



ENTREGA FINAL MODALIDAD EMPRENDIMIENTO

**FORMULACIÓN DE UN MODELO DE IMPLEMENTACIÓN TECNOLÓGICA
PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESO AGRÍCOLAS MEDIANTE
VISIÓN ARTIFICIAL Y SENSORES INTELIGENTES EN CULTIVOS DE FLORES EN
ANTIOQUIA**

SEBASTIÁN MEJÍA GRISALES

ASESOR:

JULIO PASTOR RESTREPO

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MEDELLÍN, COLOMBIA.**

2025

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ABREVIATURAS	5
1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. EXPLICACIÓN DEL RETO	9
3.1 INFORMACIÓN DEL RETO	9
3.2 EXPLICACIÓN DEL PÚBLICO	12
4. MAPA DE EMPATÍA	17
5. SELECCIÓN DEL PROBLEMA	22
5.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	22
6. PROBLEMA EN DESAFÍO	24
7. LA GRAN IDEA	25
7.1. NUEVAS VERSIONES DE LA GRAN IDEA	25
7.2 LA GRAN IDEA SMART	26
8. FLUJO DE PRUEBA DE USUARIO	29
9. STORYBOARD	30
10. SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN	31
10.1. CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA DE USUARIO	31
10.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE USUARIO	32
11. MODELO DE NEGOCIO	36
12. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	38
13. EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN	40
14. REFERENCIAS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Información de entrevista 1. Elaboración propia a partir de Canva	12
Figura 2. Información de entrevista 2. Elaboración propia a partir de Canva	13
Figura 3. Información de entrevista 3. Elaboración propia a partir de Canva	14
Figura 4. Información de entrevista 4. Elaboración propia a partir de Canva	15
Figura 5. Información de entrevista 5. Elaboración propia a partir de Canva	16
Figura 6. Mapa de empatía 1. Elaboración propia a partir de Canva	17
Figura 7. Mapa de empatía 2. Elaboración propia a partir de Canva	18
Figura 8. Mapa de empatía 3. Elaboración propia a partir de Canva	19
Figura 9. Mapa de empatía 4. Elaboración propia a partir de Canva	19
Figura 10. Mapa de empatía 5. Elaboración propia a partir de Canva	20
Figura 11 Storyboard. Elaborado por IA	30
Figura 12. Modelo Lean Canvas. Elaboración propia a partir de Canva	37
Figura 13. Recopilación prototipo.	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información del reto	9
Tabla 2. Nuevas versiones de la gran idea	25
Tabla 3. Recolección de información	35
Tabla 4. Presentación de resultados	38

ABREVIATURAS

Coldetic: *Corporación Colombiana para el desarrollo de la tecnología e innovación*

1. RESUMEN

Este proyecto surge como respuesta a las ineficiencias en la fumigación y monitoreo de cultivos de flores en Antioquia, donde la falta de tecnología adecuada genera pérdidas económicas y compromete la calidad del producto exportable. A través de un proceso de investigación y validación iniciado en 2022, se identificaron fallas recurrentes en la cobertura de fumigación, trazabilidad limitada y sobrecarga operativa en campo.

La solución propuesta consiste en el desarrollo de un sistema inteligente basado en visión artificial y sensores, capaz de identificar en tiempo real las zonas no tratadas, generar alertas automáticas y almacenar información clave para la toma de decisiones. La validación del prototipo con floricultores locales, como Flores El Trigo, evidenció una mejora del 70% en la eficiencia del proceso.

El proyecto ha sido estructurado bajo metodologías ágiles, integrando el enfoque de agricultura 4.0 y un modelo de negocio escalable. Coldetic ha sido reconocida en eventos nacionales e internacionales, siendo la primera startup latinoamericana seleccionada por Córdoba Biotech (España), lo que demuestra su potencial de impacto y crecimiento global. Esta propuesta representa una alternativa viable para modernizar el agro colombiano, reducir pérdidas y empoderar a pequeños y medianos productores.

Palabras claves: visión artificial, agricultura de precisión, sensores inteligentes, floricultura, trazabilidad, agro 4.0.

2. INTRODUCCIÓN

La floricultura representa uno de los sectores agrícolas más dinámicos e influyentes en la economía colombiana, no solo por su volumen de exportación, sino también por su impacto social en la generación de empleo formal en zonas rurales. Colombia se ha consolidado como el segundo exportador mundial de flores frescas cortadas, con más de 1.600 variedades cultivadas en cerca de 10.000 hectáreas distribuidas entre Antioquia, Cundinamarca y Boyacá. En 2024, según cifras del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el país exportó más de 700 millones de tallos solo para la temporada de San Valentín, lo que representó más de USD 2.350 millones en ingresos, reafirmando la posición estratégica del sector floricultor en el comercio global. Este sector no solo impulsa el Producto Interno Bruto agropecuario, sino que emplea a más de 200.000 personas, de las cuales el 60 % son mujeres rurales, posicionándose también como un pilar de inclusión y desarrollo sostenible (ProColombia, 2024). Sin embargo, a pesar de su relevancia, la floricultura enfrenta retos estructurales en términos de eficiencia, trazabilidad de procesos, sostenibilidad ambiental y cumplimiento fitosanitario, especialmente cuando se trata de procesos como la fumigación, donde aún prevalecen prácticas manuales o de difícil monitoreo. Estas ineficiencias pueden derivar en pérdidas de calidad exportable, uso excesivo de agroquímicos, riesgos para la salud humana y la pérdida de oportunidades comerciales en mercados exigentes como el estadounidense o europeo.

En respuesta a los desafíos del agro moderno, la implementación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la visión artificial y los sistemas embebidos ha ganado terreno en todo el mundo bajo el concepto de Agricultura 4.0. En países como España, México o Brasil, han surgido soluciones que integran sensores, drones, modelos predictivos y plataformas web para optimizar procesos agrícolas. En Colombia, iniciativas como AgroTIC (Hinojosa et al., 2023) y los desarrollos de AGROSAVIA han demostrado que el uso de datos en tiempo real puede mejorar el rendimiento, reducir insumos hasta en un 40 % y facilitar el cumplimiento de normativas internacionales. No obstante, la mayoría de estas tecnologías se han enfocado en cultivos alimentarios como café, arroz o cítricos, dejando una brecha importante en sectores como la floricultura, que por su complejidad operativa y estándares de exportación requiere soluciones adaptadas a sus particularidades. Estudios realizados por FAO y MinAgricultura evidencian que las pérdidas por plagas y enfermedades pueden alcanzar el 40 %, y que la falta de monitoreo adecuado genera desperdicio de recursos y dificultades en la trazabilidad del proceso fitosanitario. Frente a este panorama, la literatura coincide en la necesidad de desarrollar herramientas accesibles, específicas por sector y diseñadas bajo enfoques centrados en el usuario agrícola, capaces de integrarse a prácticas tradicionales, pero potenciando su eficiencia a través de datos y automatización.

En este contexto nace AgroTrace AI, una solución propuesta por la startup COLDETIC, cuyo objetivo es mejorar la trazabilidad y eficiencia en los procesos de fumigación dentro de cultivos florales mediante el uso de visión artificial e inteligencia embebida. Este proyecto, desarrollado como trabajo de grado en modalidad de emprendimiento, surge de una investigación aplicada con múltiples ciclos de validación en campo, entrevistas con actores del sector, y pruebas técnicas en fincas de floricultura en Antioquia. Además, ha sido acompañado por entidades como Georgia Tech – VentureLab (programa de aceleración en Medellín), la Unidad de Emprendimiento de la Institución Universitaria Pascual Bravo, y ha sido reconocido en escenarios nacionales e internacionales, lo cual demuestra tanto su pertinencia como su proyección real. El documento que se presenta a continuación no solo expone el desarrollo técnico y comercial del sistema, sino que argumenta, desde una perspectiva académica y de validación práctica, la necesidad y factibilidad de esta propuesta como una respuesta concreta a un problema sectorial de alto impacto. Este trabajo se fundamenta en evidencia estadística, referencias técnicas y casos análogos, y busca contribuir con una solución tecnológica replicable, sostenible y con potencial de escalabilidad para el agro colombiano.

