

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica



Agrobox

Informe de desarrollo del proyecto

Curso: Taller de Proyectos Interdisciplinarios

Autores:

Andrés Santiago Cañon Porras – acanop@unal.edu.co
Isabella Mendoza Cáceres – ismendoza@unal.edu.co
Jorge Santiago Camargo Guerrero – jocamargog@unal.edu.co
José Manuel Niño González – jonino@unal.edu.co
Juan Esteban Ramirez Gonzalez – jramirezgon@unal.edu.co
Juan Manuel Gómez Galvis – juangomezgal@unal.edu.co

Profesor: Angela María Arboleda Restrepo

30 de julio de 2025

Resumen ejecutivo

En Colombia, pese a contar con suelos fértilles y condiciones climáticas adecuadas, la productividad agrícola permanece muy rezagada frente a economías líderes de la región, como Brasil, debido a insuficiente inversión en innovación tecnológica y limitado acceso a datos precisos, lo que reduce los rendimientos en cultivos clave y eleva los costos de producción (WIPO, 2023). Un análisis PESTAL ha evidenciado barreras políticas por la discontinuidad de los programas rurales, económicas en la baja inversión (0,3 % del PIB), ambientales por la degradación de suelos, tecnológicas por la escasa conectividad rural, sociales por la migración y el envejecimiento del campo, y legales por la inseguridad en la tenencia de tierras y regulaciones de agroquímicos (OCDE 2023).

Como solución, se plantea mejorar la productividad de los cultivos de fresa y lechuga ubicados en las regiones de Cundinamarca y Boyacá por medio de la tecnificación. Para asegurar la pertinencia de la propuesta, se involucraron como partes interesadas pequeños y medianos productores de Boyacá y Cundinamarca, cooperativas como AGUABLANCA S.A.S., agroexportadores, expertos en suelos, inteligencia artificial y comunicación, y entidades gubernamentales, cuyos aportes han sido determinantes en el diseño y validación inicial del sistema Agrobox.

AgroBox surge como un dispositivo autónomo y modular de bajo costo que mide en tiempo real temperatura y humedad del aire y del suelo mediante sensores DHT11 y capacitivos, procesando los datos localmente con una red neuronal embebida para generar recomendaciones visuales sencillas (regar, ventilar, sombrear) sin requerir conexión a Internet. En el ámbito comercial, su diseño de bajo consumo energético y potencial de integración con plataformas móviles lo convierten en una solución escalable y replicable en zonas de conectividad limitada, mientras que el análisis financiero demuestra que es posible alcanzar el punto de equilibrio, garantizando viabilidad económica a corto plazo. A la vez, se han incorporado medidas de sostenibilidad, como el uso de baterías recargables, retorno de componentes electrónicos al final de su vida útil y carcasa de plástico reciclable, reduciendo el impacto ambiental.

De este modo, AgroBox articula de forma sistémica la problemática de baja productividad. Y al integrar hardware, software e inteligencia artificial, tiene el potencial de cerrar la brecha de productividad del agro colombiano de manera sostenible e inclusiva.

Índice general

1. Introducción	3
2. El problema y su contexto	4
2.1. Antecedentes y opiniones de expertos	4
2.2. Análisis PESTAL	4
2.2.1. Factores Políticos	4
2.2.2. Factores Económicos	4
2.2.3. Factores Ambientales	5
2.2.4. Factores Tecnológicos	5
2.2.5. Factores Sociales	5
2.2.6. Factores Internos y Externos	5
2.2.7. Factores Legales	5
2.3. Análisis de actores o stakeholders	5
2.4. La problemática, objetivos y modalidad	6
2.4.1. Problemática	6
2.4.2. Objetivos	6
2.4.3. Modalidad	7
2.5. Análisis de la pregunta reto	7
2.6. Posibles soluciones	7
3. Formulación del proyecto	8
3.1. Propuesta de alternativas	8
3.2. Evaluación de alternativas	8
3.3. Definición de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)	9
3.4. Planteamiento del diseño preliminar	9
3.5. Conceptos preliminares de ciencias, matemáticas e ingeniería	10
3.5.1. Conceptos para el desarrollador	10
3.6. Especificaciones de diseño y restricciones	10
3.7. Aspectos claves del proyecto	11
3.7.1. Alcance	11
3.7.2. Tiempo (Cronograma)	12

3.7.3. Estructura de costos del proyecto	12
3.8. Viabilidad del proyecto	13
3.8.1. Estudio técnico	13
3.8.2. Estudio de mercado	14
3.8.3. Estudio legal	14
3.8.4. Estudio de impacto ambiental	15
3.8.5. Riesgos	15
3.8.6. Estudio financiero	16
3.8.7. Conclusión de viabilidad económica	16
3.9. Matriz de marco lógico	16
4. Avance del proyecto TPI	17
4.1. Descripción de objetivos, entregables y actividades realizadas	17
4.2. Productos a entregar	17
4.3. Descripción del prototipo	17
4.4. Modelo de negocio y oferta de valor presente	18
4.5. Identificación y diseño de subsistemas	18
4.6. Uso de principios matemáticos, de las ciencias y la ingeniería	18
4.7. Especificaciones, restricciones y requerimientos	18
4.8. Conclusiones	19

Capítulo 1

Introducción

El agro colombiano, a pesar de sus condiciones de suelo y clima favorables, presenta índices de productividad considerablemente inferiores a los de otras economías agrícolas de la región. Esta brecha limita la competitividad de los productores rurales, encarece los costos de producción y dificulta la adopción de prácticas modernas de cultivo.

