# RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

| | |
|---|---|
| **AUTORES** | Jorge Leonardo Perez Cardenas |
| **FACULTAD** | Facultad de Ingeniería |
| **PLAN DE ESTUDIOS** | Ingeniería de Sistemas |
| **DIRECTOR** | Yessika Johanna Meza Navarro |
| **CODIRECTOR (si aplica)** | Luis Manuel Palmera Quintero |
| **TÍTULO DE LA TESIS** | Sistema Web Con Sistemas De Información Geográfica Para La Optimización Espacial Del Terreno En La Granja Ufpso. |
| **TITULO EN INGLES** | Web-Based System with Geographic Information Systems for Spatial Optimization of the Land at the UFPSO Farm |


## RESUMEN

Este proyecto desarrolla un sistema web bajo arquitectura Laravel y patrón mvc con sistemas de información geográfica para optimizar la distribución espacial del terreno de la granja experimental ufpso. sobre esta base se integran drones, el modelo sam de segmentación y el asistente claude como capa de interpretación, generando recomendaciones de siembra, riego y distribución de cultivos, sin requerir infraestructura sig tradicional.

## RESUMEN EN INGLES

This project develops a web system built on Laravel architecture and the mvc pattern with geographic information systems to optimize the spatial distribution of land at the ufpso experimental farm. building on this foundation, drones, the sam segmentation model and the claude assistant as an interpretation layer are integrated, generating recommendations for planting, irrigation and crop distribution, without requiring traditional gis infrastructure.


| | |
|---|---|
| **PALABRAS CLAVES** | Agricultura De Precisión, SIG, Inteligencia Artificial, Drones, Segmentación De Imágenes, Arquitectura Mvc |
| **PALABRAS CLAVES EN INGLES** | Precision Agriculture, GIS, Artificial Intelligence, Drones, Image Segmentation, Mvc Architecture |

## CARACTERÍSTICAS

| | | | |
|---|---|---|---|
| PÁGINAS: 98 | PLANOS: | ILUSTRACIONES:26 | CD-ROM: |

# Sistema Web Con Sistemas De Información Geográfica Para Optimización Espacial Del Terreno En Granja UFPSO

**Jorge Leonardo Pérez Cardenas**

**Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería de Sistemas**

**Magister Yessika Johanna meza navarro**

**Doctor Luis Manuel palmera quintero**

**2026.**

## Agradecimientos

A mis padres, Gracias por su esfuerzo, su paciencia y por creer en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba de poder lograrlo. Este trabajo de grado es también el resultado de sus sacrificios y de la formación en valores que me dieron desde siempre, y hoy se los devuelvo convertido en un logro que también les pertenece.

A mis hermanos, por acompañarme y animarme a lo largo de esta etapa. Gracias por su compañía, por los momentos de distracción necesarios en medio del estrés académico, y por confiar siempre en mis capacidades. Su apoyo, aunque a veces silencioso, fue fundamental para mantenerme enfocado y llegar hasta el final de este proyecto.

A mi novia, por su amor y paciencia durante todo este camino. Gracias por estar presente en los momentos de estrés y desvelo, por animarme a seguir cuando las fuerzas escaseaban, y por celebrar conmigo cada pequeño avance de este proyecto. Su apoyo constante fue una motivación fundamental para culminar con éxito este trabajo de grado.

Finalmente, agradezco a mi directora, la Magíster Yessika Johanna Meza Navarro, por su orientación, disposición y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto, así como a mi codirector, el Doctor Luis Manuel Palmera Quintero, por sus aportes y conocimientos brindados, los cuales fueron fundamentales para llevar a buen término este trabajo de grado.

# Índice

Capítulo 1. Sistema web con sistemas de información geográfica para optimización espacial del terreno en granja UFPSO 10

