373/art%2010%20vol%2010%20ISEU%20Agricultura%20de%20precisión%20Marote.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

*Agricultura 4.0 - Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible*. (S/f). FAO. Recuperado el 25 de agosto de 2023, de

<https://www.fao.org/3/cb2186es/cb2186es.pdf>

Degenhart, B. (2016). *La Agricultura Urbana: Un Fenómeno Global*.

<https://biblat.unam.mx/hevila/Nuevasociedad/2016/no262/12.pdf>

Camelo. (2021, noviembre 10). *Agricultura urbana*. Observatorio Ambiental de Bogotá.

<https://oab.ambientebogota.gov.co/agricultura-urbana-sigue-estas-recomendaciones-para-crear-una-huerta-en-casa/>

Insight. (2021). *Nuevas formas para cosechar una agricultura de ambiente controlado*. Food

Insight. <https://spanish.foodinsight.org/sustentabilidad/nuevas-formas-para-cosechar-una-agricultura-de-ambiente-controlado/>

Arduino. (2023). ¿Qué es Arduino? Arduino.cl. <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

*Sensor Humedad Suelo Yl-38 Yl-69*. (s.f). MakersChile. <https://makerschile.cl/producto/sensor-humedad-suelo-yl-38-yl-69-modulo-arduino->

[pic/#:~:text=El%20funcionamiento%20del%20sensor%20se,seco%20la%20resistencia%20será%20muy%20](https://makerschile.cl/producto/sensor-humedad-suelo-yl-38-yl-69-modulo-arduino-pic/#:~:text=El%20funcionamiento%20del%20sensor%20se,seco%20la%20resistencia%20será%20muy%20)

*Sensor De Temperatura Y Humedad Dht11 Arduino.* (s.f). Todomicro.

<https://www.todomicro.com.ar/investigacion-desarrollo-y-prototipado/224-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11-arduino.html>

*Cómo funciona una Mini Bomba de Agua Sumergible.* (s.f). Fontanerialucero.es.

<https://www.fontanerialucero.es/como-funciona-una-mini-bomba-de-agua-sumergible/>

Veloza, J. P., López, N. N. & Sarmiento, D. L. (2023). Modernización del cuidado del huerto urbano tesla mediante automatización y monitoreo en zona franca - Fontibón [Trabajo de grado, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/12833>.

**Anexos:**

*Anexo A. Cronograma del proyecto:*

| Actividades  | Semanas                         |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|  | S1                              | S2                              | S3                                | S4                                  | S5                                  | S6                                  |
|  | 16<br>octubre-<br>20<br>octubre | 23<br>octubre-<br>27<br>octubre | 6<br>noviembre-<br>3<br>noviembre | 13<br>noviembre-<br>17<br>noviembre | 20<br>noviembre-<br>24<br>noviembre | 27<br>noviembre-<br>30<br>noviembre |
| Informe escrito  |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Diseño del invernadero SolidWorks                      |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Diseño del circuito Proteus                            |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Adquisición de materiales                              |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Prototipo del circuito control de humedad con actuador |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Prototipo del circuito de monitoreo térmico            |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Pruebas del circuito                                   |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Implementación del circuito                            |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Corte laser  |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Construcción del invernadero                           |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Construcción del sistema                               |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Validación   |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Entrega de informe escrito                             |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |
| Sustentación final                                     |                                 |                                 |                                   |                                     |                                     |                                     |

*Nota:* Cronograma por semana del proyecto. Autores: Juan Pablo Pulido Angel y Nicolas Andrés Morales.