Frente a este desafío, AgroBox ofrece una solución tecnológica accesible y de fácil uso, diseñada especialmente para pequeños y medianos agricultores. Su funcionamiento se basa en el monitoreo continuo de variables críticas —temperatura y humedad del aire y del suelo— y en la generación de recomendaciones visuales intuitivas (regar, ventilar, sombrear) mediante un modelo de inteligencia artificial local que no depende de conexión a Internet.

Desde el punto de vista técnico, AgroBox integra sensores de bajo costo y una red neuronal embebida, lo que exige estrategias de calibración, protección ambiental y garantía de durabilidad. Al mismo tiempo, cumple con las normativas nacionales e internacionales en seguridad eléctrica y buenas prácticas agrícolas, asegurando su viabilidad en entornos rurales con conectividad limitada.

Capítulo 2

El problema y su contexto

2.1. Antecedentes y opiniones de expertos

El agro colombiano enfrenta grandes retos para ser eficiente y sostenible, con baja productividad pese a suelos y clima favorables (WIPO, 2023), debido a concentración de tierras, poca inversión en tecnología (0,3 % del PIB frente a 1,26 % en Brasil OCDE 2023) y limitado acceso a crédito y asistencia. Casos como Brasil y China muestran cómo políticas y tecnología mejoran la productividad, mientras que en Colombia iniciativas como STACA avanzan lentamente por barreras como falta de conectividad y altos costos.

2.2. Análisis PESTAL

Permite diseñar soluciones pertinentes, mitigar riesgos y facilitar su aceptación en las comunidades rurales.

2.2.1. Factores Políticos

Las políticas agrícolas han sido insuficientes, con solo el 9 % del presupuesto para pequeños productores DANE 2022 y baja inversión en innovación rural (0,24 % del PIB) OCDE 2023. Además, corrupción, falta de continuidad y tratados sin protección han afectado la sostenibilidad e ingresos del sector Agrosavia 2020; Contraloría General de la República de Colombia 2020; Fedegán 2021.

2.2.2. Factores Económicos

Solo el 31 % del agro colombiano usa tecnologías de monitoreo por su costo y desconocimiento Revista Entornos s.f. La tecnificación recibe baja inversión (0,3 % del PIB), pese a planes por 30 billones COP, y la productividad y PTF (0,6 %) siguen rezagadas, mientras el mercado global de tecnología agrícola crece sostenidamente WIPO 2023.

2.2.3. Factores Ambientales

El agro colombiano enfrenta degradación de suelos, deforestación, contaminación por agroquímicos, desertificación en La Guajira y baja adopción de prácticas sostenibles por falta de acceso y conocimiento.

2.2.4. Factores Tecnológicos

Aunque la innovación agro mundial avanza Markets and Markets [2023](#), en Colombia persisten baja conectividad rural (79,8 % sin internet Data Center Dynamics [s.f.](#)), servicios básicos limitados y brechas en formación técnica pese a programas como STACA Departamento Nacional de Planeación [2022](#).

2.2.5. Factores Sociales

En el campo colombiano crece el interés por tecnologías para productividad y uso eficiente del agua, pero el acceso desigual demanda soluciones simples Ministerio de Agricultura de Colombia [s.f.](#) La migración y el envejecimiento rural requieren herramientas fáciles, y aumenta la valoración de la producción local y sostenible.

2.2.6. Factores Internos y Externos

Factores internos: El proyecto usa sensores económicos y sencillos para riego, pero enfrenta limitaciones técnicas y baja adopción tecnológica en el sector (15 %) [Ley 160 de 1994 1994](#).

Factores externos: La escasez de agua y la demanda por soluciones accesibles impulsan la adopción, pero persisten la resistencia al cambio y la brecha digital, con solo un 10 % de fincas tecnificadas [Ley 776 de 2002 2002](#).

2.2.7. Factores Legales

Los factores legales incluyen inseguridad en la tenencia de tierras (Ley 160/1994), regulación de agroquímicos (Ley 776/2002) y uso de agua (Decreto 1076/2015), que dificultan inversiones y planificación. También afectan las normas laborales, estatutos cooperativos y certificaciones como BPA y comercio justo, que deben considerarse desde el diseño [Código Sustantivo de Trabajo s.f.](#); [Decreto 1076 de 2015 2015](#); Fedecacao [2021](#).

2.3. Análisis de actores o stakeholders

En el proyecto se identificaron actores clave, como validadores técnicos y clientes potenciales, para entender las necesidades reales del campo colombiano.

