

Proyecto No. 9

**Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire en Invernaderos**

David Alejandro Anzola Caicedo

Frankyn Stiven Villalba Hortua

David Santiago Beltran Pedraza

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Análisis y Desarrollo de Software

Ficha – 3203084

Instructor – Ivan Malaver Fierro

Mosquera, Cundinamarca, agosto 2025

## Tabla de Contenido

Introducción .....	6
Justificación .....	6
Pregunta Problema .....	7
Estado del Arte.....	7
Marco Conceptual .....	7
Marco Referencial.....	9
Marco Teórico.....	11
Marco Científico .....	13
Marco Legal .....	14
Objetivo General .....	16
Objetivos Específicos.....	16
Desarrollo.....	16
Metodología Propuesta .....	16
1. Tipo de Investigación.....	16
2. Enfoque Metodológico.....	17
3. Diseño de Investigación .....	17
4. Población y Muestra .....	17
5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	18
6. Procedimientos.....	18
7. Plan de Análisis de Datos .....	18
8. Consideraciones Éticas .....	18
10. Fases del Proyecto.....	19
Manejo de Riesgos.....	25
Presupuesto del Proyecto .....	27

Conclusiones .....	28
Recomendaciones .....	29
Bibliografía .....	31
Anexos .....	35

## Índice de Tablas

Tabla 1 .....	19
Cronograma de actividades.....	19
Tabla 2 .....	25
Matriz de Riesgos .....	25
Tabla 3 .....	27
Tabla de Presupuesto .....	27

## Índice de Ilustraciones

Figura 1 .....	21
Diagrama de Componentes .....	21
Figura 2 .....	21
Diagrama de Secuencia.....	21
Figura 3 .....	22
Diagrama de Despliegue .....	22
Figura 4 .....	23
Diagrama ERD.....	23
Figura 5 .....	23
Casos de Uso Cliente .....	23
Figura 6 .....	24
Casos de Uso Administración del Sistema .....	24

## **Introducción**

En la actualidad, el sector agrícola enfrenta grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia en la producción de alimentos. Los invernaderos se han convertido en una solución innovadora que permite optimizar las condiciones ambientales para el crecimiento de los cultivos, protegiéndolos de factores externos como el clima, plagas o cambios bruscos de temperatura. Sin embargo, el control de la calidad del aire dentro de estas estructuras resulta fundamental, ya que variables como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la temperatura y la humedad inciden directamente en el rendimiento y la salud de las plantas.

En este contexto, el proyecto “Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire en Invernaderos” surge como una propuesta tecnológica que integra el uso de sensores IoT y una plataforma web para medir y visualizar en tiempo real las condiciones ambientales. Con ello, se busca garantizar un entorno óptimo para el cultivo, contribuir a la reducción de pérdidas y mejorar la eficiencia de los recursos disponibles en los invernaderos.

## **Justificación**

Este proyecto se plantea con el propósito de ofrecer a los productores agrícolas del C.B.A (Centro de Biotecnología Agropecuaria) de Mosquera una herramienta que les permita tomar decisiones más informadas y oportunas sobre las condiciones ambientales en sus invernaderos. La finalidad es contribuir a mejorar la eficiencia en la producción, optimizar el uso de recursos y reducir pérdidas ocasionadas por factores ambientales que suelen escapar del control manual.

Además, busca fortalecer la sostenibilidad agrícola mediante la integración de soluciones tecnológicas que faciliten la supervisión remota y la respuesta rápida ante posibles variaciones en las condiciones del entorno. De esta manera, se pretende favorecer la productividad y competitividad del sector, alineándose con la necesidad global de adoptar prácticas agrícolas más inteligentes y responsables con el medio ambiente.

### Pregunta Problema

1. ¿Cuál es la calidad del aire en los invernaderos y cómo afecta el crecimiento de las plantas?
  2. ¿Qué parámetros de la calidad del aire son más relevantes para monitorear en un invernadero?
  3. ¿Cómo se puede implementar un sistema de monitoreo de aire efectivo y eficiente en un invernadero?
- ¿Qué beneficios se pueden obtener al implementar un sistema de monitoreo de aire en invernadero?

### Estado del Arte

#### Marco Conceptual

Se incluyen todos aquellos términos u conceptos relacionados al proyecto:

**Frontend:** Básicamente el frontend es lo que le mostrará al usuario o cliente los datos, reportes o acciones que necesite hacer en la plataforma, para esto se usaría un framework como Bootstrap que nos facilitaría el diseño CSS de la página.

**Backend:** El backend básicamente es la parte lógica y funcional desde la cual básicamente hará que funcione correctamente la página y se gestionen bien los datos y se manipule bien la información de las bases de datos, y que a través del frontend se muestren esos datos. Para esto usaremos un lenguaje de programación sencillo y fácil de usar como lo es Python y un framework como Django el cual facilita el desarrollo de las aplicaciones web.

**Bases de Datos:** Aquí básicamente se guardarán todos los datos tanto de usuarios, administradores, sensores IoT, invernaderos, entre más datos. Esto permitiéndonos acceder a la información que se necesita de manera rápida y almacenándola para organizar toda esa información.

En este caso se usaría MySQL que nos permite crear, almacenar, organizar, gestionar o eliminar las bases de datos.

**Sensores IoT:** Estos son necesarios ya que con estos sensores se determinará las variables en la calidad del aire en los invernaderos que pide el cliente y se guardaran en la base de datos, para que después se envíen los datos al backend en el momento que el usuario necesite ver variables en la calidad del aire y se generen los reportes en la plataforma.

**Servicio de Notificaciones:** En esta se utilizará una API externa que el backend utilizará para generar las alertas o notificaciones sobre reportes en la calidad del aire en los invernaderos y avisar al usuario de manera efectiva.

Al igual se usa un tipo de arquitectura Modular distribuida (estilo microservicios ligeros) que es adecuada en este proyecto para lograr escalabilidad, flexibilidad y fácil mantenimiento.

**Internet de las Cosas (IoT):** Tecnología que conecta los dispositivos físicos, como sensores y actuadores, a una red para que puedan recolectar, enviar y procesar datos sin intervención humana directa.

**Agricultura de precisión:** Estrategia de cultivo que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar el uso de insumos y maximizar la productividad sostenible.

**Interfaz de Usuario:** Diseño visual y funcional de la plataforma web que permiten a los usuarios interactuar de manera sencilla e intuitiva con la información del sistema.

**HTML (Hypertext Markup Language):** Lenguaje estándar para la creación de páginas web. Define la estructura y el contenido de un sitio mediante etiquetas.

**CSS (Cascading Style Sheets):** Lenguaje de hojas de estilo que controla la apariencia visual de las páginas web.

**Bootstrap:** Framework de código abierto que facilita el diseño web responsivo y moderno mediante plantillas predefinidas de HTML, CSS y JavaScript.



**Django:** Framework de alto nivel para Python que permite desarrollar aplicaciones web de forma rápida y segura, usando arquitectura MTV (Modelo-Plantilla-Vista).

**Python:** Lenguaje de programación multiparadigma, simple y versátil, utilizando tanto para backend web como para la integración con sistemas de análisis de datos e IoT.

**MySQL:** Sistema de gestión de bases de datos relacional, muy usado para almacenar información estructurada, como datos provenientes de sensores o usuarios.

**XAMPP:** Paquete que incluye Apache, MySQL, PHP, y Perl para crear servidores locales, facilitando la instalación y prueba de aplicaciones web en entornos de desarrollo.

**PHP:** Lenguaje de programación del lado del servidor, muy utilizado para generar contenido dinámico en páginas web y conectar con bases de datos.