1.1 Planteamiento Del Problema 10

1.2 Formulación del problema 13

1.2.1 Lo que pasa a nivel tecnológico 14

1.2.2 Causas y Efectos del Problema 16

1.2.3 Descripción de la situación problema 16

1.3 Objetivos 20

1.3.1 Objetivo general 20

1.3.2 Objetivos específicos 21

1.4 Justificación 21

1.4.1 Beneficios esperados de la solución 22

1.4.2 Aporte al programa de Ingeniería de Sistemas 23

1.4.3 Aporte a la Universidad 23

1.4.4 Aporte al área de los Sistemas de Información Geográfica 24

1.4.5 Relevancia social 24

1.4.6 Valor teórico 25

1.5 Delimitaciones 25

1.5.1 Delimitación Geográfica. 26

1.5.2 Delimitación Temporal. 26

1.5.3 Delimitación Conceptual 26

1.5.4 Delimitación Operativa 27

Capítulo 2. Marco referencial 29

2.1 Marco Histórico 29

2.1.1 Nivel internacional 29

2.1.2 A nivel nacional 29

2.1.3 A nivel regional 30

2.1.4 Análisis de los antecedentes frente a la investigación propuesta 31

2.2 Marco contextual 32

2.2.1 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña 32

2.2.2 Granja Experimental UFPSO 33

2.2.3 Pertinencia del sistema propuesto en el contexto institucional 34

2.3 Marco conceptual 34

2.4 Marco teórico 36

2.4.1 Agricultura de precisión 36

2.4.2 Sistemas de Información Geográfica 36

2.4.3 Sistemas Web 37

2.4.4 Inteligencia Artificial llevada a la agricultura 38

2.4.5 Drones y agricultura 38

2.4.6 Arquitecturas Web-GIS 39

2.5 Marco legal 40

2.5.1 Ley 1581 de 2012 40

2.5.2 Decreto 1377 de 2013 40

2.5.3 Resolución 04201 de 2018 (Aeronáutica Civil de Colombia) 41

2.5.4 Ley 23 de 1982 41

2.5.5 Síntesis del marco legal aplicable 42

Capítulo 3. Diseño metodológico 43

3.1 Enfoque y tipo de investigación 43

*3.1.1 Justificación de la selección del enfoque* 43

*3.1.2 Implicaciones metodológicas del enfoque seleccionado* 44

*3.2.1 Fase 1: Análisis y levantamiento de información* 45

*3.2.2 Fase 2: Diseño de la arquitectura del sistema web-SIG* 46

*3.2.3 Fase 3: Desarrollo e integración* 47

*3.2.4 Fase 4: Evaluación del sistema* 47

3.3 Población y muestra 48

3.3.1 Población 48

3.3.2 Muestra 49

Capítulo 4. Resultados 52

4.1 Analizar los requerimientos geoespaciales y funcionales del terreno de la Granja UFPSO, con el fin de identificar las variables críticas que afectan la distribución espacial y la productividad agrícola. 52

4.1.1 Levantamiento y caracterización de la información geoespacial del terreno 52

4.1.2 Planificación y configuración del vuelo de drones 53

4.1.3 Búsqueda de información de vuelo para cobertura completa del terreno 53

4.2 Desarrollar el sistema web con funcionalidades de SIG que incluyan herramientas para el análisis espacial, distribución del terreno y generación de reportes 54

4.2.1 Definición de los componentes tecnológicos del sistema 54

4.2.2 Selección de tecnologías y herramientas SIG apropiadas 55

4.2.8 Configuración del entorno de desarrollo 55

4.2.4 Diseño de módulos funcionales 56

4.2.3 Estructura de la base de datos 64

4.2.5 Diseño del módulo de gestión de evidencias del terreno 65

4.2.7 Diseño del módulo de segmentación y análisis inteligente del terreno 66

4.3.4 Integración de datos geográficos de la Granja UFPSO 69

4.3.5 Desarrollo del módulo de reportes 69

4.3.6 Pruebas y ajustes del sistema 70

4.3 Evaluar la efectividad del sistema implementado mediante indicadores de usabilidad y precisión en el análisis geoespacial 71

4.3.1 Definición de indicadores de evaluación 71

4.3.2 Implementación piloto del sistema 71

4.3.3 Evaluación de precisión geoespacial 72

Capítulo 5. Conclusiones 74

Capítulo 6. Recomendaciones 77

6.1 Validación y el alcance de la evaluación del sistema 77

6.2 Arquitectura técnica y la escalabilidad del sistema 78

6.3 Cumplimiento del marco normativo aplicable 78

6.4 Proyección institucional y la continuidad del proyecto 79

Referencias 81

Apéndices 87

## Lista de Tablas

Tabla 1 Población y muestra.....50

## Listado de Figuras

Figura 1 Árbol de problemas..... 19

Figura 3 Dashboard inicial ..... 57

Figura 4 Apartado de usuarios ..... 58

Figura 5 Agregar usuarios..... 59

Figura 6 Editar usuarios ..... 59

Figura 7 Eliminar Usuario..... 60

Figura 8 Dashboard de los implementos..... 60

Figura 9 Dashboard prestamos..... 61

Figura 10 Vista de prestamos..... 61

Figura 11 Chatbot..... 62

Figura 12 panel de Segmentación IA..... 63

Figura 2 Diagrama de relación de entidades (ERD) de la base de datos. ..... 64

Figura 13 Dash de las evidencias..... 65

Figura 14 Mapa generado por SAM..... 67

Figura 15 Dashboard de las evidencias. ..... 70

Figura 16 Implementación del software..... 72

Figura 17 juicio de  expertos..... 87

Figura 18 Formula v Aiken..... 88

Figura 19 contexto de la tabla V AIKEN..... 89

Figura 20 tabla V AIKEN Final..... 89

Figura 21 recogida de datos con Google Form..... 90

Figura 22 modelado con modelador bizagi..... 91

Figura 23 modelado con modelador bizagi.. ..... 92

Figura 24 modelado con modelador bizagi.. ..... 92

Figura 25 modelado con modelador bizagi. ..... 93

Figura 26 diagrama arquitectónico en lucidchart.. ..... 97

# Capítulo 1. Sistema web con sistemas de información geográfica para la optimización espacial del terreno en la granja UFPSO

## 1.1 Planteamiento Del Problema

La Granja Experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) cuenta con una extensión aproximada de 135 hectáreas, ubicada en la margen derecha del río Algodonal dentro del campus universitario, a una altitud de 1150 msnm, con una temperatura promedio de 23°C y una humedad relativa del 70% (Universidad Francisco de Paula Santander, 2024) . Este espacio funciona como un área multipropósito en la que convergen distintos proyectos productivos (pecuarios, agrícolas y de investigación) desarrollados y gestionados a lo largo del tiempo por diferentes grupos de estudiantes.