A continuación, se presenta una descripción organizada por tipo de stakeholder:

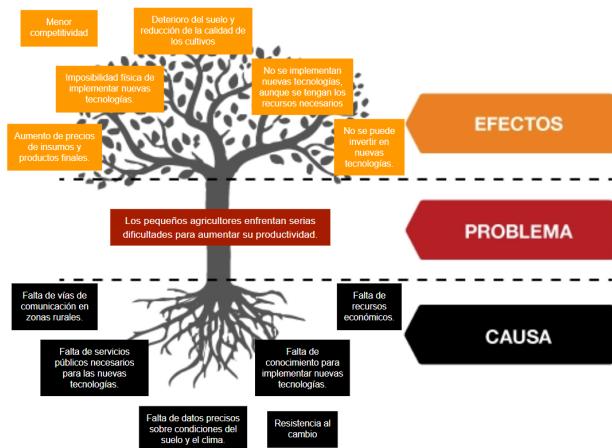
- 1. Agricultores y usuarios finales:** Pequeños y medianos productores validaron la utilidad del prototipo para enfrentar problemas de monitoreo, clima y enfermedades, destacando experiencias en Boyacá y Cundinamarca.
- 2. Clientes para emprendimiento:** Productores familiares, cooperativas, empresas como AGUABLANCA S.A.S. y programas de desarrollo rural interesados en integrar AgroBox a sus procesos.
- 3. Empresa agroexportadora:** AGUABLANCA S.A.S. aportó su experiencia en retos climáticos y de manejo, ofreciendo buenas prácticas útiles para el diseño.
- 4. Expertos y asesores técnicos:** Orientaron sobre suelos, decisiones de IA y comunicación para asegurar una solución apropiada y comprensible.
- 5. Entidades gubernamentales:** El Ministerio de Agricultura brindó contexto y alineación con políticas públicas a través de sus reportes.

2.4. La problemática, objetivos y modalidad

2.4.1. Problemática

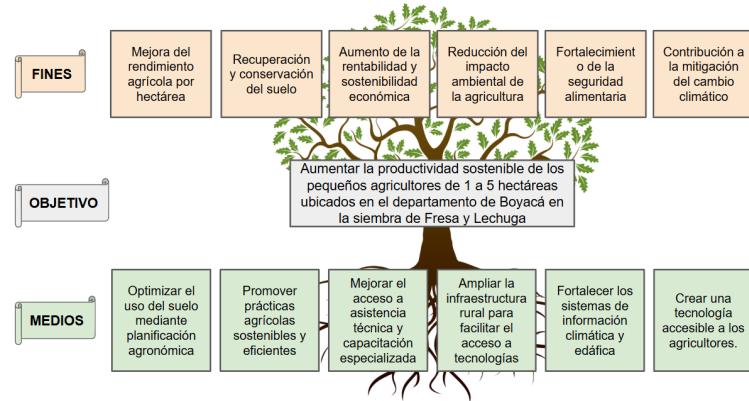
El árbol de problemas identifica causas, problema central y efectos. Las raíces incluyen falta de vías, servicios públicos, datos técnicos, recursos económicos y resistencia al cambio, que limitan la adopción tecnológica. El problema central es: *Los pequeños agricultores enfrentan serias dificultades para aumentar su productividad*. Entre los efectos destacan menor competitividad, deterioro del suelo, aumento de precios, dificultad para implementar tecnología y bajas inversiones, lo que frena el desarrollo sostenible.

El problema central es que los pequeños agricultores no logran aumentar la productividad de fresa y lechuga por falta de tecnicificación, lo que limita sus ingresos y competitividad. Esto se debe a la carencia de infraestructura, datos y apoyo técnico, afectando a quienes dependen de cosechas estacionales. Resolverlo es clave para la sostenibilidad económica y alimentaria, y es posible con tecnologías accesibles de monitoreo. Su solución interesa a agricultores, cooperativas y entidades técnicas, dentro del reto mayor de cerrar la brecha digital en el agro.



2.4.2. Objetivos

El árbol de objetivos invierte la lógica del árbol de problemas, destacando el objetivo central, los medios para alcanzarlo y los fines esperados. Este modelo organiza las intervenciones y entregables del proyecto. En AgroBox, facilita visualizar cómo cada acción contribuye a los resultados y define indicadores para medir el avance.



2.4.3. Modalidad

AgroBox combina emprendimiento e innovación abierta, apoyándose en sensores, espacios universitarios, experiencia técnica y colaboración con comunidades rurales. La retroalimentación de agricultores permite adaptar la solución. Su campo temático es la agricultura de control y tecnología digital, con enfoque en sostenibilidad, viabilidad comercial y bienestar comunitario.

2.5. Análisis de la pregunta reto

La pregunta que guía AgroBox es: **¿Cómo aumentar la productividad de pequeños productores rurales con una solución tecnológica accesible, intuitiva y adaptada a sus condiciones?** Más que aplicar herramientas digitales, busca cerrar la brecha entre tecnología y realidad rural. Con base en el análisis PESTAL y actores clave, se definieron criterios: bajo costo, facilidad de uso, adaptabilidad, recomendaciones claras y escalabilidad. Se concluyó que la baja productividad no es solo técnica, sino también social, económica y estructural, por lo que la solución integra ingeniería, agronomía, comunicación y mercadeo.