**Apache:** Servidor web de código abierto ampliamente utilizado para alojar y gestionar aplicaciones web, compatible con varios lenguajes como PHP y Python.

**PostgreSQL:** Sistema de gestión de bases de datos relacional y objeto-relacional, conocido por su robustez, escalabilidad y soporte para consultas complejas.

## **Marco Referencial**

Proyectos previos han demostrado la efectividad de los sistemas de monitoreo para mejorar la gestión agrícola.

Por ejemplo, un estudio realizado en la Universidad Autónoma Chapingo desarrolló un prototipo de monitoreo de temperatura y humedad en invernaderos utilizando microcontroladores y sensores de bajo costo, logrando reducir la variabilidad ambiental y mejorar el rendimiento del cultivo (Rosales Vicelis, 2019).

De manera similar, (Anónimo, 2022) define los sensores IoT para invernaderos como dispositivos conectados que miden en tiempo real variables clave como humedad, temperatura, clima, nutrientes del suelo y calidad del aire, facilitando una agricultura más precisa.

Igualmente, el proyecto “**Diseño y construcción de un sistema de monitoreo para invernaderos apoyado con tecnología Zigbee**”, desarrollado por (BARÓN, 2013) en la UNAD, presenta un prototipo innovador basado en una red inalámbrica de sensores (WSN) que monitoriza principalmente dos variables ambientales críticas: **temperatura y humedad relativa**, para su aplicación en ambientes de invernadero.

En el artículo “Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos”, (Duque, 2017) presenta el diseño de una plataforma de bajo costo que integra sensores y redes inalámbricas para medir variables como temperatura y humedad en tiempo real. El sistema permite a los agricultores acceder a la información a través de la nube, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia en la gestión del invernadero (Duque, 2017).

La tesis de (Pulgar, 2021), titulada “Sistema para el manejo de datos climáticos de pequeñas producciones agrícolas bajo invernadero: un acercamiento a la agricultura inteligente”, propone un prototipo para capturar, procesar y analizar datos climáticos con el fin de apoyar la agricultura sostenible y la implementación de tecnologías inteligentes en invernaderos de pequeña escala (Pulgar, 2021).

En “Smart Greenhouse and Agriculture 4.0”, (Marín García , Torres Marín , & Chaverra Lasso, 2023) analizan la integración de tecnologías emergentes como el IoT, la inteligencia artificial y la automatización en los sistemas de invernadero. El estudio resalta cómo estas herramientas permiten mayor precisión en el monitoreo ambiental y facilitan la transición hacia la agricultura 4.0 (Marín García , Torres Marín , & Chaverra Lasso, 2023).

El trabajo de (Perdomo, 2023) describe el diseño de un sistema de automatización basado en el uso del microcontrolador ESP-32 y tecnologías IoT para el monitoreo y control inteligente de invernaderos. Además, incorpora algoritmos de aprendizaje automático para optimizar la respuesta del sistema frente a cambios ambientales (Perdomo, 2023).

La investigación de (Rocha, 2023), “Diseño asistido por computador de un sistema de climatización para invernaderos ventilados naturalmente en el trópico altoandino”, plantea un modelo técnico para la ventilación y el control climático en invernaderos utilizando dinámica de fluidos y análisis energético, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos (Rocha, 2023).

La tesis presentada por (Huamán, 2015) manifiesta un sistema automatizado de monitoreo y control de humedad en invernaderos, usando control on/off con sensor DHT22 y actuadores para nebulizar o ventilar según la lectura. También desarrolló una interfaz gráfica para controlar el sistema de forma remota desde una computadora, validando su funcionamiento mediante pruebas y simulaciones (Huamán, 2015).

Además, (Lugo Espinoza, Villavicencio Pérez, & Díaz Luna, 2014) diseñaron un paquete tecnológico accesible para monitoreo ambiental en invernaderos, empleando hardware y software libre (Arduino y Java). Compararon sensores caseros con comerciales, obteniendo resultados similares y demostrando que es posible contar con soluciones económicas sin sacrificar precisión.

Estos estudios confirman que la implementación de sistemas de monitoreo ambiental no solo es técnicamente viable, sino también económicamente rentable para la agricultura moderna, ofreciendo beneficios en sostenibilidad, eficiencia y calidad de producción.

### **Marco Teórico**

El control automático permite regular variables como temperatura y humedad mediante sistemas de retroalimentación, favoreciendo un ambiente óptimo para los cultivos. Por ejemplo, el control climático en invernaderos puede emplear lógica difusa adaptada a procesos agrícolas, como la implementación realizada para el secado de granos de cacao con excelentes resultados (humedad del 8 % en seis días) (Arias Murillo & Camacho Paucar, 2020).

Además, se han desarrollado y simulado sistemas automáticos que combinan métodos como ventilación natural, ventilación forzada y humidificación para mantener condiciones ideales, evidenciando su aplicabilidad en pequeños predios con cultivos sensibles como fresas (Arias Murillo & Camacho Paucar, 2020). Estos ejemplos sustentan la base técnica para aplicar teorías de control automático en entornos agrícolas.

La temperatura influye directamente en funciones fisiológicas clave de las plantas: fotosíntesis, respiración, transpiración e incluso la permeabilidad celular. Estas funciones vitales se deterioran fuera del rango aproximado de 10 °C a 25 °C, según parámetros de la FAO (AgroForum, 2016). De igual manera, la humedad relativa modula la transpiración, la viabilidad del polen y la predisposición a enfermedades. Una humedad excesiva puede disminuir la transpiración y promover patógenos, mientras que una muy baja puede causar deshidratación en las plantas (TencoAgro, 2011). Estos datos fundamentan la necesidad de una regulación precisa de estas variables en invernaderos.

El Internet de las Cosas (IoT) se ha convertido en una de las tecnologías más relevantes en el ámbito agrícola, al permitir la interconexión de sensores y dispositivos para la recolección y análisis de datos en tiempo real (Ashton, 2009).

Los sensores ambientales constituyen el núcleo del monitoreo agrícola de precisión, ya que recopilan información que posteriormente es analizada en plataformas digitales. Esta integración permite optimizar las condiciones de cultivo, garantizar un uso eficiente de recursos y reducir el impacto ambiental (Tomoghna Ojha, 2015).

Los sistemas reales demuestran que sí es posible monitorear múltiples variables agroclimáticas y controlar dispositivos de riego mediante sistemas automáticos. En uno de los estudios, se diseñó un sistema que monitorea temperatura, humedad relativa y contenido volumétrico de agua en el suelo, con almacenamiento de datos y comunicación inalámbrica, y se utilizó la ecuación de evapotranspiración FAO Penman-Monteith como base científica

para el control climático (Morán & Estuardo, 2012). Esta implementación concreta evidencia que el marco teórico puede ser trasladado al diseño físico de un sistema funcional.

Asimismo, la digitalización agrícola ha dado paso al concepto de invernaderos inteligentes, los cuales emplean sistemas de monitoreo y control automatizados que permiten mejorar la sostenibilidad y productividad del sector (Konstantinos G. Liakos, 2018).

### **Marco Científico**

Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación de IoT en la agricultura potencia el desarrollo de sistemas autorregulados que mejoran la eficiencia en el uso de agua, energía y fertilizantes (Sjaak Wolfert, 2017).

El respaldo científico indica que la automatización en invernaderos favorece un modelo de agricultura sostenible y de precisión, alineado con los objetivos globales de eficiencia y reducción de impactos ambientales (Anna Chliganryan, 2018). Por ello, el diseño de sistemas de monitoreo ambiental no solo responde a necesidades tecnológicas, sino también a un fundamento científico orientado a la optimización agrícola.

Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura potencia el desarrollo de sistemas autorregulados que mejoran la eficiencia en el uso de agua, energía y fertilizantes (Wolfert, 2017).

En este sentido, el monitoreo ambiental se ha convertido en un eje fundamental para el control de variables críticas como temperatura, humedad, pH y calidad del aire. Estudios recientes demuestran que el uso de sensores IoT en invernaderos inteligentes permite no solo la supervisión en tiempo real, sino también la detección de enfermedades foliares y la optimización de la gestión del riego (Zhang, 2020). (Collado, 2021) desarrollaron un sistema agroclimático de bajo costo que, mediante estaciones de monitoreo basadas en IoT, permitió anticipar variaciones climáticas indeseadas y mejorar la productividad agrícola en ambientes controlados.

Por otro lado, la sostenibilidad energética es un factor clave en la implementación de estas tecnologías. Revisión sistemática realizada por (Jawad, 2017) destaca que las redes de sensores inalámbricos (WSN) en agricultura requieren protocolos energéticamente eficientes, como ZigBee o LoRa, para garantizar la durabilidad de los sistemas en campo abierto. Complementariamente, (Sahu, 2020) proponen enfoques basados en lógica difusa para mejorar la ubicación de nodos sensores, optimizando la cobertura y reduciendo el consumo energético.

La integración de IoT con técnicas de inteligencia artificial representa un avance reciente en este campo. (Kumar, 2025) resaltan cómo el uso combinado de sensores IoT y algoritmos de aprendizaje automático mejora la resiliencia de los cultivos frente a enfermedades y estreses ambientales, aportando eficiencia en el uso de recursos.

Finalmente, aunque el potencial de estas tecnologías es elevado, aún existen desafíos. Como señalan (Saiz-Rubio, 2020), la escalabilidad de sistemas IoT agrícolas enfrenta barreras en cuanto a costos de infraestructura, confiabilidad de datos y seguridad de la información. Sin embargo, la evidencia científica indica que el diseño de sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT no solo responde a necesidades tecnológicas, sino que constituye un fundamento sólido para la optimización agrícola sostenible.

### **Marco Legal**

- Decreto 948 de 1995: Regula la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en Colombia. Establece normas y principios generales para la protección atmosférica y los mecanismos de prevención y control de la contaminación del aire (Bogotá, 1995).

- Decreto 1076 de 2015: Regula el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, que incluye la inscripción de concesiones de agua y autorizaciones de vertimiento. Es importante

considerar este decreto si tu proyecto involucra el uso de agua o vertimientos en la zona rural (Minambiente, 2021).

- Decreto 1210 de 2020: Modifica y adiciona parcialmente el Decreto 1076 de 2015 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico. Establece requisitos para el registro de usuarios de agua para consumo humano y doméstico en viviendas rurales dispersas y aguas residuales domésticas provenientes de soluciones individuales de saneamiento básico <sup>1 2</sup> (Pública, 2020; Juriscol, 2015).

### **Aspectos Clave**

- Monitoreo de la calidad del aire: Es fundamental monitorear la calidad del aire en zonas rurales debido a la presencia de contaminantes como herbicidas y otros productos químicos que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente (bogotá, 1995).

- Niveles de contaminación: Se debe considerar los niveles de contaminación permitidos por la ley colombiana, establecidos en el Decreto 948 de 1995, que define los niveles de alerta y emergencia para la calidad del aire (bogotá, 1995).

- Instrumentos de control y vigilancia: Es importante implementar instrumentos de control y vigilancia para garantizar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y prevenir la contaminación atmosférica <sup>1 3</sup> (bogotá, 1995).

### **Autoridades Competentes**

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Es el encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio colombiano y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico (Minambiente, 2021).

- Autoridades ambientales regionales: Son responsables de implementar y hacer cumplir las normas de calidad del aire y gestionar los recursos naturales en sus respectivas regiones <sup>1</sup> (Minambiente, 2021).

## **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de aire en invernaderos que permita medir y controlar los parámetros de la calidad del aire, mejorando así el crecimiento y la productividad de las plantas.

## **Objetivos Específicos**

1. Investigar y analizar la información técnica y científica relacionada con el monitoreo de la calidad del aire en invernaderos, incluyendo sensores, tecnologías IoT, plataformas de visualización de datos y requisitos en cuanto a desarrollo de la plataforma web.
2. Diseñar la arquitectura conceptual del prototipo del sistema, definiendo los componentes necesarios (sensores, dispositivos de control y software) y sus interacciones.
3. Desarrollar un prototipo funcional a pequeña escala que permita la recolección y visualización básica de datos ambientales en tiempo real.
4. Probar y validar el funcionamiento del prototipo en condiciones controladas, evaluando la precisión de los datos obtenidos y la viabilidad del sistema para futuras fases de implementación.
5. Proponer mejoras y ajustes con base en los resultados del prototipo, para orientar un diseño más robusto y escalable del sistema final.

## **Desarrollo**

### **Metodología Propuesta**

#### **1. Tipo de Investigación**

El proyecto se enmarca en un estudio de tipo descriptivo y exploratorio.

Descriptivo porque busca caracterizar las condiciones del aire dentro de los invernaderos (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>, etc.) a partir de la información recolectada.



Exploratorio porque indaga tecnologías, métodos y herramientas que permitan, a futuro, crear un prototipo de monitoreo ambiental.

Esta fase no contempla la implementación física del sistema, sino la investigación documental y técnica necesaria para su diseño conceptual.

## **2. Enfoque Metodológico**

Se utilizará un enfoque mixto:

Cuantitativo: Revisión de datos técnicos y ambientales (temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>) provenientes de estudios y fuentes secundarias.

Cualitativo: Análisis documental de investigaciones previas, normativas y tecnologías aplicables al monitoreo ambiental en invernaderos.

## **3. Diseño de Investigación**

El diseño es no experimental y transversal:

No experimental porque no se manipularán variables, solo se observarán y analizarán datos e información existente.

Transversal porque la investigación se realizará en un periodo de tiempo específico y no contempla seguimiento longitudinal.

## **4. Población y Muestra**

Población: Proyectos, estudios e investigaciones previas relacionadas con monitoreo ambiental en invernaderos.

Muestra: Se seleccionarán al menos 10 investigaciones recientes y relevantes que describan prototipos, tecnologías IoT y metodologías de monitoreo ambiental.

Criterios de selección:

Relevancia técnica.

Uso de tecnologías similares (sensores IoT, plataformas web, sistemas de control).

Aplicabilidad al contexto agrícola colombiano.

## **5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Técnicas: Revisión documental, análisis comparativo y búsqueda bibliográfica en bases de datos académicas y documentos técnicos.

Instrumentos:

Fichas de registro para cada investigación revisada.

Matrices comparativas para analizar tecnologías, costos y beneficios.

Software de gestión bibliográfica (Zotero, Mendeley) para organizar las referencias.

## **6. Procedimientos**

Búsqueda y selección de información: Identificar fuentes académicas, normativas y técnicas sobre monitoreo ambiental e IoT en agricultura.

Clasificación de información: Organizar la información según tecnologías, costos, beneficios y resultados obtenidos.

Análisis comparativo: Identificar similitudes, diferencias, ventajas y desventajas entre los proyectos revisados.

Síntesis y conclusiones: Elaborar una propuesta conceptual para un prototipo básico de monitoreo ambiental en invernaderos.

## **7. Plan de Análisis de Datos**

Para los datos cualitativos: análisis de contenido para identificar tendencias, tecnologías y limitaciones.

Para los datos cuantitativos: cuadros comparativos de costos, especificaciones técnicas y resultados de cada proyecto revisado.