La problemática relacionada con el uso y la distribución del suelo en la sede Algodonal no es un hallazgo reciente ni exclusivo del componente agrícola. (Rueda, s. f.), en su trabajo de grado "Propuesta para dar buen uso al suelo en la UFPSO sede Algodonal", ya señalaba que la universidad "presenta una distribución y uso del suelo inadecuado", con un desarrollo de infraestructura que "evidencia un mal aprovechamiento del área del campus", en gran parte a la falta de planificación estructural y a la ausencia de pertinencia en el desarrollo del espacio ocupado. Este antecedente institucional evidencia que la problemática del aprovechamiento del suelo en el campus ha persistido durante más de una década, sin que se hayan implementado herramientas tecnológicas que permitan su análisis sistemático y su gestión basada en datos actualizados.

En el caso específico de la Granja Experimental, esta ausencia histórica de planificación se traduce en que la información sobre el uso, la distribución y el estado del terreno se encuentra dispersa entre múltiples trabajos de grado, informes puntuales y registros institucionales no centralizados. Esta situación dificulta contar con un diagnóstico integral y actualizado del territorio agrícola, y limita la posibilidad de tomar decisiones de distribución y manejo del suelo con base en información consolidada. Actualmente no existe una caracterización espacial detallada del terreno que permita identificar con precisión las zonas subutilizadas, las áreas con mayor potencial productivo o los sectores donde se presenta un uso ineficiente de recursos como el agua y los fertilizantes.

Esta situación es consistente con lo que ocurre a nivel general en el sector agrícola, donde persiste un bajo nivel de adopción tecnológica, particularmente en países en desarrollo como Colombia. Las tecnologías agrícolas han sido promovidas durante años por gobiernos y organizaciones de desarrollo como mecanismos efectivos para incrementar la productividad (M et al., 2024); sin embargo, la baja tasa de adopción tecnológica continúa siendo una limitación clave para mejorar la productividad, los ingresos y los rendimientos agrícolas, en especial en contextos donde los sistemas de producción basados en el mercado no están bien desarrollados y persiste una economía de subsistencia (Curry et al., 2021). Esto se traduce en que buena parte de las labores agrícolas continúan realizándose con métodos tradicionales, dado que la transición hacia la Agricultura Digital involucra elementos que dificultan su implementación (Curry et al., 2021).

En la Granja UFPSO se identifica una problemática consistente con este panorama general: existen áreas del terreno que no se aprovechan adecuadamente, se presenta desperdicio de agua, y las decisiones sobre qué sembrar y en qué sectores hacerlo se toman con frecuencia sin el respaldo de datos concretos sobre las condiciones reales del suelo.

Frente a este tipo de problemática, el uso de drones equipados con sensores y cámaras se ha consolidado como una alternativa viable. Los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) han tenido un desarrollo notable en las últimas décadas y han transformado las prácticas agrícolas en distintos contextos (Dibbern et al., 2024), ofreciendo ventajas como rentabilidad, flexibilidad operativa, alta resolución espacial y temporal, y monitoreo en tiempo real (Anam et al., 2024). De acuerdo con Ricardo Vásquez, miembro de la ganadería Vásquez Artavia, este tipo de herramientas permite maximizar el uso de la tierra y obtener un panorama real de la finca (Ganadero, 2023), lo que facilita pasar de esquemas de explotación extensiva a esquemas más intensivos y mejor planificados.

De manera complementaria, la integración de Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) está transformando la agricultura de precisión al mejorar el monitoreo y manejo de cultivos (Sharma, 2024), permitiendo el procesamiento de datos geoespaciales de alta resolución para la implementación de estrategias de manejo diferenciado (Rejeb et al., 2022a). Sin embargo, la implementación de estas tecnologías enfrenta obstáculos relacionados con la falta de trabajo empírico previo y la resistencia al cambio derivada del temor a posibles pérdidas al adoptar herramientas nuevas (Rashid et al., 2025). A esto se suman barreras específicas identificadas en países en desarrollo, donde la baja tasa de adopción tecnológica se relaciona con sistemas de

producción poco desarrollados, tenencia comunal de la tierra y una economía de subsistencia fuerte (Curry et al., 2021).

## 1.2 Formulación del problema

¿Cómo optimizar la distribución espacial del terreno de la Granja Experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña mediante el desarrollo de un sistema web integrado con Sistemas de Información Geográfica (SIG)?

### Antecedentes del Problema

A nivel internacional, los drones ya se usan bastante para mejorar la agricultura. En efecto, los drones, también llamados Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV), han sido testigos de un desarrollo notable en décadas recientes. En la agricultura, han cambiado las prácticas agrícolas (Thais Dibbern, 2024). Para ilustrar mejor esta situación, las investigaciones recientes demuestran que:

"Los UAV se utilizan cada vez más en muchas industrias, como la agricultura, silvicultura, militar, comercial e investigación. Los UAV ofrecen ventajas como rentabilidad, flexibilidad operativa, alta resolución espacial y temporal, y capacidades de monitoreo en tiempo real (Iftekhar Anam, 2024)."

De igual manera se debe hablar de la era digital en la que están actualmente inmersas la agricultura y la ganadería, es decir, la nueva revolución agrícola, conocida como Agricultura 4.0, (Martín, 2022) las geotecnologías no deben ser tomadas como herramientas que amenacen con sustituir los conocimientos agroganaderos tradicionales, deben ser una apoyo para que todo marche de mejor manera, solo se busca perfeccionar la toma de decisiones de los agricultores y ganaderos, fundada en dicha sabiduría tradicional.