Así, AgroTrace AI no solo representa una propuesta técnica funcional, sino una apuesta integral que articula tecnología, territorio y sostenibilidad, en línea con los desafíos globales del agro y el desarrollo rural colombiano.

3. EXPLICACIÓN DEL RETO

3.1 INFORMACIÓN DEL RETO

Tabla 1. Información del reto

¿Cuál es el reto?	ODS 9, Reto 9.5: Incrementar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales, especialmente en los países en desarrollo.
¿Cuál es la problemática principal?	Bajas tasas de adopción tecnológica en procesos agrícolas críticos, como fumigación y monitoreo, que generan ineficiencia, pérdidas y baja competitividad.
¿Dónde sucede la problemática?	Principalmente en cultivos de flores en Antioquia, aunque es una situación que se replica en otras zonas rurales de Colombia.
¿Identifique otras situaciones que refuerzan el problema?	1) Procesos manuales sin trazabilidad. 2) Dificultad para identificar zonas críticas en tiempo real. 3) Bajo acceso a soluciones tecnológicas de bajo costo. 4) Rechazo de lotes por no cumplir estándares de exportación. 5) Bajo conocimiento técnico de herramientas digitales en el agro.

Según el reto seleccionado para desarrollar, dé respuesta a las siguientes preguntas. Respalde sus respuestas en cifras y datos de fuentes de información confiables, literatura científica o gris.

- a) ¿Qué estamos resolviendo? Estamos abordando la ineficiencia en la fumigación y el monitoreo de cultivos florales mediante la integración de tecnologías accesibles como visión artificial y sensores inteligentes. Según estudios de campo y entrevistas, aproximadamente el 30% de los cultivos presentan zonas críticas no fumigadas, lo que puede generar hasta un 25% de pérdidas en algunos casos. Esta problemática es especialmente relevante en el sector floricultor colombiano, que en 2024 exportó alrededor de 2.350 millones de dólares en flores a más de 100 países, representando el 5% de las exportaciones totales del país y el 11% de las no minero-energéticas. La eficiencia en los procesos de fumigación y

monitoreo es crucial para mantener la calidad y competitividad de las flores colombianas en el mercado internacional.

b) ¿Quiénes son las personas que están involucradas? El ecosistema de la floricultura en Colombia involucra a diversos actores:

- Floricultores: Responsables del cultivo y producción de flores.
- Operarios de campo: Encargados de las labores diarias en los cultivos, incluyendo la fumigación y el monitoreo.
- Ingenieros agrónomos: Profesionales que asesoran y supervisan las prácticas agrícolas.
- Exportadores: Empresas que comercializan las flores en mercados internacionales.
- Entidades gubernamentales: Organismos que regulan y apoyan el sector agrícola.
- Empresas tecnológicas: Proveedores de soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del cultivo.

Este conjunto de actores es fundamental para la implementación y éxito de tecnologías, que buscan optimizar los procesos agrícolas y fortalecer la posición de Colombia como líder en la exportación de flores.

c) ¿Quiénes se verán impactados por lo que vamos a crear? Los principales beneficiarios de la implementación de tecnologías avanzadas en la floricultura serán:

- Pequeños y medianos floricultores: Mejorarán la eficiencia y calidad de sus cultivos, lo que puede traducirse en mayores ingresos y sostenibilidad.
- Exportadores: Podrán ofrecer productos de mayor calidad y trazabilidad, fortaleciendo la reputación de las flores colombianas en el mercado internacional.
- Consumidores finales: Recibirán productos de mejor calidad y con mayor garantía de prácticas sostenibles.
- Operarios de campo: Tendrán acceso a herramientas que faciliten su trabajo y reduzcan riesgos asociados a la fumigación manual.
- Entidades gubernamentales y de apoyo al sector: Verán avances en la modernización y competitividad del agro colombiano.

d) ¿Por qué el problema es importante? La ineficiencia en la fumigación y monitoreo de cultivos afecta directamente la productividad y competitividad del sector floricultor colombiano. Dado que Colombia es el segundo exportador mundial de flores frescas cortadas y el principal proveedor del mercado estadounidense, cualquier pérdida en la calidad o cantidad de la producción puede tener repercusiones significativas en la economía nacional. Además, la floricultura genera aproximadamente 200,000 empleos

formales, muchos de ellos ocupados por madres cabeza de familia, lo que resalta la importancia social y económica de este sector.

- e) ¿Cuáles son los factores culturales o sociales que influyen positiva o negativamente en el problema?

Factores positivos

- Interés creciente en tecnología agro: El sector floricultor está adoptando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus procesos.
- Programas de capacitación e innovación agrícola: Instituciones como Ceniflores ofrecen formación técnica para fortalecer las capacidades del sector.
- Apoyo institucional para el agro 4.0: Existen iniciativas gubernamentales y privadas que promueven la modernización del agro colombiano.

Factores negativos

- Resistencia al cambio en sectores tradicionales: Algunos productores pueden mostrar reticencia a adoptar nuevas tecnologías debido a la falta de familiaridad o temor al cambio.
- Bajo acceso a conectividad en zonas rurales: La limitada infraestructura tecnológica en áreas rurales dificulta la implementación de soluciones digitales.
- Costos iniciales percibidos como altos: La inversión inicial en tecnología puede ser vista como una barrera, especialmente para pequeños productores

- f) ¿Por qué vale la pena el esfuerzo de resolver el problema? Abordar la ineficiencia en la fumigación y monitoreo de cultivos es esencial para mantener y mejorar la posición de Colombia en el mercado global de flores. La implementación de este tipo de tecnologías puede reducir pérdidas, mejorar la calidad del producto, aumentar la competitividad internacional y promover prácticas agrícolas sostenibles. Además, fortalecerá la economía rural, generará empleo y contribuirá al desarrollo tecnológico del agro colombiano

3.2 EXPLICACIÓN DEL PÚBLICO

Para garantizar que la solución responda a necesidades reales del sector floricultor, se diseñó un proceso de validación cualitativa con distintos perfiles representativos. Este ejercicio se realizó mediante entrevistas semiestructuradas y el desarrollo de arquetipos de usuario (personas), los cuales sintetizan los hallazgos clave sobre motivaciones, frustraciones, objetivos y características de los usuarios reales. Las figuras a continuación recogen los cinco perfiles entrevistados, que sirvieron de base para orientar tanto el desarrollo técnico como las estrategias de implementación y comercialización del sistema.

La **Figura 1** presenta a **Camila Martínez**, líder de calidad en una empresa exportadora de flores. Su experiencia resalta la presión constante por cumplir estándares internacionales y mantener registros precisos para evitar rechazos en destino. Sus motivaciones se centran en delegar tareas críticas sin perder control del proceso, y sus objetivos están orientados a reducir errores humanos. Este perfil representa a tomadores de decisión con enfoque en calidad, quienes valoran soluciones que ofrezcan trazabilidad y evidencia técnica de cumplimiento.