2.6. Posibles soluciones

Se propusieron seis líneas de acción para mejorar la productividad rural: manejo agronómico del suelo, capacitación en prácticas agroecológicas, inversión en infraestructura y servicios, esquemas de financiamiento verde, plataformas digitales para decisiones informadas y monitoreo en tiempo real para riego y sanidad. Estas opciones permiten evaluar su viabilidad e impacto para

priorizar las más beneficiosas para pequeños productores.

Capítulo 3

Formulación del proyecto

3.1. Propuesta de alternativas

En línea con las posibles soluciones planteadas y apoyándonos en diagnósticos y la participación de las partes interesadas, se proponen seis alternativas que contribuyen a la sostenibilidad y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

Planes de manejo agronómico: diagnóstico de suelos, calendarios optimizados, rotaciones y coberturas para mejorar la salud del suelo y la eficiencia de recursos.

Escuelas de campo y extensionismo rural: formación continua en prácticas agroecológicas y adaptación climática para fortalecer la resiliencia de los productores.

Infraestructura y servicios rurales: mejora de vías, electrificación, riego tecnificado e Internet para reducir barreras físicas a la adopción tecnológica.

Agrofinanzas e incentivos verdes: líneas de crédito blandas y subsidios para fertilizantes orgánicos y maquinaria ecológica, facilitando el financiamiento de prácticas sostenibles.

Sistemas de información agrícola: plataformas digitales con datos climáticos, de mercado y SIG para una toma de decisiones basada en información actualizada.

Monitoreo de cultivos en tiempo real: sensores de humedad y temperatura, monitoreo remoto y alertas de condiciones críticas que optimizan riego y nutrición. A continuación se visualiza el esquema creado por el grupo de trabajo con las 6 alternativas de solución propuestas:

3.2. Evaluación de alternativas

A partir del análisis PESTEL, la revisión bibliográfica y entrevistas con actores clave, se definieron cuatro criterios fundamentales: bajo costo, facilidad de uso, adaptación local, capacidad de guía y escalabilidad. Se evaluaron seis líneas de acción, destacándose el monitoreo en tiempo real como la opción más viable, por su capacidad de ofrecer información precisa y alertas inmediatas mediante sensores, frente a otras alternativas que requieren más tiempo, infraestructura o acompañamiento técnico.

Considerando el análisis anterior, la alternativa de *monitoreo de cultivos en tiempo real* se eligió debido a que **viabilidad técnica y temporal**: la integración de sensores de temperatura y humedad del aire y del suelo se ajusta al cronograma y recursos del curso; **relevancia práctica**: proporciona alertas inmediatas sobre estrés hídrico, brotes fúngicos o heladas, apoyando decisiones de riego y sanidad; **concordancia con el reto**: es económica, fácil de usar y apta para fincas con conectividad limitada; y **potencial de ampliación**: su arquitectura modular permite futuras mejoras (más sensores, algoritmos de IA, dashboards colaborativos) y escalamiento a nivel de cooperativas.

Este enfoque equilibra factibilidad y beneficio directo, abordando la brecha tecnológica del productor rural y promoviendo una solución multidisciplinaria alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

3.3. Definición de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)

La EDT se diseñó bajo la metodología KANO, que sitúa al usuario final en el centro al priorizar las características del producto según su impacto, y se desglosa en seis grupos de actividades: planificación e investigación; desarrollo de hardware; desarrollo de software; sistema de comunicación de IA; integración de componentes; y pruebas finales del prototipo, etapa en la que se evalúa la adaptabilidad al campesino, se recogen sus retroalimentaciones y se iteran mejoras hasta lograr su total adecuación.

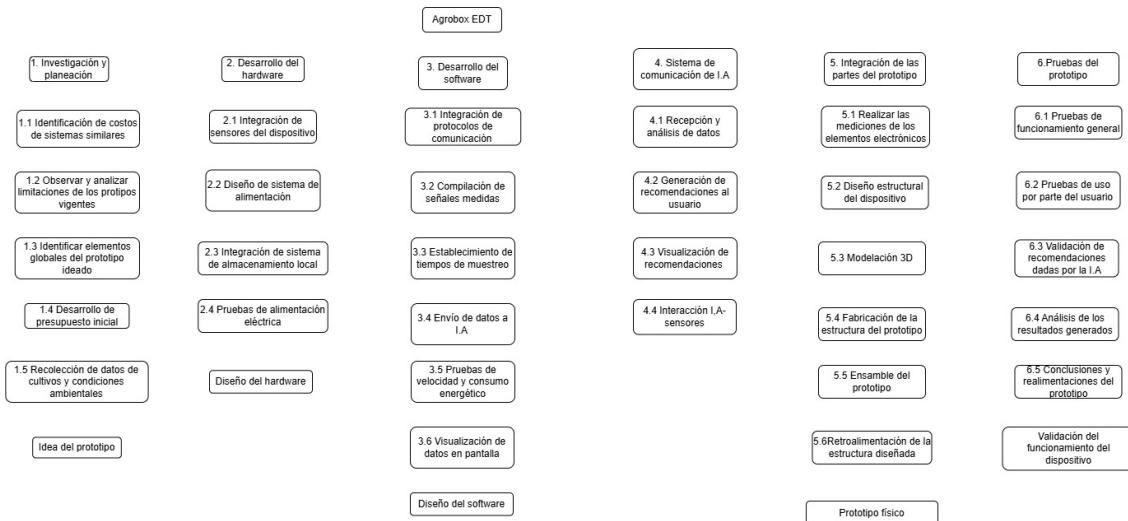


Figura 3.1: Estructura de desglose de trabajo

3.4. Planteamiento del diseño preliminar

El diseño de AgroBox se basó en un análisis de sensores disponibles en Colombia, los cuales miden variables clave pero no integran inteligencia artificial. El prototipo busca diferenciarse incorporando un sistema de IA embebido que convierta los datos en recomendaciones prácticas para

el agricultor. Este enfoque plantea retos como la conectividad rural, la usabilidad de la interfaz y la necesidad de un diseño más funcional que los dispositivos actuales.