### *1.2.1 Lo que pasa a nivel tecnológico*

Ahora bien, la integración de tecnologías emergentes está transformando el sector agrícola. En contraste con métodos tradicionales, la integración de tecnologías de Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas está transformando la agricultura de precisión al mejorar el monitoreo y manejo de cultivos (Sharma, 2024). De igual manera, en los países en desarrollo, ya se han visto ciertas barreras específicas para la adopción tecnológica. Para mostrar esta situación, la investigación de (George N. Curry S. N., 2021) señala que:

La baja tasa de adopción tecnológica ha sido durante mucho tiempo una limitación clave para mejorar la productividad, ingresos y rendimientos en la agricultura, particularmente en países en desarrollo donde los sistemas de producción basados en el mercado no están bien desarrollados, la economía de subsistencia permanece fuerte, la tierra se mantiene bajo tenencia comunal y el trabajo familiar es la columna vertebral de la producción (p. 142).

Muros en cuanto a la adopción tecnológica: Los avances tecnológicos pueden transformar significativamente las áreas rurales agrarias al aumentar la productividad y eficiencia mientras reducen los procesos intensivos en mano de obra (Harish Puppala, 2023).

Limitaciones en la gestión del terreno: El muestreo de suelo es una herramienta importante para recopilar información para tomar decisiones adecuadas sobre la fertilización de los campos (Janna Huuskonen, 2018). La ausencia de este tipo de análisis impide la optimización.

Brecha entre tecnología y agricultura: Con los desarrollos recientes, las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial se están utilizando en nuestras tareas diarias para ayudarnos en nuestros trabajos (Roni Kasemi, 2022). No obstante, esta integración no se ha materializado completamente en el sector agrícola. Además del impacto en la productividad: Las investigaciones confirman que los drones agrícolas/vehículos aéreos no tripulados son dispositivos aéreos que pueden emplearse en agricultura de precisión (AP). Esta tecnología no solo ofrece beneficios significativos para la productividad (Ritvik Tyagi, 2024).
De esta manera cómo podemos ver en la tesis de (Arias, 2023), nos comentan que según estudios del el metodo MobileNet, con los siguientes resultados de desempeño: exactitud (Accuracy) del 96,31 %, precisión (Precision) del 95,55 %, sensibilidad (Recall), esto a la hora de ver los resultados, lo que nos da un potente indicador en la metodología a usar.

### *1.2.2 Causas y Efectos del Problema*

**Causas Principales:**

- Poca adopción de tecnologías en instituciones educativas aun estas teniendo gran extensión de terrenos agrícolas.
- falta de sistemas de monitoreo y análisis de terreno basados en datos.
- Pobre acceso al crédito se ve como una barrera clave para la adopción de estas tecnologías (Bedru, 2021).
- Falta de capacitación basada en agricultura de precisión, generar conciencia de lo bien que caería este tipo de instrumentos.

**Efectos Identificados:**

### 1.2.3 Descripción de la situación problema

Esta propuesta surge de la necesidad de tener un lugar seguro donde sembrar, Después de investigar un poco, me di cuenta de que existía algo llamado agricultura de precisión como método de ayuda a la sostenibilidad de diversas explotaciones agropecuarias, De acuerdo a Ricardo Vásquez, miembro de la ganadería Vásquez Artavia, “El dron es una herramienta que deberíamos empezar a incorporar cada vez más en el área agropecuaria, tanto en la ganadería como en la agricultura ya que nos hace maximizar la tierra, ver un panorama real de nuestra finca”  (ganadero, 2023).

Él nos dice que con este tipo de herramientas se puede pasar de una explotación ganadera extensiva a una intensiva. De esta manera la tierra se vuelve más rentable, el suelo se puede aprovechar y dividir mejor. Se usa para la ganadería, pero no es algo muy alejado para la división de los terrenos.

Por lo tanto, el uso de drones equipados con sensores y cámaras hace años sería una locura, pero hoy se tiene en bandeja de plata ya que existen con sensores avanzados, cámaras infrarrojas y demás sistemas como los LIDAR esto nos permite recoger datos de manera veloz en comparación a la manera tradicional.

Además, las investigaciones académicas demuestran que los drones han revolucionado las prácticas agrícolas tradicionales. (Abderahman Rejeb a, 2022) explican que "estos dispositivos permiten la recopilación de datos geoespaciales de alta resolución que facilitan la implementación de estrategias de manejo diferenciado de cultivos" (p. 58).

Por otra parte, la adopción tecnológica en agricultura enfrenta barreras significativas. Como señalan (George N. Curry S. N., 2021):

La baja tasa de adopción tecnológica ha sido durante mucho tiempo una limitación clave para mejorar la productividad, ingresos y rendimientos en la agricultura, particularmente en países en desarrollo donde los sistemas de producción basados en el mercado no están bien desarrollados (p. 142).