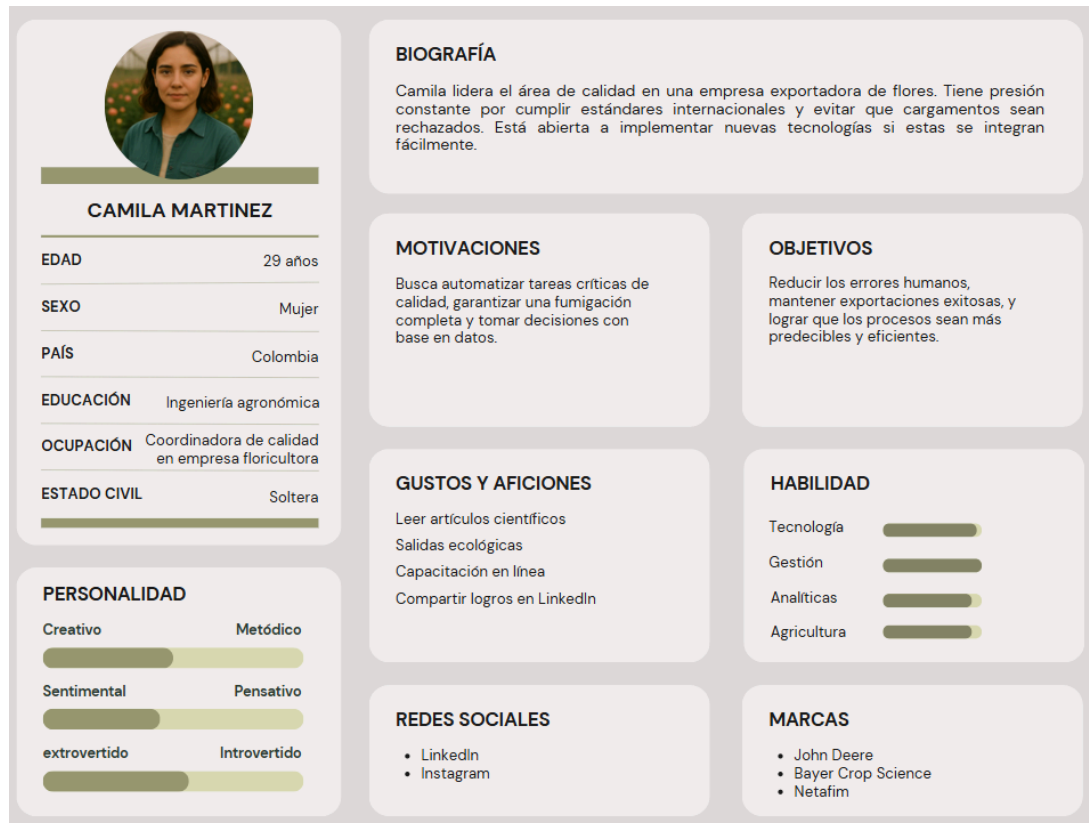


Figura 1. Información de entrevista 1. Elaboración propia a partir de Canva



Figura 3. Información de entrevista 3. Elaboración propia a partir de Canva

La **Figura 4** muestra a **Mario Gómez**, director de innovación. Es un perfil con visión estratégica, enfocado en evaluar el impacto de las soluciones tecnológicas en el costo-beneficio del negocio. Su motivación es reducir costos y digitalizar procesos con métricas claras. Este tipo de actor representa el segmento de clientes estratégicos que buscan evidencias cuantificables de valor antes de invertir.



Figura 4. Información de entrevista 4. Elaboración propia a partir de Canva

Por último, la **Figura 5** presenta a **Lina Montoya**, líder de exportaciones. Su preocupación central gira en torno a la conformidad del producto frente a normativas internacionales. Las herramientas que le faciliten justificar la calidad ante entes certificadores y evitar pérdidas logísticas son altamente valoradas. Lina representa a quienes están más cerca del cliente final (internacional) y pueden influir en la exigencia de trazabilidad.



Figura 5. Información de entrevista 5. Elaboración propia a partir de Canva

Estos perfiles no solo permitieron estructurar funcionalidades del sistema adaptadas a contextos reales, sino que también fueron fundamentales para priorizar decisiones de diseño, usabilidad y comunicación de valor. A través de ellos se construyó un puente entre el lenguaje técnico y las verdaderas necesidades del agro colombiano, logrando un producto con mayores probabilidades de adopción.

4. MAPA DE EMPATÍA

Con el fin de profundizar en las verdaderas necesidades, frustraciones y aspiraciones de los actores del sector floricultor involucrados en los procesos de fumigación y monitoreo, se elaboraron cinco mapas de empatía, construidos a partir de entrevistas directas realizadas durante la etapa de validación del proyecto AgroTrace AI. Esta herramienta permite representar de forma integral lo que los usuarios **ven, piensan, sienten, escuchan, dicen y hacen**, así como sus **dolores** y **ganancias** esperadas, para orientar el desarrollo de soluciones centradas en el usuario.

La **Figura 6** corresponde al perfil de **Camila Martínez**, encargada de calidad en una empresa floricultora. Se destaca su orientación hacia la mejora continua, el cumplimiento de normativas de exportación y la importancia de datos trazables. Su dolor principal se relaciona con la falta de seguimiento visual a los procesos de fumigación, mientras que sus ganancias deseadas giran en torno a tener un sistema confiable y automático que garantice calidad sin aumentar la carga operativa.



Figura 6. Mapa de empatía 1. Elaboración propia a partir de Canva

La **Figura 7**, perteneciente a **Jorge Pérez**, operario de campo, evidencia una fuerte resistencia al cambio y la preocupación por errores humanos en los procesos manuales. Aprecia herramientas fáciles de usar, que no requieran habilidades digitales complejas. Su motivación radica en evitar reprocesos y ser más eficiente sin sentirse reemplazado o sobrecargado.



Figura 7. Mapa de empatía 2. Elaboración propia a partir de Canva

La **Figura 8** recoge el mapa de **Mario Gómez**, ingeniero enfocado en innovación tecnológica, quien valora las soluciones basadas en datos, pero expresa frustración por la baja adopción tecnológica en el agro. Sus ganancias ideales incluyen la generación de indicadores objetivos para justificar inversiones y demostrar impacto real.



Figura 8. Mapa de empatía 3. Elaboración propia a partir de Canva

En la **Figura 9**, **Lina Montoya**, encargada de exportaciones, transmite su necesidad de evitar devoluciones por problemas fitosanitarios. Cree en la tecnología como un medio de verificación y desea tener herramientas que sirvan como respaldo ante auditorías. Su principal dolor es la falta de reportes digitales confiables.



Figura 9. Mapa de empatía 4. Elaboración propia a partir de Canva

La **Figura 10**, por su parte, muestra a **Héctor Ramos**, un perfil híbrido entre campo y dirección. Percibe la dificultad de su equipo para adaptarse a nuevas soluciones, pero también reconoce la necesidad urgente de mejorar la eficiencia. Busca sistemas que no interfieran con los ritmos del campo y que fortalezcan el liderazgo operativo.



Figura 10. Mapa de empatía 5. Elaboración propia a partir de Canva

Del análisis de los cinco mapas se pueden extraer conclusiones significativas. En primer lugar, existe una necesidad compartida de trazabilidad en tiempo real, especialmente por parte de quienes supervisan o aseguran calidad. También se detecta una fuerte brecha entre la capacidad técnica del operario y la complejidad de las herramientas actuales, lo que resalta la importancia de un diseño accesible. Asimismo, todos los perfiles coinciden en que los reprocesos y la falta de control en la fumigación generan pérdidas económicas, tiempo desperdiciado y riesgo en la exportación.

Desde una mirada estratégica, los mapas también evidencian que los usuarios valoran tecnologías que se integren de manera armónica a sus procesos actuales, sin requerir cambios disruptivos. Las ganancias esperadas no son solo funcionales (alertas, reportes, cobertura), sino también emocionales y operativas: confianza, reducción del estrés laboral, seguridad en la toma de decisiones, y respaldo frente a entes externos.

En conjunto, esta etapa permitió refinar los requisitos del sistema, validar sus funcionalidades claves (detección automática, alertas, trazabilidad) y reafirmar que su propuesta responde tanto a problemáticas técnicas como a realidades humanas del agro colombiano.