3.5. Conceptos preliminares de ciencias, matemáticas e ingeniería

El diseño y aplicación de un sistema de sensado inteligente para cultivos distingue dos perfiles: el **desarrollador del sistema**, que requiere sólidos conocimientos técnicos, científicos y computacionales para diseñar, programar y optimizar el dispositivo; y el **usuario campesino**, que necesita una formación práctica que le permita interpretar las lecturas y actuar eficazmente sin conocimientos técnicos complejos. Esta sección expone los conceptos clave adaptados a las capacidades y necesidades de ambos perfiles.

3.5.1. Conceptos para el desarrollador

Ciencias:

Se estudian las relaciones entre agua, suelo y planta, el efecto de la temperatura en la fotosíntesis (ideal 15–20 °C para lechuga), el microclima en invernaderos y enfermedades por humedad como el moho gris que afecta cultivos como la fresa.

Matemáticas:

Se aplican técnicas como mapeo de señales, filtrado y promedio móvil, normalización de datos y estadística básica para interpretar correctamente los datos de sensores.

Ingeniería:

Incluye el uso de sensores (DHT11, humedad del suelo), electrónica con Arduino, pantallas gráficas (OLED, LCD), redes neuronales simples para recomendaciones y diseño 3D de carcchas protectoras con herramientas como Fusion 360.

Agronomía:

Se definen necesidades hídricas de cultivos (lechuga y fresa), etapas de desarrollo para el riego adecuado y estrategias para evitar enfermedades por exceso de humedad.

Diseño y marketing:

Se desarrolla una identidad visual accesible (logos, colores), materiales gráficos (infografías, presentaciones) y estrategias visuales que facilitan la adopción tecnológica en el entorno rural.

3.6. Especificaciones de diseño y restricciones

El diseño de **AgroBox** se basa en criterios técnicos, limitaciones y estándares que afectan su precisión, durabilidad y funcionamiento.

Fuentes de incertidumbre: incluyen la baja precisión de sensores económicos (como el DHT11 y sensores de humedad de suelo), condiciones ambientales cambiantes, ruido eléctrico, variabilidad de señal y limitaciones de la red neuronal frente a datos nuevos o insuficientes.

Limitaciones del sistema: destacan la dependencia energética (batería o solar), sensores de bajo costo que requieren calibración, mediciones localizadas que no reflejan todo el cultivo y falta de conectividad en zonas rurales.

Normas aplicadas: cumple con la Resolución ICA 30021 (BPA), ISO 25119, RETIE, IPC-2221, y normas de manufactura y riego (FAO), asegurando seguridad eléctrica, integridad estructural y control hídrico adecuado.

Especificaciones adicionales: incluye una pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C y usa redes neuronales entrenadas en Python (con scikit-learn, TensorFlow o Keras), que pueden optimizarse para microcontroladores mediante TensorFlow Lite.

Preguntar a ChatGPT El proyecto tendría el siguiente planteamiento esquemático:

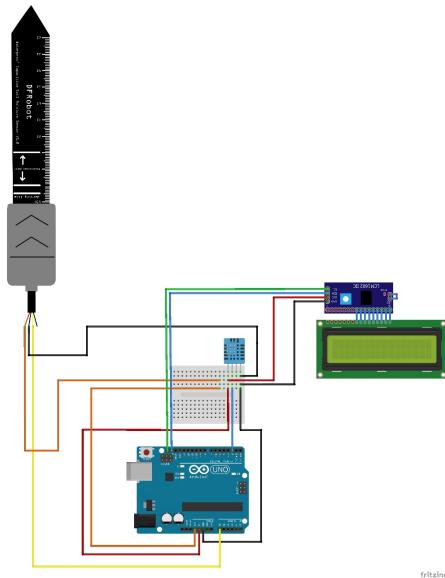


Figura 3.2: Esquemático

Mediciones ABOX

Suelo: 42 % ████□□

Temp: 27.4 °C ████□□

H. aire: 52 % ████□□

3.7. Aspectos claves del proyecto

El proyecto desarrolla y valida un dispositivo económico que mide en tiempo real temperatura, humedad relativa del aire y humedad del suelo, e integra IA para generar recomendaciones visuales claras que permitan al agricultor mejorar la productividad y la sostenibilidad. La validación inicial se realizará en los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia.

3.7.1. Alcance

El proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo funcional capaz de medir en tiempo real variables como temperatura, humedad del aire y del suelo, procesar datos mediante inteligencia artificial y mostrar recomendaciones agronómicas en una pantalla LCD. Funciona de forma autónoma con batería recargable y será validado en campo con pequeños agricultores.