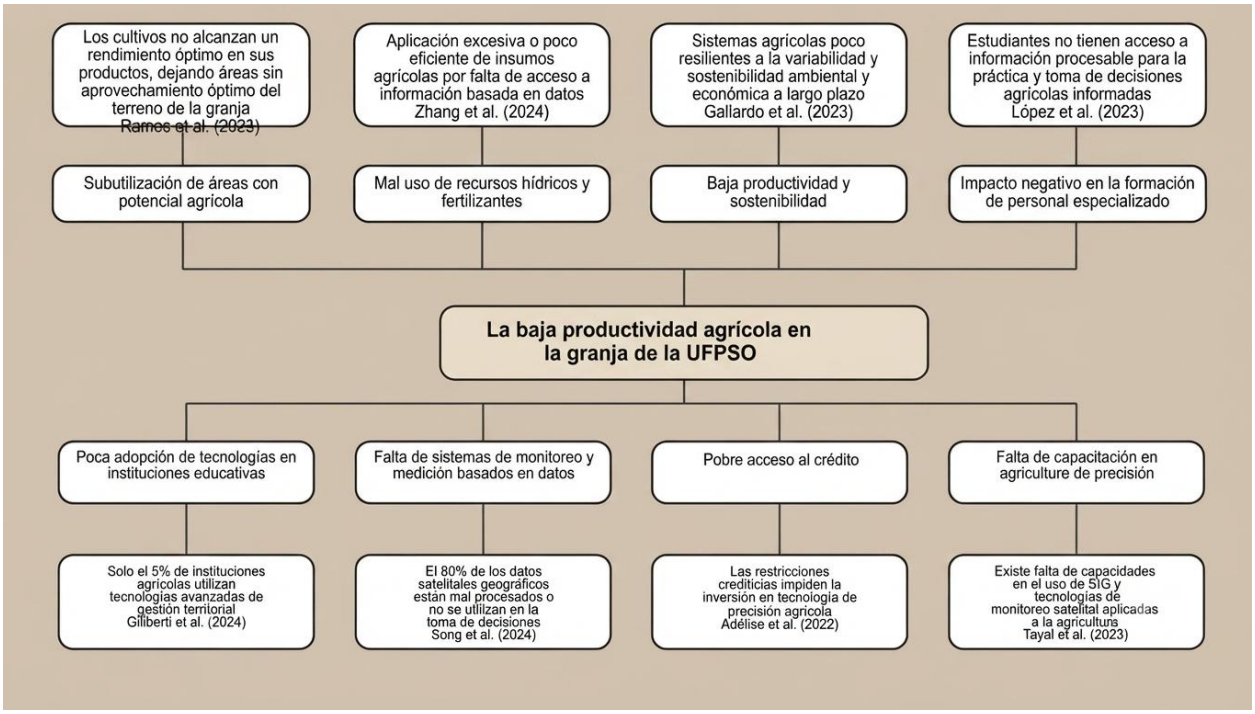
El proyecto propone una alternativa que combina el uso de drones e inteligencia artificial para abordar eficazmente este problema. Se busca obtener un reconocimiento detallado del terreno, lo que nos permitirá identificar de manera precisa las áreas de mayor relevancia. Lo que nos proporcionará una visión más clara y efectiva del entorno para mejorar nuestras estrategias.

En el artículo se destaca el potencial del mapeo mediante drones para optimizar la gestión agrícola en diferentes terrenos. En el caso de la Granja de la UFPS Ocaña, la tecnología de mapeo puede ser crucial para identificar áreas de pasto subutilizado o en mal estado, contribuyendo a la implementación de técnicas de mejora (V, 2019).

La población objetivo del proyecto se le tiene como base a los agricultores, administradores y a estudiantes de la Granja de la UFPSO que les llama la atención cómo la tecnología puede optimizar las labores agrícolas también el hecho de promover un desarrollo más eficiente. La región de estudio presenta condiciones climáticas y geográficas que en muchos casos limitan la productividad agrícola, lo que hace esencial la implementación de soluciones innovadoras. Busco facilitar el trabajo diario y mejorar la capacidad de respuesta ante estos desafíos, contribuyendo así a un entorno más adaptable a las condiciones específicas de la zona.

**Figura 1**

*Árbol de problemas.*




Fuente: Elaboración Propia.

Basándonos en el árbol de problemas podemos decir que la baja productividad agrícola es una de las consecuencias más notorias de los métodos antiguos, estos representan una desviación frente a los sistemas modernos que buscan mejorar el rendimiento con un menor consumo de recursos como nos lo indica (Agriculture, 2023). Esto lo que genera es un desperdicio de recursos económicos, debido a que que el costo anual de la erosión del suelo se estima en alrededor de 44 mil millones de dólares, reflejando un impacto directo sobre la sostenibilidad del (Faggella, 2017). Igualmente, el uso ineficiente del agua y los fertilizantes se traduce en un gasto innecesario, debido a la aplicación excesiva de insumos en la agricultura tradicional (Sadowski, 2024). A esto se suma la degradación del suelo, ocasionada por prácticas que no consideran las variaciones espaciales ni temporales, lo que contribuye a una pérdida acelerada de su fertilidad.

Estos efectos directos conllevan también efectos secundarios como la siembra de cultivos en áreas inadecuadas. Estudios han demostrado que la implementación de técnicas modernas de medición puede aumentar la rentabilidad hasta en un 15%  (António Monteiro, 2021). Asimismo, la toma de decisiones sin datos precisos limita la capacidad de los agricultores para planificar y gestionar adecuadamente los recursos, mientras que la agricultura de precisión busca justamente recopilar y analizar información que oriente las prácticas productivas (Yuning Huang, 2023).