5. SELECCIÓN DEL PROBLEMA

5.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Analizando el contexto de los diferentes problemas que se encontraron durante las entrevistas, se evidenciaron los problemas principales que son:

1. Fumigación incompleta o ineficiente: Uno de los principales problemas detectados en los cultivos de flores en Antioquia es la fumigación parcial o mal ejecutada. Esta deficiencia permite la proliferación de plagas y enfermedades, lo que afecta directamente la calidad de las flores y genera pérdidas económicas por rechazo en los mercados de exportación.
 - Según Asocolflores, entre los factores que más afectan la calidad exportable de las flores se encuentran los daños causados por plagas como los trips, ácaros y enfermedades como el oídio y botrytis, los cuales pueden desarrollarse por una fumigación mal realizada o insuficiente. (*Instituto ENTOMA - Ciencia en Acción, s/f*)
 - La organización Entoma reporta que entre el 40% y el 60% de las flores no exportables están asociadas a afectaciones fitosanitarias, muchas de las cuales son evitables con un monitoreo y aplicación adecuada de productos agroquímicos.
 - De acuerdo con datos de la FAO, las plagas destruyen cerca del 40% de la producción agrícola mundial cada año, y Colombia no es la excepción. Las malas prácticas en la aplicación de agroquímicos contribuyen a esta cifra. Fuente: (*Noticias, Tendencias y Oportunidades del Sector Agrícola |Agronegocios.co, s/f*)
2. Falta de trazabilidad y datos en tiempo real: Otro hallazgo relevante en las entrevistas realizadas fue la carencia de sistemas de trazabilidad que permitan saber con certeza qué zonas han sido tratadas, cuándo y cómo. Esto dificulta la toma de decisiones oportunas, la planificación de acciones correctivas y la mejora continua.
 - Según el Centro de Innovación de la Floricultura (Ceniflores), uno de los principales retos tecnológicos del sector es la ausencia de herramientas que brinden datos confiables en tiempo real sobre las labores agrícolas. Esto afecta directamente la capacidad de respuesta ante amenazas sanitarias.
 - Un estudio sobre brechas tecnológicas en el agro colombiano, publicado en 2023, señala que más del 70% de pequeños y medianos agricultores no cuenta con sistemas de monitoreo digital, y

que esto impacta la eficiencia y trazabilidad de procesos críticos como la fumigación. (*Con AgroTECH, el MinTIC potenciará el campo con Inteligencia Artificial, s/f*)

3. Reprocesos y sobrecarga operativa: La tercera problemática identificada tiene que ver con la repetición de tareas debido a errores humanos, falta de seguimiento o supervisión adecuada, lo cual incrementa los tiempos de ejecución, reduce la productividad y eleva los costos operativos.
 - La agricultura de precisión, promovida por instituciones como el Ministerio de Agricultura y la Agrosavia, ha demostrado que el uso de sensores, automatización y monitoreo inteligente puede reducir entre un 20% y 40% los insumos utilizados y el tiempo de aplicación, en comparación con métodos tradicionales.
 - En cultivos donde no se cuenta con este tipo de tecnología, se han documentado pérdidas operativas significativas por reprocesos, especialmente en labores como la fumigación, que requieren cobertura total para ser efectivas. (*Ceniflores | Centro de innovación de la floricultura Colombiana, s/f; Página Principal Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, s/f*)

Flores El Trigal, empresa dedicada a la producción y exportación de flores, enfrenta dificultades cuando los operarios no completan adecuadamente el recorrido de fumigación, lo que ocasiona que algunas zonas del cultivo queden sin tratar. Esta situación favorece la aparición de plagas y enfermedades. Es importante resolver este problema porque compromete la calidad del cultivo, genera pérdidas económicas significativas por rechazo en exportaciones y dificulta la trazabilidad del proceso agrícola.

6. PROBLEMA EN DESAFÍO

Luego del análisis del sector, la caracterización de usuarios mediante entrevistas y mapas de empatía, y la identificación de los puntos críticos en el proceso de fumigación agrícola en cultivos de flores, se evidencia una problemática común en distintos niveles del sistema productivo. Las fallas en la cobertura total de fumigación, la falta de trazabilidad visual en el proceso y la dificultad para garantizar estándares de calidad en las exportaciones, representan retos técnicos y operativos que afectan directamente la productividad, la sostenibilidad y la competitividad de las floricultoras colombianas.

En este contexto, se plantean una serie de desafíos estratégicos que surgen como respuesta a los hallazgos en campo y a las necesidades reales identificadas en los perfiles clave del público objetivo. Estos desafíos se formulan a través de la metodología de problematización con enfoque en diseño centrado en el usuario, usando la estructura “¿Cómo podríamos nosotros...?”, lo cual permite enfocar la solución tecnológica desde una perspectiva práctica, empática y orientada al impacto.

1. ¿Cómo podríamos nosotros brindar soporte a los operarios para asegurar que realicen el recorrido completo de fumigación, considerando las dificultades del terreno y la falta de supervisión?
2. ¿Cómo podríamos nosotros ayudar a las florícolas a garantizar trazabilidad y cobertura total en la fumigación, considerando la necesidad de mantener estándares de calidad para exportación?
3. ¿Cómo podríamos nosotros garantizar que el fumigador cubra el 100 % del cultivo para evitar zonas sin fumigar, controlar la proliferación de plagas y asegurar la calidad del producto?

Rediseñar el sistema de monitoreo del proceso de fumigación para operarios y responsables de calidad en empresas floricultoras, con el fin de garantizar la cobertura total del cultivo y asegurar la trazabilidad visual, considerando las limitaciones del terreno, los errores humanos y los estándares de calidad requeridos para la exportación.

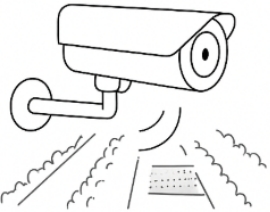
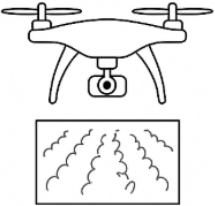



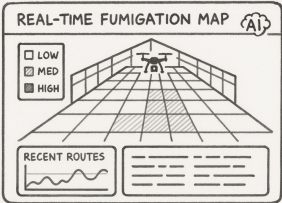
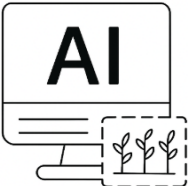
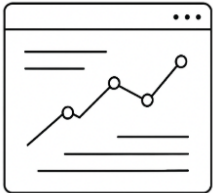
Esta formulación final sintetiza las necesidades más relevantes detectadas en la investigación: la necesidad de evitar zonas sin cubrir, la urgencia de generar evidencia de cumplimiento y la oportunidad de automatizar el seguimiento en tiempo real. A partir de este desafío se estructura el desarrollo del proyecto AgroTrace AI, como una solución tecnológica que responde de forma directa, validada y medible a esta problemática, con un enfoque funcional y de impacto para el sector agrícola nacional.

7. LA GRAN IDEA

7.1. NUEVAS VERSIONES DE LA GRAN IDEA

Durante el proceso de diseño centrado en el usuario y la definición de los desafíos clave del sistema de fumigación agrícola, se exploraron múltiples versiones potenciales de solución. Estas ideas emergieron como resultado de sesiones de co-creación, análisis de referentes tecnológicos en agricultura de precisión, y el cruce de información obtenida en entrevistas, mapas de empatía y estudios de caso. La **tabla 2** presenta una síntesis de dichas versiones, todas orientadas a resolver la problemática de zonas sin fumigar, trazabilidad limitada y errores humanos en procesos críticos para la exportación. Cada propuesta integra distintos enfoques tecnológicos, desde hardware (sensores, cámaras, drones) hasta plataformas de software y aplicaciones inteligentes, las cuales podrían implementarse de forma individual o integrada, dependiendo del contexto de uso, presupuesto y tipo de cultivo.