## **8. Consideraciones Éticas**

Respeto por los derechos de autor y citas bajo normativa APA.

Uso exclusivo de información de fuentes públicas y académicas.

Transparencia en la presentación de resultados y limitaciones del estudio.

## 9. Cronograma de Actividades

Tabla 1

### *Cronograma de actividades*

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
Búsqueda de información bibliográfica	Semana 1 – Semana 2
Clasificación y análisis de información	Semana 3 – Semana 4
Elaboración de manual técnico (boceto)	Semana 5
Redacción de la investigación	Semana 6 – Semana 7
Síntesis de resultados y conclusiones	Semana 8

## 10. Fases del Proyecto

**Análisis:** Revisión de literatura, normativas y tecnologías relacionadas.

**Diseño Conceptual:** Propuesta inicial de arquitectura y componentes del prototipo.

**Validación Teórica:** Comparación con proyectos previos y normativas aplicables.

**Propuesta Final:** Documento con conclusiones y lineamientos para la fase de desarrollo futuro.

El desarrollo del proyecto de monitoreo de aire en invernaderos implica varias etapas clave que se deben seguir para garantizar el éxito del proyecto.

**Etapas 1: Planificación y Diseño**

- Definir los objetivos del proyecto: Identificar los parámetros de la calidad del aire que se van a monitorear y los beneficios esperados del proyecto.

- Realizar un estudio de factibilidad: Evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto.

- Diseñar el sistema de monitoreo: Seleccionar los sensores y equipos necesarios para medir los parámetros de la calidad del aire.

## Etapas 2: Implementación del Sistema de Monitoreo

- Instalar los sensores y equipos: Colocar los sensores y equipos en el invernadero para medir los parámetros de la calidad del aire.
- Configurar el sistema de monitoreo: Configurar el sistema para que pueda recopilar y almacenar datos en tiempo real.
- Realizar pruebas y calibración: Verificar que el sistema esté funcionando correctamente y calibrar los sensores según sea necesario.

## Etapas 3: Recopilación y Análisis de Datos

- Recopilar datos: Recopilar datos sobre los parámetros de la calidad del aire en el invernadero.
- Analizar los datos: Analizar los datos para identificar tendencias y patrones en la calidad del aire.

- Generar informes: Generar informes sobre la calidad del aire en el invernadero.

## Etapas 4: Implementación de Medidas de Mejora

- Identificar áreas de mejora: Identificar áreas donde se pueden mejorar la calidad del aire en el invernadero.
- Implementar medidas de mejora: Implementar medidas para mejorar la calidad del aire, como la ventilación o la reducción de emisiones.
- Monitorear y evaluar: Monitorear y evaluar la efectividad de las medidas de mejora.

## Etapas 5: Mantenimiento y Actualización

- Realizar mantenimiento regular: Realizar mantenimiento regular del sistema de monitoreo para garantizar su funcionamiento correcto.
- Actualizar el sistema: Actualizar el sistema de monitoreo según sea necesario para garantizar que siga siendo efectivo.

## Beneficios del Proyecto

- Mejora de la calidad del aire: El proyecto puede ayudar a mejorar la calidad del aire en el invernadero, lo que puede tener beneficios para la salud de las plantas y los trabajadores.

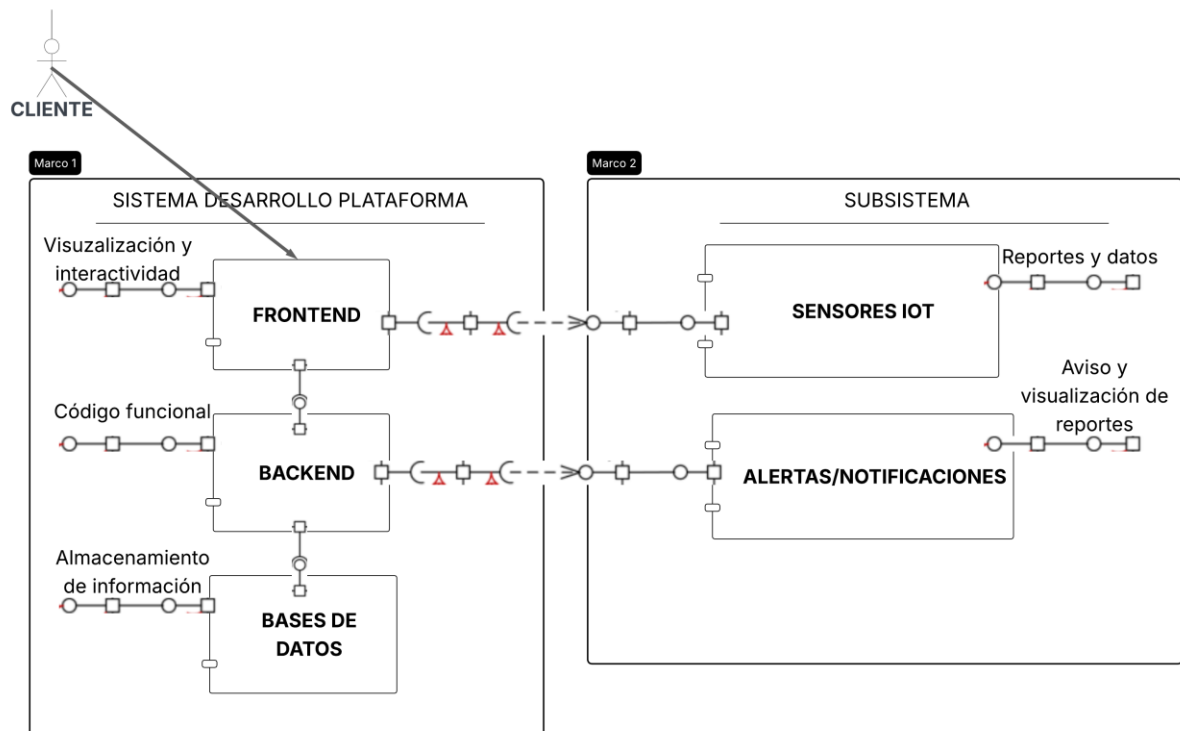
- Reducción de costos: El proyecto puede ayudar a reducir costos al identificar áreas de mejora e implementar medidas para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia.

- Mejora de la productividad: El proyecto puede ayudar a mejorar la productividad al proporcionar información en tiempo real sobre la calidad del aire y permitir la toma de decisiones informadas.

Los siguientes diagramas (componentes, secuencia y despliegue), muestran los requerimientos que necesita y usará el sistema y el orden que seguirá el sistema para su correcto funcionamiento con su respectiva tabla explicativa:

**Figura 1**

*Diagrama de Componentes*



**Figura 2**

*Diagrama de Secuencia*

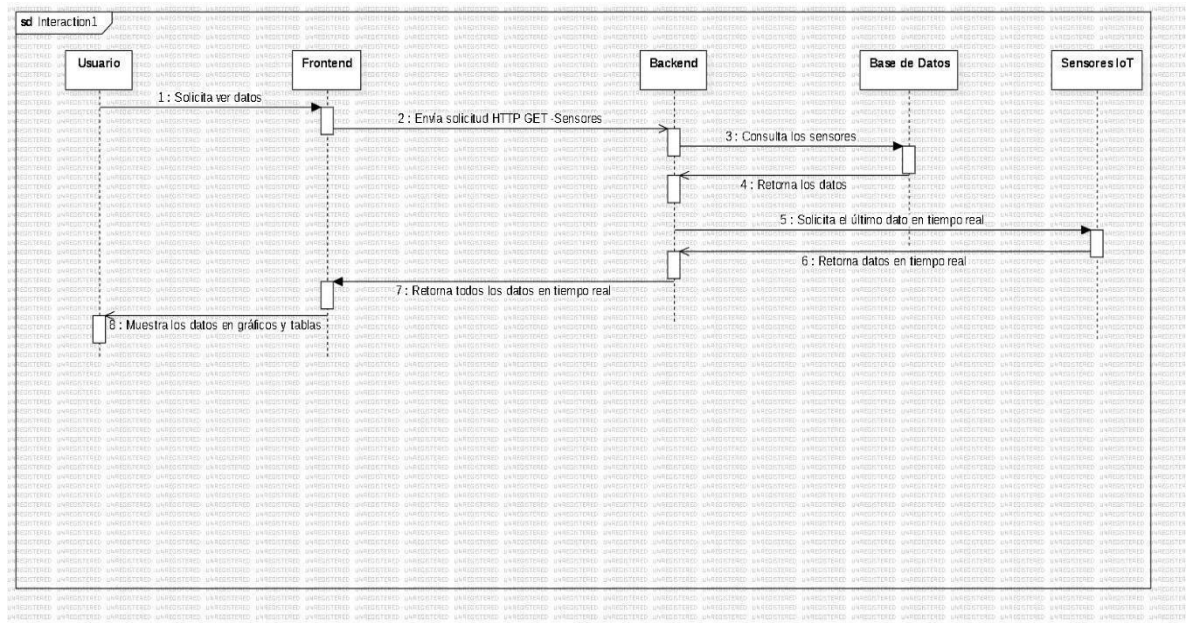
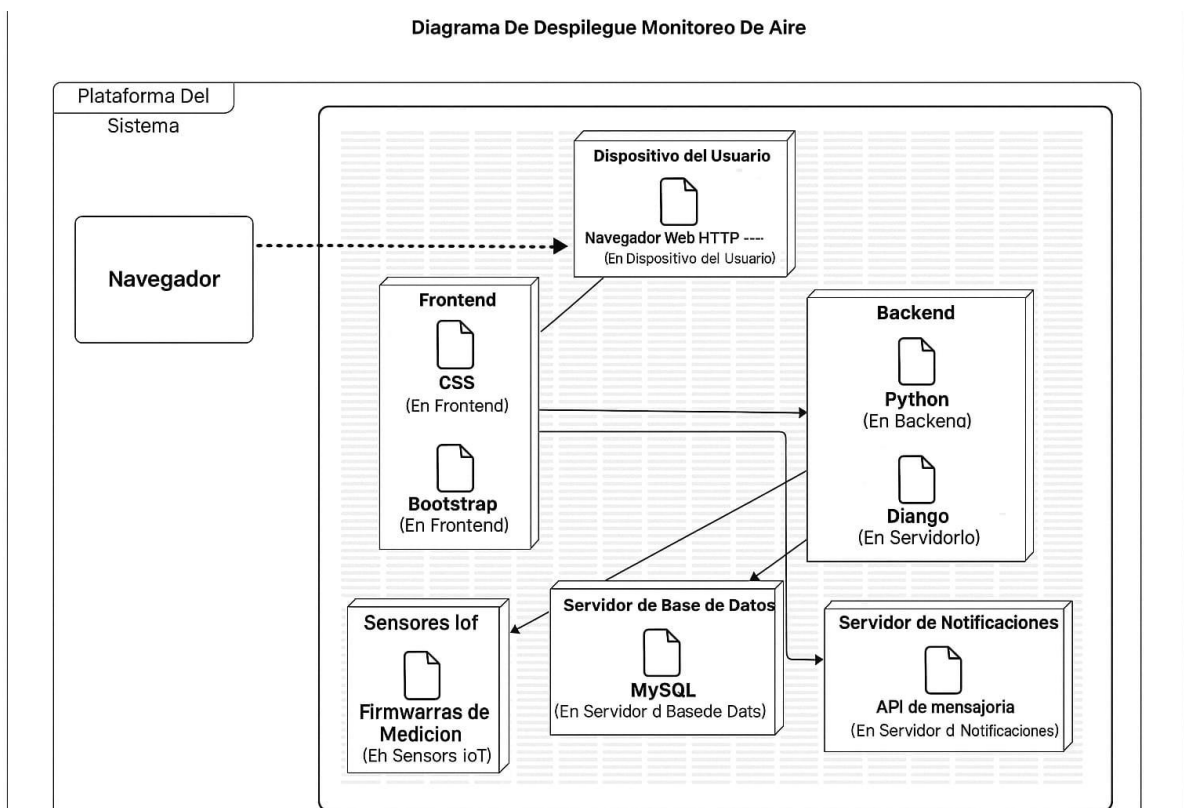


Figura 3

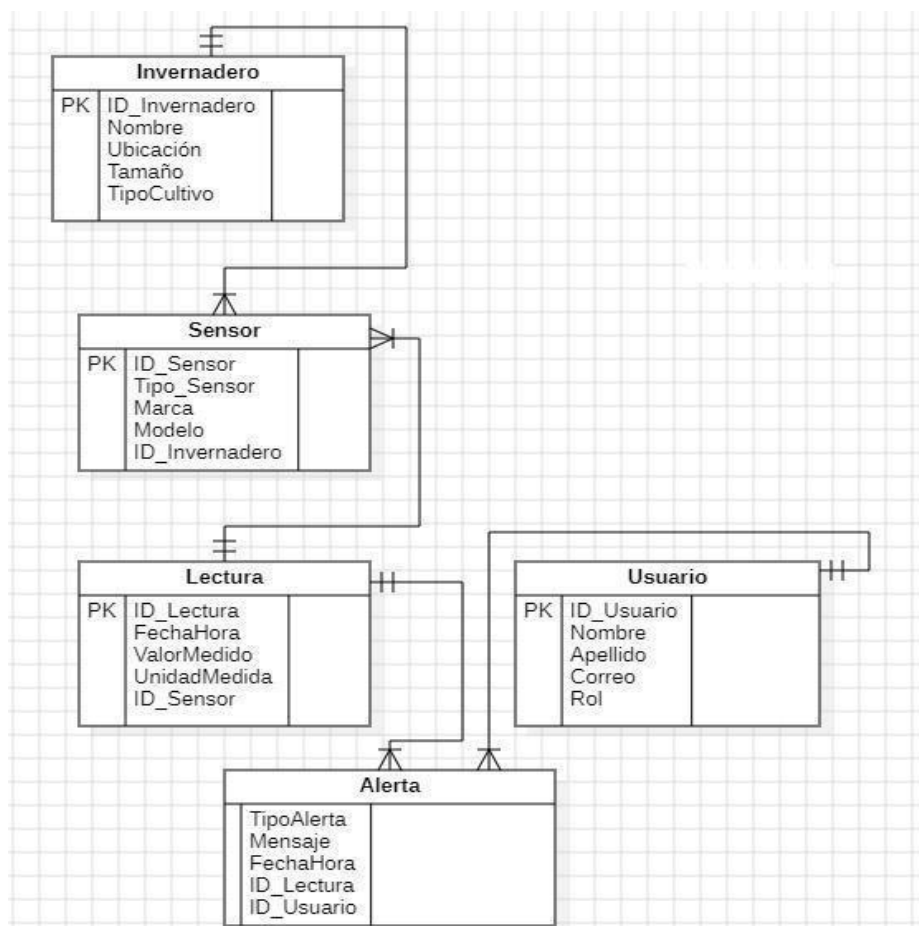
Diagrama de Despliegue



Y al igual se muestra la respectiva base de datos de la cual se haría uso para el almacenamiento de la información en el sistema a través del siguiente diagrama de entidad-relación y su tabla explicativa:

**Figura 4**

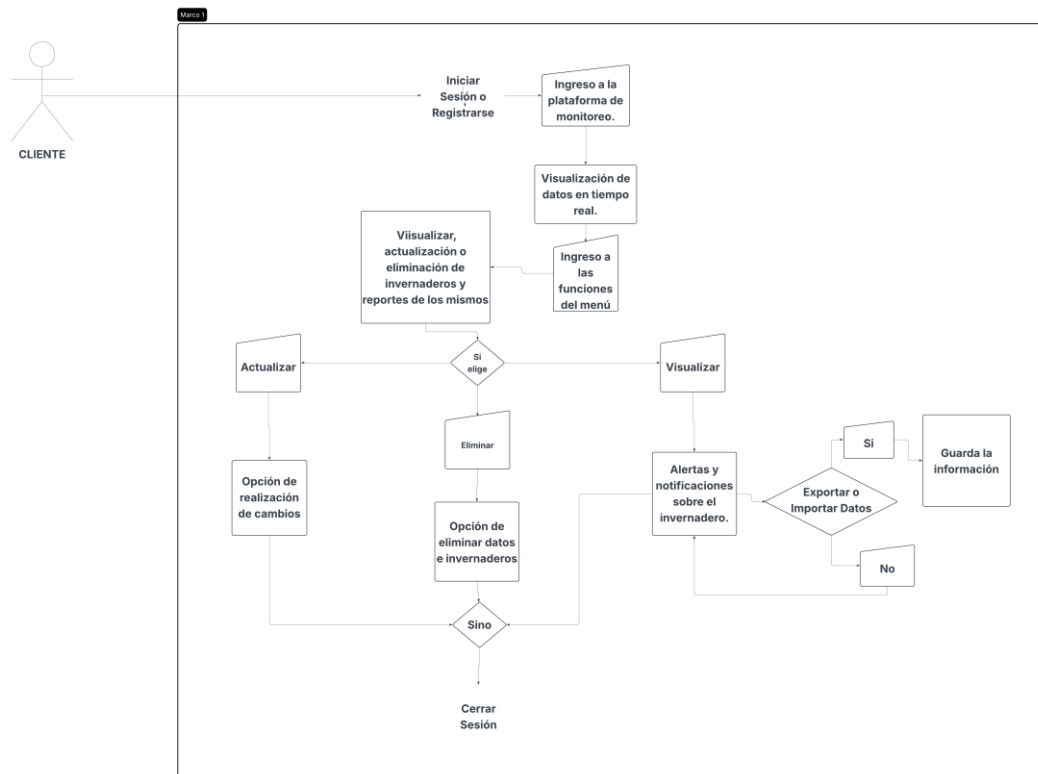
*Diagrama ERD*



Además, también se muestra en las siguientes figuras las acciones que podrá realizar tanto cliente como administrador en el sistema más sus respectivos pasos a tomar en caso de cada acción y su respectiva tabla explicativa:

**Figura 5**

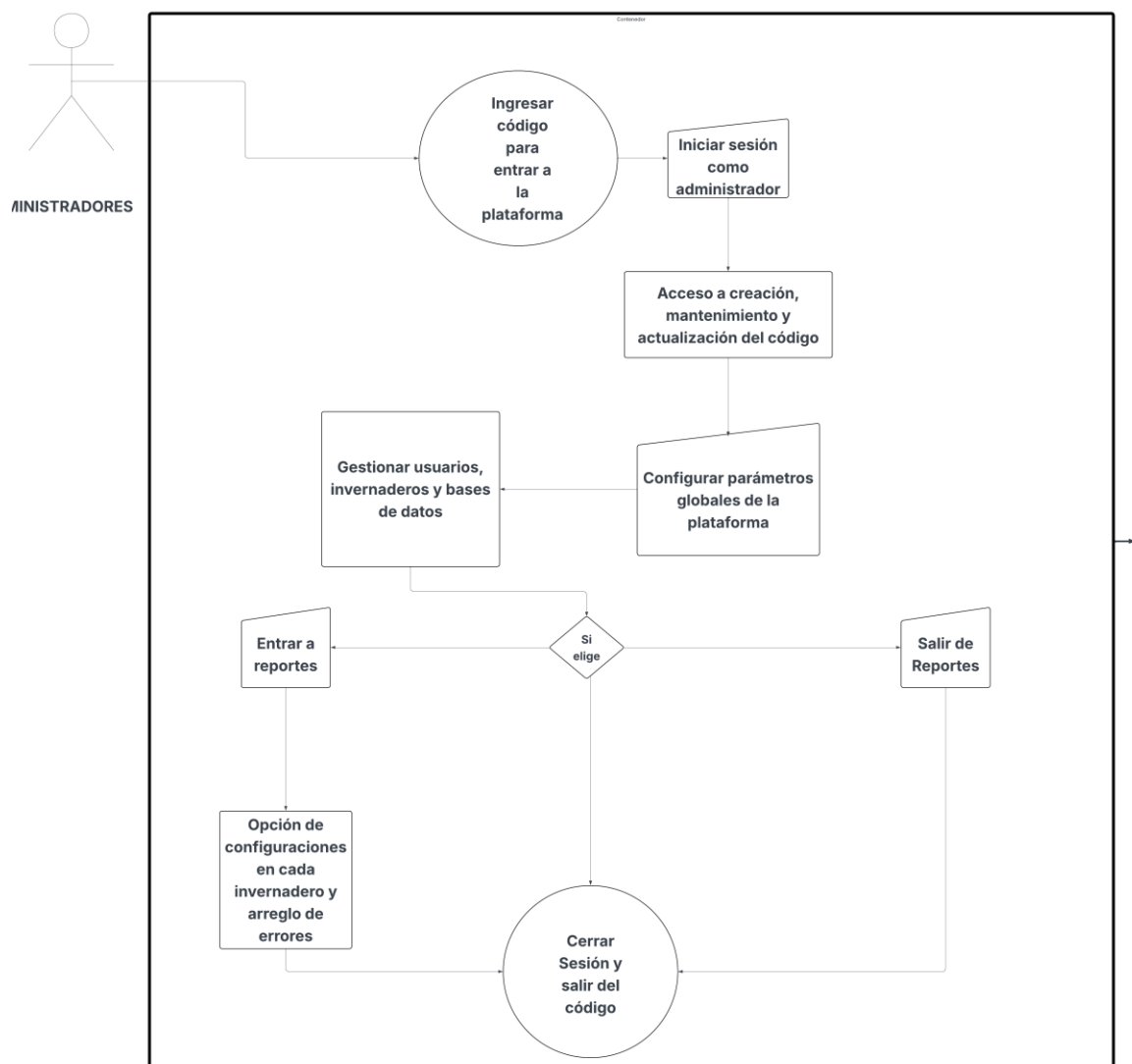
*Casos de Uso Cliente*



**Figura 6**

*Casos de Uso Administración del Sistema*





### Manejo de Riesgos

Tabla 2

*Matriz de Riesgos*

Riesgo	Probabilidad	Nivel de Impacto	Plan de Contingencia
Fallo o mal funcionamiento de sensores IoT.	Media	Alto	Realizar pruebas y calibración periódica, mantener sensores de reserva para reemplazo inmediato.
Latencia o retrasos en a la transmisión de datos.	Media	Medio	Optimizar software t protocolo de comunicación, monitorear rendimiento y