La raíz de estos problemas se sintetiza en el problema central, sabiendo que es el poco análisis del terreno para su correcta distribución. Mientras la agricultura de precisión propone identificar y medir variaciones geográficas y estacionales, la agricultura convencional suele desconocer estas diferencias, lo que conduce a decisiones ineficientes y a una menor productividad (Yuning Huang, 2023).

## 1.3 Objetivos

### *1.3.1 Objetivo general*

Implementar un sistema web integrado con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la optimización, distribución espacial del terreno en la Granja UFPSO mediante herramientas de análisis geoespacial que apoyen la toma de decisiones basada en datos georreferenciados.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

Analizar los requerimientos geoespaciales y funcionales del terreno de la Granja UFPSO, con el fin de identificar las variables críticas que afectan la distribución espacial y la productividad agrícola.

Desarrollar el sistema web con funcionalidades de SIG que incluyan herramientas para el análisis espacial, distribución del terreno y generación de reportes.

Evaluar la efectividad del sistema implementado mediante indicadores de usabilidad y precisión en el análisis geoespacial.

## 1.4 Justificación

El uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y los drones se ha consolidado como una tendencia relevante en distintos sectores productivos, incluyendo la agricultura es por eso que la combinación de estas tecnologías con Sistemas de Información Geográfica representa una oportunidad concreta para abordar el problema identificado en la Granja UFPSO: la ausencia de un análisis al terreno a trabajar que respalde la distribución y el manejo del terreno.

Es necesario diferenciar el problema de investigación de los beneficios esperados de la solución propuesta. Como se expuso en el planteamiento, consiste en la falta de un diagnóstico integral y actualizado del terreno de la granja, que actualmente impide tomar decisiones de distribución del suelo con base en información concreta. La solución no elimina por sí sola esta problemática, pero proporciona la infraestructura tecnológica necesaria para centralizar la información geoespacial, sistematizar su análisis y fundamentar la toma de decisiones, lo cual constituye un aporte directo y medible frente al problema planteado.

### *1.4.1 Beneficios esperados de la solución*

La implementación de un sistema con estas características ofrece ventajas concretas frente al manejo actual del terreno:

Permite el análisis detallado de las condiciones del terreno a partir de datos georreferenciados, lo cual facilita la planificación y optimización de recursos económicos y de tiempo en la gestión de la granja.

El uso de inteligencia artificial permite procesar grandes volúmenes de datos en tiempos reducidos, generando patrones de análisis que contribuyen a una toma de decisiones más precisa y a la disminución del margen de error asociado a la evaluación manual del terreno (Sharma & Shivandu, 2024).

La necesidad de este tipo de soluciones se enmarca en un contexto de creciente presión sobre los sistemas de producción agrícola, derivada del cambio climático y del crecimiento poblacional (Eissa, 2024) . Bajo estas condiciones, la agricultura de precisión y la agricultura inteligente se han posicionado como enfoques fundamentales para la producción sostenible, apoyándose en tecnologías de detección remota(Rejeb et al., 2022b).

### *1.4.2 Aporte al programa de Ingeniería de Sistemas*

Desde la perspectiva disciplinar, el proyecto representa un aporte al programa de Ingeniería de Sistemas al plantear el desarrollo de una solución que integra arquitecturas web (MVC, Laravel), procesamiento de imágenes mediante modelos de inteligencia artificial. Esto permite aplicar de manera práctica competencias propias del programa desarrollo de software, gestión de bases de datos, integración de servicios de IA en un caso de estudio real, lo que constituye una evidencia concreta de la pertinencia del programa frente a problemáticas interdisciplinares como la agricultura de precisión.

### *1.4.3 Aporte a la Universidad*

Para la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, el proyecto contribuye a atender una problemática institucional documentada previamente por (Rueda, s. f.) en relación con el uso y distribución del suelo en la sede Algodonal. La incorporación de una herramienta tecnológica orientada específicamente a la Granja Experimental representa un avance institucional concreto frente a una necesidad identificada desde hace más de una década, y sienta

una base técnica que puede ser extendida a otros espacios del campus con problemáticas similares.

### *1.4.4 Aporte al área de los Sistemas de Información Geográfica*

En el campo de los SIG, el proyecto aporta evidencia empírica sobre la viabilidad de sustituir infraestructuras tradicionales de análisis espacial (como GeoServer o PostGIS) por un enfoque basado en segmentación de imágenes mediante modelos de inteligencia artificial (SAM) combinado con generación de recomendaciones por medio de modelos de lenguaje. Este enfoque es coherente con estudios recientes que documentan la integración de UAV e inteligencia artificial como una tendencia emergente dentro de la agricultura de precisión (Bin Rashid et al., 2025), y contribuye a la literatura sobre implementaciones de bajo costo de análisis geoespacial en contextos educativos con recursos limitados.

### *1.4.5 Relevancia social*

La relevancia social del proyecto se sustenta en su alcance hacia distintos grupos de la comunidad universitaria de la UFPS Ocaña. Los principales beneficiados incluyen a los estudiantes de la facultad de ciencias agrícolas, debido a que será un aporte a el entender la tecnología y herramientas que facilitan su trabajo. A los administradores y trabajadores de la granja, quienes contarán con un instrumento de apoyo para la gestión del terreno; y la comunidad académica en general, que se beneficiará del conocimiento generado a partir de la implementación y evaluación del sistema.