Tabla 2. Nuevas versiones de la gran idea

<p>Sistema con cámaras térmicas para detectar zonas sin químico.</p> 	<p>Drones que validen la fumigación posterior al proceso.</p> 	<p>Sensores en el cultivo que detecten presencia del químico.</p> 	<p>App móvil para visualizar la trazabilidad del recorrido.</p> 
<p>Pulsera háptica para alertar al fumigador de omisiones.</p> 	<p>Mapa en tiempo real con zonas fumigadas en color.</p> 	<p>Inteligencia artificial que prediga zonas de riesgo si no se fumiga.</p> 	<p>Plataforma web que almacene historial de recorridos y permita análisis.</p> 

La diversidad de soluciones planteadas evidencia un proceso de ideación amplio, realista y contextualizado, que busca no solo responder a una necesidad técnica, sino también adaptarse a la realidad operativa de los usuarios agrícolas. A partir de estas propuestas, se seleccionaron los componentes más viables para construir una versión funcional del sistema, priorizando aquellos que equilibran impacto, facilidad de adopción, escalabilidad y sostenibilidad económica. Este ejercicio de generación de ideas no solo enriquece el proceso de diseño, sino que permite visualizar un camino de evolución futura para la solución, mediante la incorporación progresiva de tecnologías más avanzadas a medida que el mercado y el ecosistema lo permitan.

7.2 LA GRAN IDEA SMART

Para evaluar la viabilidad y enfoque estratégico de la solución, se aplicó el modelo de criterios SMART, el cual permite definir metas que sean Específicas (Specific), Medibles (Measurable), Alcanzables (Achievable), Relevantes (Relevant) y con un Tiempo definido (Time-bound). Esta metodología resulta especialmente útil para traducir una visión de innovación en objetivos claros, orientados a resultados y coherentes con las capacidades técnicas y operativas del equipo.

A continuación, se presentan los parámetros SMART definidos para la propuesta:

- **S - Específica:** Se centra en detectar en tiempo real las zonas del cultivo que no han sido correctamente fumigadas, utilizando visión artificial y algoritmos embebidos. El sistema genera alertas automáticas que permiten corregir las omisiones de forma inmediata, asegurando así una mayor efectividad en campo y una reducción significativa del riesgo fitosanitario.
- **M – Medible:** El objetivo de impacto directo es reducir al menos en un 80 % las áreas no cubiertas durante la fumigación en los primeros seis meses de implementación, tomando como base las métricas obtenidas en las pruebas piloto. Este indicador será monitoreado mediante mapas generados por el sistema y comparado con los resultados previos sin tecnología.
- **A – Alcanzable:** La solución fue diseñada para integrarse fácilmente con los procesos existentes, aprovechando infraestructuras comunes como cámaras agrícolas, redes de datos básicas y hardware

accesible. Esto permite que incluso pequeñas y medianas floricultoras puedan adoptarla sin incurrir en costos prohibitivos o cambios radicales en sus operaciones.

- **R – Relevante:** Responde de forma directa a un problema crítico identificado durante el análisis del sector: la pérdida económica derivada de fumigaciones incompletas, que comprometen la calidad del producto y afectan los estándares exigidos para exportación. Su implementación no solo mejora la eficiencia operativa, sino que contribuye a la sostenibilidad y competitividad del agro colombiano.
- **T – Tiempo definido:** Se ha establecido como meta la implementación y validación del primer piloto funcional en campo en un plazo no mayor a cuatro meses, lo cual permitirá obtener retroalimentación técnica, evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales y preparar su escalamiento progresivo a otras fincas o cultivos.

Nombre: AgroTrace AI

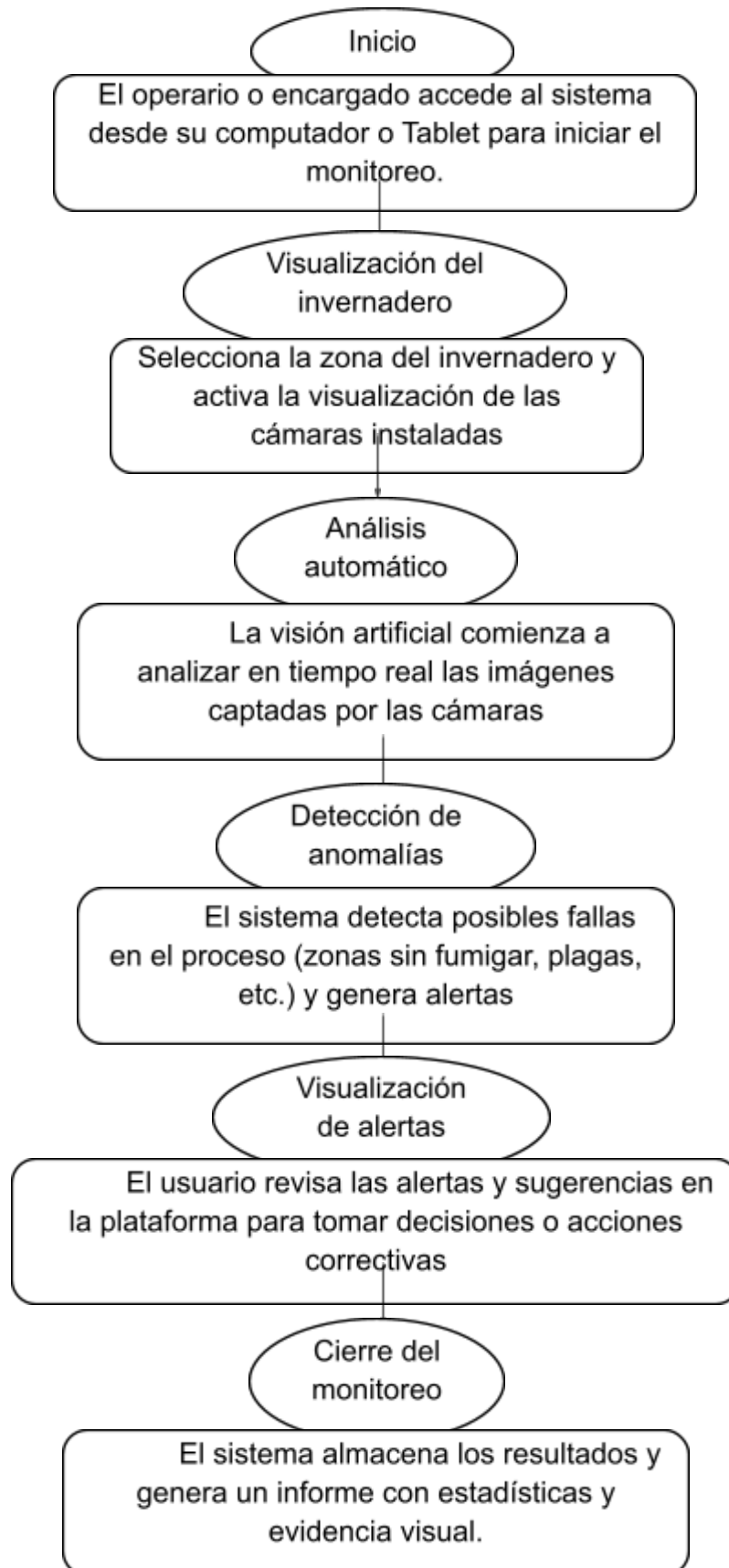
Tras la identificación del problema relacionado con la falta de cobertura completa en los procesos de fumigación, las pérdidas económicas por plagas y la baja trazabilidad en cultivos orientados a la exportación, surge **AgroTrace AI** como una propuesta tecnológica diseñada para responder a estos retos con innovación, precisión y facilidad de adopción. Esta solución integra capacidades de visión artificial con principios de agricultura de precisión, enfocándose en mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones informadas en entornos agrícolas reales.

Descripción: AgroTrace AI es un sistema inteligente de monitoreo agrícola que emplea visión artificial para detectar, en tiempo real, las zonas de cultivo que no han sido correctamente fumigadas. Su funcionamiento garantiza una cobertura completa y trazabilidad digital del proceso, permitiendo reducir las pérdidas ocasionadas por plagas, reprocesos y fallas humanas. La solución genera alertas automáticas, mapas visuales y reportes históricos que facilitan el control de calidad y la supervisión técnica. Además, fue diseñada para integrarse sin fricciones a los entornos operativos actuales de las floricultoras, permitiendo su adopción tanto por operarios como por personal técnico o gerencial. AgroTrace AI optimiza así la eficiencia del proceso de fumigación, eleva los estándares de calidad para la exportación y aporta valor mediante el uso estratégico de datos.