			establecer alertas automáticas.
Acceso no autorizado o pérdida de datos	Baja	Alto	Implementar autenticación fuerte, cifrado, backups regulares y auditorías de seguridad frecuentes.
Sobrecostos o retrasos en adquisición de desarrollo	Media	Alto	Planificar con proveedores alternos, seguimiento estricto de cronogramas y presupuesto.
Falta de capacitación o error de operación	Media	Medio	Capacitación continua al personal, documentación clara y soporte técnico permanente.
Cambios o incumplimiento normativo	Baja	Alto	Monitorear normativas, asesoría legal y diseño flexible para adaptación rápida.
Fallos en la plataforma web (caídas, errores críticos)	Media	Alto	Monitoreo continuo del sistema, soporte técnico 24/7, sistema de respaldo automático y recuperación rápida.
Fallo en la integración del backend con sensores IoT	Media	Alto	Pruebas automatizadas, desarrollo incremental, sistema robusto de logs para detección rápida de fallos.
Vulnerabilidades de seguridad informática (hacks, ataques)	Media	Alto	Auditorías de seguridad, actualizaciones constantes de software, uso de firewalls y sistemas de detección de intrusos.
Problemas de sincronización y latencia entre frontend y backend	Media	Medio	Optimización de comunicaciones, uso de caching y balanceo de carga; monitoreo

			de tiempos de respuesta.
Fallos en la base de datos (corrupción, pérdida de datos)	Baja	Alto	Backups frecuentes automáticos, restauración probada, alta disponibilidad y redundancia de bases de datos.
Retrasos en el desarrollo o implementación del software	Media	Medio-Alto	Seguimiento ágil (scrum o Kanban), hitos claros, comunicación constante con stakeholders, planes de mitigación.
Incompatibilidad con dispositivos o navegadores	Media	Medio	Pruebas cross-browser y en distintos dispositivos, adaptabilidad responsive del diseño web.

### Presupuesto del Proyecto

Tabla 3

*Tabla de Presupuesto*

Ítem	Cantidad/tiempo	Valor Unitario (COP)	Valor Total (COP)
<b>Recursos Humanos</b>			
Desarrolladores	3	\$1.423.500	\$4.270.500
Auxilio de transporte	3	\$200.000	600.000
<b>Materiales</b>			
Sensores IoT	10	\$475.000	\$4.750.000
Microcontroladores ESP32	10	\$60.000	\$600.000
Computadora/Servidor	3	\$5.000.000	\$15.000.000
Licencias Software (Multiusuario Empresarial)	1	\$1.000.000	\$1.000.000
Escritorios de Oficina	3	\$600.000	\$1.800.000
Sillas Ergonómicas	3	\$400.000	\$1.200.000
Materiales eléctricos (cables, conectores, fuentes)	Varios	\$1.500.000	\$1.500.000

Material de Oficina (Papelería, etc.)	Varios	\$200.000	\$200.000
Carcasa o envoltente para sensores	10	\$30.000	\$300.000
Sistema de respaldo de cortes eléctricos (UPS)	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Router o switch de red	1	\$650.000	\$650.000
Servidor Local (Computadora dedicada)	1	\$6.000.000	\$6.000.000
<b>Servicios</b>			
Internet	3 meses	\$450.000	\$450.000
Servicios de hosting web y bases de datos	3 meses	\$3.000.000	\$3.000.000
Consultoría técnica IoT (disposición de sensores y arquitectura)	1	\$5.000.000	\$5.000.000
Transporte técnico (instalación servicios y materiales, soporte)	-	\$1.200.000	\$1.200.000
<b>TOTAL (sin imprevistos)</b>	-	-	<b>\$48.720.500</b>
<b>Imprevistos (porcentaje del 15% del total)</b>	-	-	<b>\$7.308.075</b>
<b>TOTAL DEFINITIVO</b>	-	-	<b>\$56.028.575</b>

### Conclusiones

El proyecto “Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire en Invernaderos” plantea una solución innovadora al integrar sensores IoT con una plataforma web interactiva que permite visualizar en tiempo real las condiciones ambientales dentro del invernadero. Esta plataforma no solo recopila datos sobre temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>, sino que también ofrece herramientas para la gestión centralizada y el análisis histórico de la información, facilitando así la toma de decisiones oportunas y precisas.

Gracias a su diseño web, el sistema puede ser accedido de manera remota desde distintos dispositivos, lo que aumenta la flexibilidad y la eficiencia en la supervisión del invernadero. Esta característica es especialmente útil para los operadores, quienes pueden ajustar parámetros y monitorear tendencias sin necesidad de estar físicamente en el lugar, optimizando tiempo y recursos.

En conjunto, este proyecto no solo mejora el control ambiental dentro de los invernaderos, sino que sienta las bases para futuras integraciones, como sistemas predictivos o automatización completa del riego y la ventilación, convirtiéndose en una herramienta clave para el desarrollo de una agricultura más tecnológica, sostenible y productiva.

### **Recomendaciones**

Para mejorar y mantener a flote el proyecto de monitoreo de aire en invernaderos, se pueden considerar las siguientes estrategias:

#### **Mejoras Futuras**

- Integración de tecnologías avanzadas: Incorporar tecnologías como inteligencia artificial y aprendizaje automático para analizar y predecir las condiciones climáticas y ambientales en el invernadero.
- Ampliación de la cobertura: Expandir el sistema de monitoreo para cubrir más áreas del invernadero y aumentar la precisión de los datos.
- Interacción con otros sistemas: Integrar el sistema de monitoreo con otros sistemas de control y automatización para optimizar el funcionamiento del invernadero.
- Análisis de datos: Realizar análisis de datos para identificar patrones y tendencias en las condiciones climáticas y ambientales del invernadero.

#### **Mantenimiento y Actualización**

- Mantenimiento regular: Realizar mantenimiento regular de los sensores y equipos para garantizar su funcionamiento correcto.

- Actualización de software: Actualizar el software y la interfaz de usuario para asegurarse de que se mantengan actualizados y seguros.
- Capacitación y soporte: Proporcionar capacitación y soporte técnico a los usuarios para asegurarse de que puedan utilizar el sistema de manera efectiva.
- Monitoreo remoto: Implementar monitoreo remoto para permitir a los usuarios acceder a los datos y controlar el sistema desde cualquier lugar <sup>1 2</sup>.

#### Beneficios

- Mejora de la productividad: El proyecto puede ayudar a mejorar la productividad y la calidad de los cultivos en el invernadero.
- Reducción de costos: El proyecto puede ayudar a reducir costos al identificar áreas de mejora y optimizar el funcionamiento del invernadero.
- Toma de decisiones informadas: El proyecto puede proporcionar datos precisos y en tiempo real para tomar decisiones informadas sobre el manejo del invernadero.

#### Desafíos

- Costo: El costo de implementar y mantener el sistema de monitoreo puede ser un desafío.
- Complejidad: La complejidad del sistema puede requerir personal capacitado para su operación y mantenimiento.
- Seguridad: La seguridad del sistema y los datos es fundamental para evitar accesos no autorizados y pérdidas de datos.