Entre sus limitaciones están la ausencia de conectividad remota, análisis de nutrientes, integración con maquinaria y escalamiento comercial. Está dirigido a pequeños productores de fresa y lechuga en Boyacá y Cundinamarca, así como a docentes e investigadores en contextos rurales con baja conectividad.

Limitaciones: no se contempla la producción en masa ni comercialización a gran escala; no se analiza nutrientes del suelo ni otras propiedades físico-químicas más allá de las variables sensadas; no se incluye conectividad remota o sincronización con plataformas móviles o en la nube; no se prevé integración con maquinaria agrícola pesada o sistemas automatizados externos; y no se realiza un análisis económico-financiero detallado del impacto a largo plazo.

Usuarios objetivos: El dispositivo está dirigido principalmente a pequeños agricultores de fresa y lechuga con cultivos de 1 a 5 ha en Boyacá y Cundinamarca, sin dejar de contemplar a quienes buscan mejorar sus decisiones agrícolas con tecnologías simples y accesibles, así como a investigadores y docentes interesados en aplicar IA en contextos de baja conectividad.

3.7.2. Tiempo (Cronograma)

Del EDT y la librería planteada para la formulación del proyecto, se tiene el siguiente cronograma teniendo presente la entrega del primer prototipo para el 30 de junio del presente año.

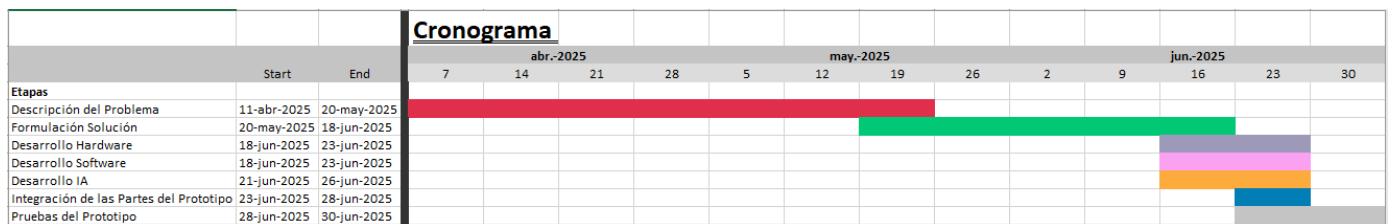


Figura 3.3: Cronograma en forma de diagrama de Gantt.

3.7.3. Estructura de costos del proyecto

A continuación, se presentan los principales aspectos que deben considerarse para la construcción de la estructura de costos del proyecto **AgroBox**, organizados según las macroactividades definidas en la EDT.

Resumen de Costos por Macroactividad

Macroactividad EDT	Principales costos asociados	Rubros de presupuesto (COP)
Investigación y planeación: visitas a campo y validación inicial, revisión de prototipos previos y análisis de costos, trabajo de campo y acceso a fuentes o referencias técnicas	Recolección de datos ambientales y de cultivos	No se refleja directamente en el presupuesto actual
Desarrollo del hardware, componentes de alimentación (baterías, cargadores), compilación de módulos de almacenamiento de datos. Interconexión (cableado, conectores, protoboards) y sensores de temperatura y humedad (aire y suelo)	Batería; sensores de temperatura y humedad (aire y suelo)	Batería recargable: \$33 000; Micro SD 8 GB: \$14 000; Conexiones electrónicas: \$20 000; Sensor de humedad del suelo: \$15 000
Desarrollo del software: microcontrolador (Arduino o ESP32) con pruebas de velocidad y consumo, pantalla LCD o display gráfico y licencias de software (software libre)	Arduino UNO; pantalla LCD	Arduino UNO: \$50 000; Pantalla LCD 20x4: \$35 000; Software libre
Sistema de comunicación de IA: desarrollo de lógica de recomendación, procesamiento y análisis de datos, entrenamiento de red neuronal y costos indirectos (tiempo de desarrollo o servidores académicos)	No requiere materiales físicos; costos indirectos (tiempo de desarrollo o servidores académicos)	Estimar costo computacional
Integración del prototipo: tornillos, encapsulados, adhesivos y carcasa; impresión 3D y materiales estructurales; ensamble final del sistema	Impresión 3D y materiales estructurales	Se estimarán costos después de modelado; costo de filamento PLA y servicio de impresión
Pruebas y validación: pruebas con usuarios campesinos; multímetro y herramientas de medición; iteraciones y ajustes de diseño; transporte	Multímetro y herramientas de medición	No se refleja directamente en el presupuesto actual

Cuadro 3.1: Costos y rubros asociados por macroactividad EDT

Total estimado del presupuesto por el momento: \$167.000 COP

3.8. Viabilidad del proyecto

3.8.1. Estudio técnico

AgroBox está inicialmente enfocado en los cultivos de fresa y lechuga; estos se ven afectados por condiciones de temperatura y humedad principalmente, pues estas condiciones son las que

facilitan la propagación de hongos y aumentan las pérdidas en los cultivos, a este punto, Agrobox es técnicamente viable con pues analiza lo esencialmente necesario para lograr el aumento de productividad de estos cultivos.