Características principales:

- **Monitoreo en tiempo real:** El sistema permite la identificación inmediata de áreas que no han recibido tratamiento fitosanitario, reduciendo errores en campo y mejorando la cobertura total de la fumigación.
- **Alertas automáticas y trazabilidad digital:** A través de algoritmos de visión artificial, AgroTrace AI genera notificaciones visuales en caso de omisión, además de mapas históricos y reportes técnicos que apoyan procesos de auditoría y certificación.
- **Impacto productivo y económico:** Al reducir zonas sin fumigar, se mitiga la proliferación de plagas, se mejora la calidad del cultivo, se incrementa la productividad y se fortalecen los estándares exigidos por mercados de exportación.

8. FLUJO DE PRUEBA DE USUARIO



9. STORYBOARD

Para representar el flujo funcional de la solución AgroTrace AI desde la experiencia del usuario, se diseñó un storyboard que ilustra las principales etapas de uso del sistema, desde el ingreso a la plataforma hasta la generación del informe final. Esta representación visual permite comprender cómo se articula la interacción entre el usuario, el sistema de visión artificial y los procesos operativos del cultivo.

La **Figura 11** muestra el recorrido secuencial resumido:

1. **Inicio de sesión:** El usuario accede a la plataforma desde su Tablet o PC mediante credenciales autorizadas, lo que permite ingresar a las herramientas de monitoreo y visualización.
2. **Vista de cámaras del invernadero:** En la interfaz se muestran las imágenes captadas en tiempo real por las cámaras instaladas en distintas zonas del cultivo. El usuario puede seleccionar zonas específicas para su análisis.
3. **Análisis en tiempo real:** El sistema, mediante visión artificial, comienza automáticamente a procesar las imágenes y detectar posibles zonas sin cobertura de fumigación, sin intervención directa del usuario.
4. **Generación de alertas:** Si se detecta una omisión o error en la aplicación del químico, el sistema emite una alerta visual e indicaciones inmediatas para su revisión o corrección en campo.
5. **Panel de alertas y decisiones:** El usuario accede a un panel de control donde puede revisar el historial de alertas, registrar acciones tomadas, consultar recomendaciones automáticas y tomar decisiones operativas.
6. **Informe final:** Al finalizar la jornada o el proceso de monitoreo, el sistema genera un reporte que incluye las zonas analizadas, alertas emitidas, imágenes de respaldo y las decisiones registradas por el usuario. Este informe puede ser almacenado, exportado o compartido para fines de trazabilidad y control de calidad.

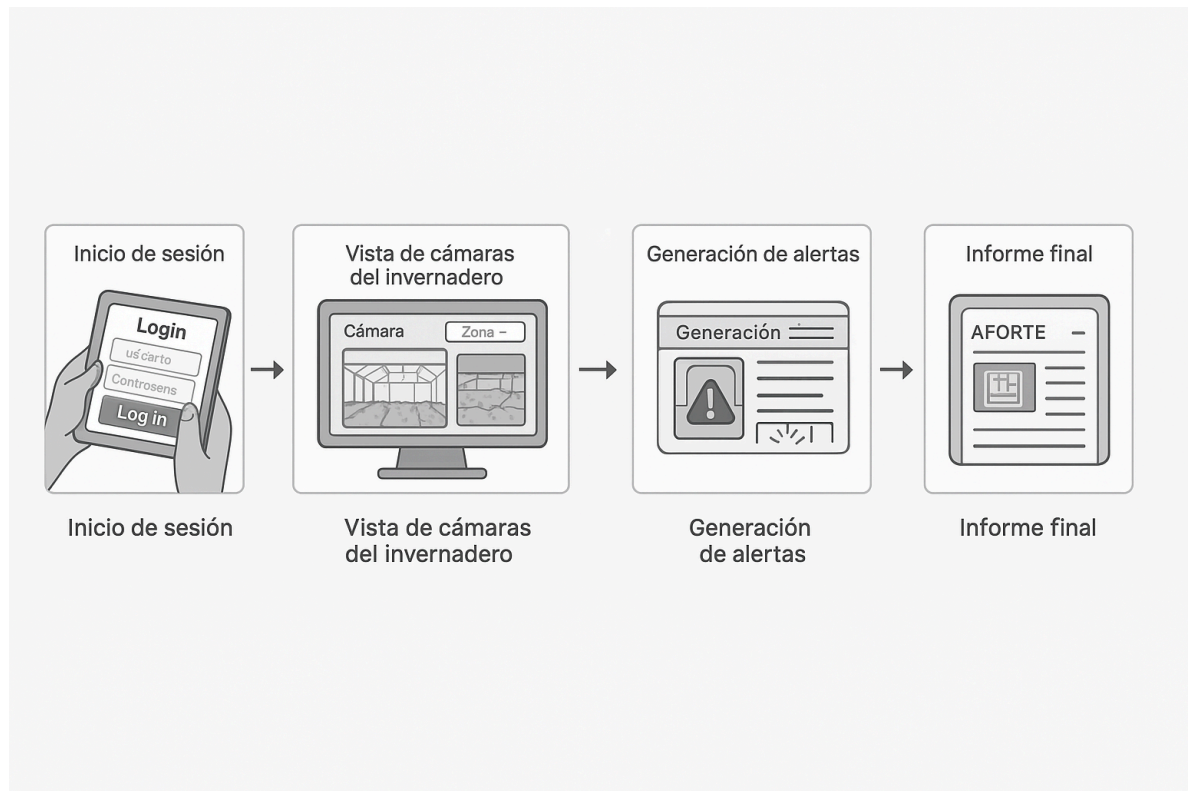


Figura 11 Storyboard. Elaborado propia con IA

La representación en storyboard permite visualizar de manera estructurada y accesible la lógica de funcionamiento de AgroTrace AI, evidenciando su facilidad de uso y coherencia con los flujos operativos del usuario agrícola. Cada etapa descrita responde a necesidades reales identificadas en el análisis previo, y su articulación garantiza una solución intuitiva, funcional y aplicable en contextos productivos reales. Este recurso visual no solo facilita la comprensión de la tecnología, sino que también fortalece su validación como herramienta efectiva dentro del proceso de fumigación, aportando claridad al proceso de desarrollo, implementación y evaluación del sistema.

10. SÍNTESIS DE LA INFORMACIÓN

10.1. CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA DE USUARIO

La validación de AgroTrace AI ha sido un proceso integral, basado en pruebas de usuario estratégicas que permitieron analizar el impacto y la usabilidad de la solución en escenarios reales. Para garantizar una evaluación precisa, se seleccionaron cinco participantes representativos del sector floricultor, quienes desempeñan roles clave en la gestión, aplicación y supervisión de fumigación en cultivos de exportación. A lo largo de los encuentros realizados, se definieron criterios fundamentales de evaluación, recomendados por el asesor y validados en sesiones de seguimiento. Estos criterios incluyeron:

- Claridad de la interfaz y accesibilidad: Se verificó que la plataforma fuese intuitiva y de fácil adaptación para los operarios y administradores agrícolas, facilitando la navegación sin necesidad de formación técnica avanzada.

- Eficiencia en la detección de zonas no fumigadas: Se probó la capacidad del sistema para identificar en tiempo real áreas sin tratamiento, asegurando una cobertura completa y minimizando riesgos fitosanitarios.

- Relevancia de las alertas automáticas: Se evaluó si las notificaciones generadas por el sistema eran comprensibles y accionables para los usuarios, permitiéndoles tomar decisiones oportunas.

- Compatibilidad con procesos actuales: Se analizó la integración del sistema con las prácticas de fumigación existentes en las florícolas, determinando su adaptabilidad sin generar fricciones operativas.