Estudios recientes han documentado que la aplicación de drones e inteligencia artificial en la gestión de cultivos permite a los productores mejorar la eficiencia en el uso de insumos y anticipar riesgos asociados a las condiciones del terreno (Rejeb et al., 2022c). En esta línea, sistemas basados en UAV e inteligencia artificial han mostrado efectividad en tareas de detección y tratamiento de problemas fitosanitarios en cultivos orgánicos, mejorando la eficiencia operativa (Catala-Roman et al., 2024).

### *1.4.6 Valor teórico*

El valor teórico de esta investigación radica en su aporte al conocimiento sobre agricultura de precisión y la aplicación de tecnologías emergentes en sistemas agrícolas educativos. El proyecto explora la integración de UAV con inteligencia artificial en el contexto específico de una institución universitaria, lo que contribuye a la comprensión de la eficiencia de recursos en agricultura y a la relevancia de la toma de decisiones basada en datos en entornos educativos.

La implementación de un sistema web con SIG para el análisis del terreno en la Granja UFPSO constituye una solución pertinente frente a las necesidades identificadas en el planteamiento del problema, con un aporte diferenciado hacia el programa de Ingeniería de Sistemas, la Universidad y el área de los Sistemas de Información Geográfica.

## 1.5 Delimitaciones

### *1.5.1 Delimitación Geográfica.*

El estudio se desarrolla en la Granja Experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), ubicada en la margen derecha del río Algodonal dentro del campus universitario, con una extensión aproximada de 135 hectáreas. La investigación se concentra en sectores específicos de la granja, previamente identificados como prioritarios por su interés agrícola o pecuario, lo que permite validar la metodología propuesta en áreas controladas antes de contemplar su extensión a otros sectores del terreno con condiciones más complejas.

### *1.5.2 Delimitación Temporal.*

El proyecto se desarrolló entre el primer y el segundo semestre académico de 2026, iniciando en febrero de 2026 conforme a las fases planificadas en el cronograma de actividades presentado en el Capítulo 3 (análisis y levantamiento de información geoespacial, diseño de la arquitectura del sistema, desarrollo e integración de módulos, y evaluación del sistema implementado), y extendiéndose hasta julio de 2026 para la culminación de las pruebas piloto, la evaluación con usuarios reales y la documentación final del proyecto. Este marco temporal ampliado permitió, además de la implementación planificada inicialmente, una fase adicional de ajustes y validación del sistema en condiciones reales de uso en la Granja UFPSO.

### *1.5.3 Delimitación Conceptual*

El alcance conceptual del proyecto se limita al desarrollo de un sistema web con funcionalidades de análisis geoespacial (SIG), bajo arquitectura MVC, orientado específicamente a la distribución y optimización del terreno de la Granja UFPSO. Quedan fuera del alcance conceptual: la implementación de infraestructura SIG tradicional de servidor (GeoServer, PostGIS), el diseño o fabricación de hardware de drones o sensores, y el entrenamiento de modelos propios de inteligencia artificial, dado que el sistema se apoya en herramientas de IA ya existentes (SAM de Meta y el asistente Claude) para el procesamiento e interpretación de las imágenes del terreno.

### *1.5.4 Delimitación Operativa*

El desarrollo del proyecto utiliza los siguientes recursos: un entorno de desarrollo local configurado mediante XAMPP (Apache y MySQL), el framework Laravel, la biblioteca Leaflet para visualización cartográfica, el selector de ubicación de Google Places/Maps, y las herramientas de inteligencia artificial SAM y el asistente Claude.

El alcance real del proyecto se limita al desarrollo y validación funcional del sistema en un entorno de pruebas local, sin despliegue en un servidor de producción durante esta fase. La ejecución del proyecto está condicionada por restricciones técnicas disponibilidad de equipos de captura de imágenes, condiciones climáticas de la zona y autonomía de los equipos y por restricciones institucionales, entre ellas la necesidad de establecer protocolos de seguridad y obtener los permisos de vuelo correspondientes ante la institución para el uso de drones dentro del campus.

Finalmente, la precisión de las recomendaciones generadas por el sistema depende de la calidad de las imágenes capturadas y de la información disponible en la base de conocimiento externa (Comet), por lo que el sistema no sustituye el criterio técnico del agrónomo o del administrador de la granja, sino que constituye una herramienta de apoyo a la decisión.

# Capítulo 2. Marco referencial

## 2.1 Marco Histórico

### *2.1.1 Nivel internacional*

La agricultura de precisión empezó a pegar fuerte por allá en los años 90. En ese entonces, gracias al GPS y a los sistemas de información geográfica, los agricultores pudieron empezar a controlar sus cultivos de una forma mucho más pro, basándose en datos reales del suelo para no desperdiciar insumos (Radoglou-Grammatikis et al., 2020). Después de esto, la tecnología no paró de crecer y, hoy por hoy, los drones han cambiado el juego por completo. A través de estos aparatos, se consiguen imágenes increíbles y datos súper específicos que sirven para vigilar cada planta, pillar cualquier problema antes de que pase a mayores y decidir con mucha más puntería qué hacer en la finca (Rejeb et al., 2022d)