3.8.2. Estudio de mercado

El estudio de mercado se sintetiza en la siguiente tabla:

Target Group (grupo objetivo)	Pequeños y medianos productores rurales de cultivos como fresa y lechuga, especialmente en regiones de Boyacá y Cundinamarca .
Nicho de Mercado	Agricultores que desean implementar tecnología en sus cultivos pero enfrentan barreras económicas, educativas y de conectividad.
Necesidades identificadas	Los agricultores enfrentan dificultades para medir con precisión la humedad del suelo y la temperatura ambiente.
Oportunidad de valor	Sistema compacto, económico y con una interfaz visual clara. Su capacidad de interpretar los datos mediante inteligencia artificial lo convierte en una herramienta de mejores prácticas agrícolas y reducción de pérdidas.

Cuadro 3.2: Estudio de mercado

3.8.3. Estudio legal

Las normativas legales que deben ser cumplidas por AgroBox son las siguientes.

#	Componente / Tema regulado	Norma y nivel jerárquico
1	Seguridad eléctrica de nodos, paneles solares y acometidas en finca	RETIE – Res. 90708/2013 y actualizaciones
2	Reglas de ingeniería de detalle (conductores, protecciones)	NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano
3	Homologación de dispositivos IoT y uso de espectro sin licencia (ISM 2.4 GHz / LoRa)	Resolución CRC 5050/2016 (Calidad del Servicio y homologación)
4	Tratamiento de datos de productores (higrometría + geolocalización)	Ley 1581/2012 – Protección de datos; Dec. 1377/2013 – Reglamentación
5	Uso fitosanitario de equipos y sensores en campo	Res. ICA 24690/2018 – Ingreso de maquinaria/equipos agrícolas
6	Política sectorial agro – buenas prácticas y apoyo estatal	Ley 101/1993 – Desarrollo Agropecuario

Cuadro 3.3: Normativa relacionada con el sistema propuesto

3.8.4. Estudio de impacto ambiental

El impacto ambiental de AgroBox está principalmente relacionado con la generación de residuos electrónicos y empaques de impresión 3D. Es por esto que se plantean actividades de devolución de elementos electrónicos luego de que dejen de funcionar, la implementación de baterías recargables en Agrobox y priorizar el uso de plásticos reciclables en la carcasa de AgroBox

3.8.5. Riesgos

Agrobox se enfrenta a una serie de retos que podrían poner en entredicho su adopción y uso.

- **Adopción tecnológica baja:** resistencia al uso de tecnología por parte de algunos agricultores tradicionales.
- **Precisión del modelo IA:** si no se alimenta con datos localizados o suficientes, puede generar recomendaciones inexactas.
- **Limitaciones técnicas en zonas rurales:** problemas de conectividad o mantenimiento del dispositivo.
- **Competencia con productos más económicos o masivos:** dispositivos similares de bajo costo provenientes del extranjero.

- **Escalabilidad y producción:** dificultades para pasar del prototipo a una producción en volumen sin afectar la calidad.

3.8.6. Estudio financiero

Las fuentes de ingreso principal de AgroBox provienen de su venta directa, con unos gastos asociados a la compra de dispositivos electrónicos, fabricación , transporte y soporte técnico. Se requiere una cantidad de 80 unidades para lograr el punto de equilibrio, cada unidad tiene un costo de 250.000 pesos colombianos

3.8.7. Conclusión de viabilidad económica

AgroBox es una solución viable que responde a necesidades reales de pequeños y medianos agricultores, ofreciendo tecnología accesible para mejorar la gestión de cultivos. Cumple con el marco legal y propone medidas sostenibles que minimizan su impacto ambiental. Aunque enfrenta retos como la adopción tecnológica y la escalabilidad, estos pueden ser gestionados con estrategias adecuadas. En conjunto, AgroBox tiene el potencial de mejorar la productividad agrícola de forma sostenible e inclusiva, su valor comercial es muy inferior a las tecnologías similares disponibles en el mercado, por lo cuál es atractivo financieramente.

3.9. Matriz de marco lógico

Perfil Pestal	Factores	Muy negativo	Negativo	Indiferente	Positivo	Muy positivo
Político	Incremento del presupuesto de inversión en Agro				X	
	Firma de nuevos TLC		X			
	Recrudecimiento guerra en Ucrania		X			
	Mejora n infraestructura vial en veredas agrícolas					X
Económico	Tensiones arancelarias por USA		X			
	Alza en productos agro nacionales				X	
	Fortalecimiento de exportacionesAgro				X	
	Alza del Dólar			X		
Ambiental	Degradoación de suelos por agricultura		X			
	Contaminación por agroquímicos		X			
Tecnológicos	Avances en agricultura de precisión			X		
	Avances en infraestructura de conectividad rural					X
	Aumento en el uso de smartphones por parte de agricultores					X
Social	Envejecimiento de la población rural	X				
	Resistencia a la adopción de nuevas tecnologías	X				
Legal	Cumplimiento de políticas de titularidad para el campesino por parte del gobierno nacional				X	

Figura 3.4: Matriz de marco lógico

Capítulo 4

Avance del proyecto TPI

4.1. Descripción de objetivos, entregables y actividades realizadas

Durante el semestre se desarrolló el prototipo **Agrobox**, una solución orientada a mejorar las prácticas de cultivo de pequeños agricultores mediante el monitoreo ambiental con sensores e inteligencia artificial. El objetivo fue construir un sistema autónomo, económico y fácil de usar, que funcionara sin conexión a internet, adaptado a contextos rurales.