- Potencial de escalabilidad y aplicación en otros cultivos: Se exploró la posibilidad de ampliar la funcionalidad del sistema más allá de la floricultura, incluyendo sectores como fruticultura y café.

Las pruebas realizadas confirmaron que AgroTrace AI responde directamente a las necesidades identificadas, cumpliendo con los estándares exigidos por los productores y optimizando los procesos agrícolas. Además, las recomendaciones derivadas de estos encuentros han sido clave en la evolución del sistema, permitiendo ajustes en la interfaz y mejoras en la generación de reportes predictivos.

Este proceso de evaluación, basado en validaciones regionales, nacionales e internacionales, ha sido esencial para consolidar la propuesta como una solución viable y escalable, fortaleciendo su aceptación en espacios como Córdoba Biotech y otros foros especializados.

10.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE USUARIO

A partir de las pruebas realizadas, se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- **Fortalezas identificadas:** Los usuarios valoraron la detección en tiempo real de zonas no fumigadas y las alertas automáticas como aspectos clave para mejorar la trazabilidad del proceso de fumigación.

- **Puntos de mejora:** Se sugirió optimizar la visualización de datos y agregar un módulo de predicción de zonas de riesgo mediante inteligencia artificial.

- **Dudas recurrentes:** Se identificó la necesidad de mejorar la explicación sobre el funcionamiento del monitoreo y su integración con los equipos actuales en los cultivos.

- **Ideas para optimización:** Se propuso incluir reportes más detallados con análisis de tendencias y recomendaciones para futuras fumigaciones.

Estos resultados reflejan una alta aceptación de AgroTrace AI, así como su potencial para mejorar la eficiencia en el proceso de fumigación, garantizando trazabilidad y calidad en los cultivos.

Usuario 1: Camila Rodríguez

- Edad: 38 años

- Género: Femenino

- Ocupación: Administradora de una florícola

- Ubicación: Rionegro, Antioquia

Declaración Positiva: "El sistema me permite visualizar el estado de fumigación sin recorrer el cultivo manualmente."

Declaración Negativa: "Sería útil una opción para recibir alertas en el celular cuando se detecten problemas."

Preguntas: "¿Los reportes pueden integrarse con otros sistemas de gestión agrícola?"

Ideas y Opiniones: "Agregar recomendaciones basadas en datos históricos podría mejorar la toma de decisiones."

Usuario 2: Andrés Gómez

- Edad: 45 años

- Género: Masculino
- Ocupación: Ingeniero agrónomo especializado en cultivos de exportación
- Ubicación: Medellín, Antioquia

Declaración Positiva: "El análisis en tiempo real es clave para reducir la pérdida de cultivos por plagas."

Declaración Negativa: "El costo inicial de implementación puede ser una barrera para pequeños productores."

Preguntas: "¿El sistema podría predecir zonas críticas antes de la fumigación?"

Ideas y Opiniones: "Integrar sensores ambientales ayudaría a mejorar la precisión del análisis."

Usuario 3: María Fernanda López

- Edad: 52 años
- Género: Femenino
- Ocupación: Floricultora independiente
- Ubicación: La Ceja, Antioquia

Declaración Positiva: "Me ahorra tiempo al evitar inspecciones manuales y optimizar recursos."

Declaración Negativa: "Necesitaría capacitación para manejar la plataforma sin dificultades."

Preguntas: "¿El sistema puede funcionar sin conexión a internet?"

Ideas y Opiniones: "Un módulo de aprendizaje interactivo ayudaría a los pequeños productores."

Usuario 4: Juan David Pérez

- Edad: 30 años
- Género: Masculino
- Ocupación: Supervisor de cultivos en una empresa de exportación
- Ubicación: Marinilla, Antioquia

Declaración Positiva: "La trazabilidad de la fumigación permite asegurar calidad para los mercados internacionales."

Declaración Negativa: "No queda claro cómo se puede personalizar el sistema para diferentes tipos de cultivos."

Preguntas: "¿Se pueden generar alertas basadas en estándares de exportación?"

Ideas y Opiniones: "Adaptar el sistema según tipo de flor permitiría mejorar su precisión."

Usuario 5: Sofía Martínez

- Edad: 27 años

- Género: Femenino

- Ocupación: Investigadora en tecnología agropecuaria

- Ubicación: Bogotá, Colombia

Declaración Positiva: "El uso de visión artificial para el monitoreo agrícola tiene mucho potencial."

Declaración Negativa: "La recopilación de datos de campo podría mejorar con un enfoque más detallado."

Preguntas: "¿Cómo se asegura la privacidad y protección de los datos generados por el sistema?"

Ideas y Opiniones: "Sería interesante aplicar análisis predictivo para anticipar problemas de cultivo."

(REPRESENTAR EN TABLAS ORGANIZADAS)

Desde allí se recolectó la siguiente información:

Tabla 3. Recolección de información

DECLARACIÓN POSITIVA	DECLARACIÓN NEGATIVA	PREGUNTAS	IDEAS Y OPIONES
Detección en tiempo real: Los usuarios valoran la capacidad del sistema para identificar zonas no fumigadas de inmediato	Accesibilidad móvil: Algunos usuarios consideran que sería útil una versión más optimizada para dispositivos móviles.	Integración con equipos actuales: “¿Cómo se sincroniza el sistema con las herramientas de fumigación que ya utilizamos?”	Módulo de predicción inteligente: Integrar un algoritmo que anticipe posibles problemas en zonas no tratadas.
Alertas automáticas: Destacan la eficiencia de las notificaciones visuales para corregir errores en el proceso de fumigación.	Costo de implementación: Pequeños productores mencionaron preocupaciones sobre la inversión inicial requerida.	Predicción de zonas críticas: “¿El sistema puede anticipar áreas de riesgo antes de la aplicación de agroquímicos?”	Compatibilidad con aplicaciones móviles: Adaptar la plataforma para monitoreo desde celulares o tablets.
Interfaz clara: La plataforma es intuitiva, lo que facilita su uso sin necesidad de capacitación extensa.	Personalización limitada: Se sugiere mayor adaptación del sistema a distintos tipos de cultivos.	Protección de datos: “¿Cómo se asegura la privacidad y seguridad de la información recolectada?”	Optimización de informes: Agregar análisis comparativos y tendencias de fumigación para mejorar la toma de decisiones.

11. MODELO DE NEGOCIO

El siguiente modelo de negocio fue desarrollado inicialmente durante el proceso de acompañamiento brindado por el programa de aceleración de emprendimientos de Georgia Tech – VentureLab, implementado en Medellín gracias a la Alcaldía de Medellín y Ruta N. Este proceso se llevó a cabo durante tres meses a partir de junio de 2024, con una intensidad de hasta tres sesiones semanales, y estuvo enfocado en el diseño, validación y estructuración de modelos de negocio innovadores y de base tecnológica. Como resultado de este proceso, se construyó un modelo de negocio Lean Canvas (Figura 12), el cual resume los principales componentes estratégicos de la solución AgroTrace AI, desde los socios clave hasta las fuentes de ingresos proyectadas.

A lo largo de este acompañamiento se realizaron diversos talleres, sesiones de formación y asesorías personalizadas que permitieron avanzar en la comprensión del problema, la definición de la propuesta de valor y el fortalecimiento de la estrategia de comercialización. En paralelo, se llevaron a cabo entrevistas y ejercicios de validación con actores relevantes del sector agroindustrial, como gerentes de producción, exportadores de flores y frutas, ingenieros agrónomos y técnicos en automatización, lo cual permitió ajustar la solución a las necesidades reales del mercado.

Desde la finalización del acompañamiento con Georgia Tech, se ha continuado el trabajo con el apoyo de la Unidad de Emprendimiento de la Institución Universitaria Pascual Bravo, desde donde se mantiene un proceso de estudio, mejora y evolución constante del modelo de negocio. Este respaldo institucional ha sido clave para seguir avanzando en el desarrollo de COLDETIC como una solución integral y pertinente para los retos actuales del sector agrícola.