## Bibliografía

- AgroForum. (27 de 01 de 2016). *AgroForum*. Obtenido de Temperatura y humedad: dos factores vitales para el crecimiento en invernaderos:  
<https://www.agroforum.pe/viveros-e-invernaderos/temperatura-y-humedad-factores-vitales-crecimiento-invernaderos-16231-print/>
- Anna Chliganryan, S. S. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *ScienceDirect*, 61-69.
- Anónimo. (01 de 12 de 2022). *Plataforma Tierra*. Obtenido de Investigadores de la UAL desarrollan un sistema que predice el clima para ayudar a los agricultores:  
[https://www.infoagro.com/noticias/2022/investigadores\\_de\\_la\\_ual\\_desarrollan\\_un\\_sistema\\_que\\_predice\\_el\\_clima\\_p.asp?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.infoagro.com/noticias/2022/investigadores_de_la_ual_desarrollan_un_sistema_que_predice_el_clima_p.asp?utm_source=chatgpt.com)
- Arias Murillo, C. P., & Camacho Paucar, L. A. (09 de 2020). *repositorio.utc*. Obtenido de “DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE LA QUINTA AGUJA DE ORO:  
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c4a43255-0c9c-4682-9d50-2224638792a2/content>
- Ashton, K. (2009). That ‘Internet of Things’ Thing. *RFID JOURNAL*.
- BARÓN, J. C. (2013). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)*. Obtenido de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA INVERNADEROS APOYADOS CON TECNOLOGÍAS ZIGBEE:  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/2415/7186263.pdf;jsessionid=FEDBF13B9DD9916BAA12397A9083C73A?sequence=1>
- bogotá, S. G. (05 de 06 de 1995). *Faolex*. Obtenido de DECETO NUMERO 948 DE 1995:  
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/col3406.pdf>

- Collado, J. G. (2021). *AIMS*. Obtenido de IoT-based agro-climatic system for greenhouse monitoring in Panama.: <https://doi.org/10.3934/electreng.2021014>
- Duque, S. I. (01 de 01 de 2017). *Revistasoj.s.ucaldas*. Obtenido de Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos Sergio Iván Ossa Duque\*a Especialista en Redes y Telecomunicaciones. Ingeniero Electrónico. Gestor Línea Electrónica y Telecomunicacion:  
<https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vector/article/view/236/182>
- Food and Agriculture Organization. (28 de 8 de 2021). *fao.org*. Obtenido de La agricultura climáticamente inteligente: <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/es/>
- Huamán, C. E. (08 de 06 de 2015). *tesis.pucp*. Obtenido de Sistema Automatizado para el Monitoreo y Control de Humedad en un Invernadero:  
<https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/90f93525-42fe-4330-8ee4-52d83b9ccf35/content>
- INIFAP. (2 de 15 de 2021). *Gob.mx*. Obtenido de Programa Institucional 2020-2024:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616122/Programa\\_Institucional\\_2020-2024\\_del\\_Instituto\\_Nacional\\_de\\_Investigaciones\\_Forestales\\_\\_Agricolas\\_y\\_Pecuarias\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616122/Programa_Institucional_2020-2024_del_Instituto_Nacional_de_Investigaciones_Forestales__Agricolas_y_Pecuarias_.pdf)
- Jawad, H. N. (2017). *MDPI*. Obtenido de Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), 1781.:  
<https://doi.org/10.3390/s17081781>
- Juriscol, S. (26 de 05 de 2015). *SUIN Juriscol*. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos%2F30019960>



- Konstantinos G. Liakos, P. B. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *MDPI*, 18(8).
- Kumar, A. S. (2025). *SPRINGERNATURE*. Obtenido de ntegrating IoT sensors and machine learning for sustainable precision agroecology. *Discover Sustainability*, 6(1), 1–18.: <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00247-y>
- Lugo Espinoza, O., Villavicencio Pérez, G. A., & Díaz Luna, S. A. (2014). *bibliat.unam*. Obtenido de scielo: [https://biblat.unam.mx/es/revista/terra-latinoamericana-edo-de-mex/articulo/paquete-tecnologico-para-el-monitoreo-ambiental-en-invernaderos-con-el-uso-de-hardware-y-software-libre?utm\\_source=chatgpt.com](https://biblat.unam.mx/es/revista/terra-latinoamericana-edo-de-mex/articulo/paquete-tecnologico-para-el-monitoreo-ambiental-en-invernaderos-con-el-uso-de-hardware-y-software-libre?utm_source=chatgpt.com)
- Mar, E. (s.f.).
- Marín García , E., Torres Marín , J., & Chaverra Lasso, A. (01 de 02 de 2023). *revistas.udistrital*. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index> Revista Científica • ISSN 0124-2253 • e-ISSN 2344-8350 • enero-abril 2023 • Bogotá-Colombia • N. 46(1) • pp. 37-50[ 37 ]: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/19816/18814>
- Minambiente. (26 de 05 de 2021). *Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Morán, I., & Estuardo, V. (2012). *rest-dspace*. Obtenido de <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b94f842f-c613-40a4-b171-0e2abcf39875/content>
- Perdomo, É. J. (11 de 09 de 2023). *acofipapers.org*. Obtenido de Sistema Inteligente de automatización, monitoreo y control de invernaderos mediante uso de IoT y el

microcontrolador ESP-32 con aplicación de aprendizaje automático:

<https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2818/2332>

Pública, F. (02 de 09 de 2020). *Función Pública*. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=141359>

Pulgar, J. A. (2021). *repositorio.unal*. Obtenido de Sistema para el manejo de datos

climáticos de pequeñas producciones agrícolas bajo invernadero: un acercamiento a la agricultura inteligente.:

<https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/d15d77b3-0b5b-4b5b-98f4-c6eabe57658a/content>

Rocha, G. A. (2023). *repositorio.unal*. Obtenido de Diseño asistido por computador de un sistema de climatización para invernaderos ventilados naturalmente en el trópico

altoandino: <https://repositorio.unal.edu.co/items/57fdd93b-801e-4fc5-acf3-e9c8a08cbf6b>

Rosales Vicelis, J. E. (01 de 2019). *Universidad Autónoma de Chapingo*. Obtenido de

Monitoreo 3D y análisis CFD del ambiente de un invernadero con ventilación natural:

<https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/0b50a3e7-5cf5-4918-8919-3a94c10ccc45>

Sahu, P. C. (2020). *ScienceDirect*. Obtenido de Enhancing sensor network sustainability with

fuzzy logic-based node placement approach for agricultural monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105587. :

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105587>

Saiz-Rubio, V. &.-M. (2020). *ScienceDirect*. Obtenido de From smart farming towards

agriculture 5.0: A review on crop data management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105476.: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476>

Sjaak Wolfert, L. G. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *ScienceDirect*, 69-80.

TencoAgro. (22 de 06 de 2011). *TecnoAgro*. Obtenido de Control Climático en Invernadero:

<https://tecnoagro.com.mx/2011/06/22/control-climatico-en-invernadero/>

Tomoghna Ojha, S. M. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *ScienceDirect*.

Universidad Politécnica de Valencia. (21 de 02 de 2018). *Universidad Politécnica de*

*Valencia*. Obtenido de La UPV y la UGR desarrollan un nuevo sistema inteligente de bajo coste para el riego eficiente de cultivos y huertos: <https://www.upv.es/noticias-upv/noticia-9802-agricultura-de-es.html>

Wolfert, S. G. (2017). *ScienceDirect*. Obtenido de Big data in smart farming – A review.

*Agricultural Systems*, 153, 69–80. : <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Zhang, Y. S. (2020). *IOPscience*. Obtenido de Environmental monitoring and disease detection of plants in smart greenhouse using IoT. *Journal of Physics*

*Communications*, 4(6), 065001.: <https://doi.org/10.1088/2399-6528/ab90c1>

## Anexos

### Manual Técnico Proyecto “Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire en

**Invernaderos”**: [https://docs.google.com/document/d/1-](https://docs.google.com/document/d/1-iYSjjPUTyxHNeQ9Lnn68tSUEIz_nMZp/edit?usp=drive_link&oid=105947417248983744483&rtpof=true&sd=true)

[iYSjjPUTyxHNeQ9Lnn68tSUEIz\\_nMZp/edit?usp=drive\\_link&oid=105947417248983744483&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/document/d/1-iYSjjPUTyxHNeQ9Lnn68tSUEIz_nMZp/edit?usp=drive_link&oid=105947417248983744483&rtpof=true&sd=true)