Las actividades incluyeron el diseño e impresión 3D de la carcasa, integración de sensores (DHT11 y capacitivo para detectar la humedad en el suelo), programación del microcontrolador Arduino e implementación de una red neuronal básica. Se hicieron pruebas en entorno controlado para verificar la lectura de variables. Los entregables son: prototipo ensamblado, código fuente, documentación técnica y reporte de validación.

4.2. Productos a entregar

Se entregará el dispositivo Agrobox, su código fuente, documentación del diseño físico y electrónico y un informe de pruebas funcionales.

4.3. Descripción del prototipo

Agrobox es un sistema portátil que mide temperatura y humedad del aire y del suelo. Procesa los datos localmente mediante una red neuronal, la cual genera recomendaciones que se visualizan en la pantalla del ordenador. No requiere conexión a internet ni conocimientos técnicos.



Figura 4.1: Prototipo en físico y red neuronal

Durante las pruebas preliminares, los usuarios resaltaron la utilidad del sistema, su facilidad de uso y su capacidad para optimizar el riego. Agrobox representa una solución sostenible e innovadora, con un diseño accesible y tecnológico que responde a las necesidades del entorno.

4.4. Modelo de negocio y oferta de valor presente

El modelo de negocio propone vender Agrobox como herramienta asequible para pequeños agricultores. Su valor está en brindar asistencia tecnológica sin depender de conectividad. Busca mejorar rendimientos y reducir pérdidas por riego ineficiente.

4.5. Identificación y diseño de subsistemas

El prototipo incluye: un subsistema de sensado (DHT11, sensor capacitivo de suelo), uno de procesamiento (ARDUINO), uno de interfaz (Pantalla LCD), y la carcasa 3D. Estos subsistemas están integrados en un sistema compacto y funcional.

4.6. Uso de principios matemáticos, de las ciencias y la ingeniería

Se aplicaron fundamentos de electrónica, física y programación. El modelo de red neuronal usa normalización, clasificación y funciones de activación. Se calcularon consumos y se adaptó la estructura para condiciones rurales.

4.7. Especificaciones, restricciones y requerimientos

El dispositivo funciona en interiores o invernaderos, mide variables clave, opera con batería y da alertas visuales. Sus restricciones son la limitada resistencia exterior y la capacidad reducida

del microcontrolador. Requiere datos confiables y condiciones estables.

4.8. Conclusiones

Agrobox es una solución funcional que asiste al agricultor en decisiones clave mediante una red neural optimizada para cultivos de fresa y lechuga, integrando sensores, estructura y procesamiento inteligente en un sistema completamente autónomo. Se recomienda fortalecer el diseño físico, entrenar el modelo con un dataset más extenso y refinado, así como proseguir con la validación de su desempeño en campo, ya que Agrobox demuestra cómo la ingeniería puede ofrecer soluciones accesibles e innovadoras al agro rural.

Bibliografía

- Agrosavia. (2020). *Impacto del TLC con EE.UU. en pequeños productores de maíz* (inf. téc.) (Más del 45 % de los pequeños productores reportaron reducción de ingresos). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Código Sustantivo de Trabajo [Salarios y jornadas de jornaleros]. (s.f.).
- Contraloría General de la República de Colombia. (2020). Informe de irregularidades en el manejo de recursos del sector agrícola [Detección de posibles irregularidades en el manejo de \$136 000 millones].
- DANE. (2022). Presupuesto del Ministerio de Agricultura [Solo el 9 % del presupuesto se ha destinado históricamente a apoyo directo a pequeños productores].
- Data Center Dynamics. (s.f.). Conectividad rural en Colombia 2022.
- Decreto 1076 de 2015 [Regulación de concesiones de uso de agua (ANLA)]. (2015).
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). Cobertura eléctrica y vialidad rural 2022.
- Fedecacao. (2021). *Protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas y Comercio Justo* (inf. téc.).
- Fedegán. (2021). *Informe sobre continuidad de programas rurales* (inf. téc.) (El 70 % de los programas rurales se modifican o eliminan con cada nuevo periodo presidencial). Federación Colombiana de Ganaderos.
- Ley 160 de 1994 [Formalización de baldíos]. (1994).
- Ley 776 de 2002 [Normativas ICA / INVIMA sobre plaguicidas y agroquímicos]. (2002).
- Markets and Markets. (2023). Mercado global de agricultura de precisión 2023–2031.
- Ministerio de Agricultura de Colombia. (s.f.). Programa STACA: capacitación a productores rurales.
- OCDE. (2023). Colombia invierte apenas el 0,24 % del PIB en I+D, frente al 1,26 % de Brasil.
- Revista Entornos. (s.f.). Desertificación en La Guajira: cambio climático y uso del suelo.
- WIPO. (2023). Patentes en Agrifood: 20 años de innovación.