Modelo de Negocio Lean Canvas

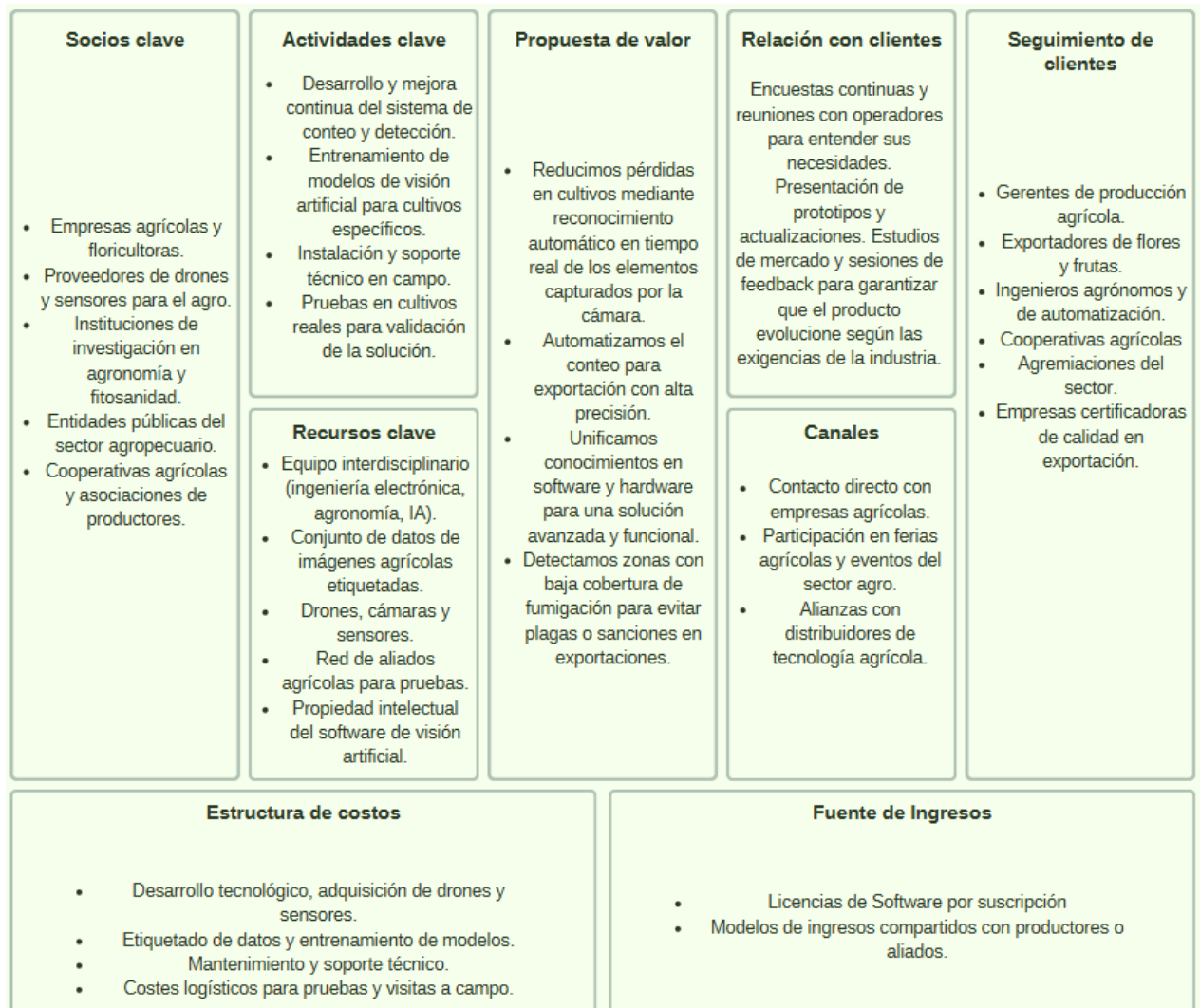


Figura 12. Modelo Lean Canvas. Elaboración propia a partir de Canva

12. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 4. Presentación de resultados

Elemento	Descripción
Problema principal	Las zonas del cultivo que no son fumigadas adecuadamente quedan expuestas a plagas, afectando la calidad del producto y comprometiendo la exportación.
Desafío principal	¿Cómo podríamos nosotros garantizar que el fumigador cubra el 100% del cultivo para evitar zonas sin fumigar, controlar la proliferación de plagas y asegurar la calidad del producto?
Gran idea	Un sistema inteligente con visión artificial que supervise en tiempo real el recorrido del fumigador identifique zonas no tratadas y genere alertas automáticas para asegurar la cobertura total y trazabilidad del proceso.

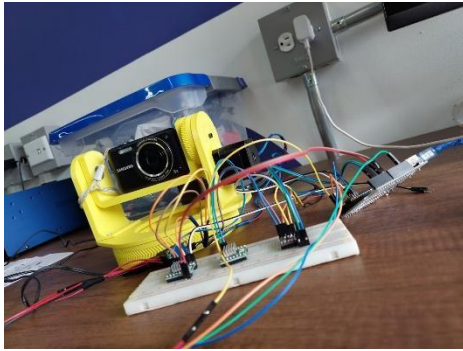


Figura 13. Recopilación prototipo.

13. EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN

El proyecto AgroTrace AI ha sido el resultado de un camino progresivo que comenzó en 2022 como una iniciativa académica y se ha fortalecido mediante constantes pruebas y validaciones en terreno. Este recorrido transformó una inquietud inicial en una solución tecnológica de impacto para la agricultura, consolidándose a través de un proceso iterativo de retroalimentación directa.

A partir de 2024, Coldetic fue seleccionada para participar en el programa de aceleración de Georgia Tech – VentureLab, lo que supuso un ambiente de mentorías, talleres y asesorías intensivas. Durante este periodo, se llevaron a cabo entrevistas y sesiones con floricultores, ingenieros agrónomos y operarios de campo, permitiendo identificar de primera mano los retos relacionados con la fumigación y la trazabilidad de cultivos. Las pruebas realizadas en escenarios reales confirmaron que AgroTrace AI detecta con precisión las zonas no fumigadas y genera alertas oportunas, validando de manera concreta la utilidad de la solución.

Además de las validaciones regionales y nacionales, el proyecto ha cosechado aceptación internacional a través de su participación en diversos eventos, congresos y foros. La presencia de Coldetic en espacios internacionales y competencias, sumada al reconocimiento obtenido en eventos como el Robotic People Fest, ha generado un notable interés internacional. Este reconocimiento se vio reforzado por la selección de Coldetic como la primera startup latinoamericana admitida en la incubadora europea Córdoba Biotech, lo que ratifica el potencial global del proyecto.

En síntesis, el proceso de validación de AgroTrace AI se ha desarrollado a partir de una combinación de pruebas de campo, entrevistas cualitativas y participación en eventos claves tanto a nivel regional como internacional. Este enfoque ha permitido confirmar que la propuesta no solo es técnicamente viable, sino que también responde a un desafío real en el agro colombiano, ofreciendo una solución escalable y adaptable con un amplio reconocimiento y oportunidades de expansión a nivel global.

14. REFERENCIAS

Ceniflores | Centro de innovación de la floricultura Colombiana. (s/f).
Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://ceniflores.org/>

Con AgroTECH, el MinTIC potenciará el campo con Inteligencia Artificial. (s/f).
Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/276923:Con-AgroTECH-el-MinTIC-potenciara-el-campo-con-Inteligencia-Artificial>

Instituto ENTOMA - Ciencia en Acción. (s/f). Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://www.entoma.org/>

Noticias, Tendencias y Oportunidades del Sector Agrícola |Agronegocios.co. (s/f).
Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://www.agronegocios.co/>

Página Principal Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (s/f). Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>