Por otra parte, muchísima gente que sabe del tema asegura que los drones ya son piezas fundamentales en este mundo. Esto es porque mezclan sensores de última generación e inteligencia artificial para armar mapas que te dicen clarito qué está pasando en el terreno (Radoglou-Grammatikis et al., 2020; Rejeb et al., 2022d). Además, la cosa se pone aún mejor con las nuevas plataformas web y los servicios en la nube. De este modo, se pueden juntar todos los datos geográficos y modelos de análisis en un solo lugar para facilitarle la vida a quienes trabajan la tierra (Rejeb et al., 2022c)

### *2.1.2 A nivel nacional*

En Colombia, la agricultura de precisión se ha introducido principalmente mediante proyectos de investigación y pilotos que combinan teledetección, SIG y sensores para cultivos estratégicos. (Ávila-Vélez et al., 2026), desarrollaron bibliotecas de firmas espectrales de cultivos en Cundinamarca, con el objetivo de adaptar la teledetección a las condiciones locales y reducir la brecha tecnológica frente a contextos templados; sus resultados evidencian que la falta de información calibrada a condiciones locales ha sido un obstáculo importante para implementar prácticas de agricultura de precisión en el país.

De forma complementaria, (Pérez-Ortega et al., 2021), propusieron un sistema para estimar el estrés hídrico en cultivos de aguacate Hass mediante la combinación de sensores y modelos orientados al agricultor, cuyos resultados destacan tanto los beneficios productivos como las barreras de costo que enfrentan los pequeños productores para adoptar este tipo de tecnología. Asimismo, (Medina et al., 2024), desarrollaron flujos de trabajo basados en SIG y sistemas web y móviles para la fertilización de tasa variable en cultivos de caña de azúcar, integrando bases de datos geográficas y herramientas de prescripción de insumos, lo que demuestra la viabilidad metodológica de soluciones geoespaciales aplicadas al contexto agrícola colombiano.

### *2.1.3 A nivel regional*

A la fecha de esta investigación, no se identificaron estudios previos sobre agricultura de precisión, uso de UAV o desarrollo de sistemas web-SIG ejecutados específicamente en Ocaña, en el departamento de Norte de Santander o en la Granja Experimental de la UFPSO. Ante esta ausencia de antecedentes directos, se recurrió a experiencias desarrolladas en contextos agropecuarios andinos comparables, que comparten condiciones similares de topografía compleja y de necesidad de caracterización detallada del terreno, con el fin de sustentar la pertinencia metodológica del proyecto.

En este sentido, (Navia et al., 2016),demostraron la viabilidad de emplear UAV para producir imágenes georreferenciadas de alta resolución que apoyan decisiones de manejo agrícola a escala predial en contextos andinos, resultado que resulta transferible a granjas universitarias como la de la UFPSO. De manera complementaria, (Rodríguez et al., 2021), diseñaron un sistema de agricultura inteligente para fincas cafeteras colombianas que integra sensores IoT, comunicaciones y una arquitectura de análisis de datos para apoyar decisiones relacionadas con el cultivo, evidenciando la adaptabilidad de las tecnologías digitales a explotaciones agropecuarias de pequeña y mediana escala en el país.

### *2.1.4 Análisis de los antecedentes frente a la investigación propuesta*

Los antecedentes nos dan una trayectoria progresiva de incorporación de UAV, SIG e inteligencia artificial a la gestión agrícola, tanto a nivel internacional como nacional. Sin embargo, se ve que esta aún no se ha trabajado en la región de Ocaña ni en la Granja de la

UFPSO, donde continúa ausente una herramienta que centralice el análisis del terreno. Esta brecha respalda la pertinencia de desarrollar, en el contexto específico de la Granja UFPSO, un sistema web integrado que retome los aprendizajes metodológicos de las experiencias nacionales e internacionales revisadas particularmente en cuanto al uso de drones para la captura de datos y a la integración de plataformas web para la gestión de dicha información y los adapte a las condiciones y necesidades propias de la institución.

## 2.2 Marco contextual

### *2.2.1 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) es una institución de educación superior de carácter público, creada mediante el Acuerdo N.º 003 del 18 de julio de 1974 por el Consejo Superior de la Universidad Francisco de Paula Santander, con sede principal en Cúcuta. La UFPSO se consolidó como la primera institución de educación superior oficial de la subregión del Catatumbo, en el nororiente colombiano, cumpliendo un papel central en la formación de profesionales para la región de Ocaña y Norte de Santander.

Actualmente, la UFPSO ofrece diez programas de pregrado distribuidos en distintas facultades, entre ellas la Facultad de Ingeniería de la cual hace parte el programa de Ingeniería de Sistemas, en el que se enmarca este proyecto y la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, encargada de la formación en áreas agropecuarias y responsable, junto con otros programas afines, del uso académico de la Granja Experimental.

### *2.2.2 Granja Experimental UFPSO*

La Granja Experimental de la UFPSO es el escenario físico e institucional en el que se desarrolla este proyecto. Cuenta con una extensión aproximada de 135 hectáreas, ubicada en la margen derecha del río Algodonal dentro del campus universitario, a una altitud de 1150 msnm, con una temperatura promedio de 23°C y una humedad relativa del 70%.

Su finalidad académica es servir como espacio de práctica, investigación y formación aplicada para estudiantes y docentes de programas con componente agropecuario, así como para estudiantes de otras disciplinas como Ingeniería de Sistemas que desarrollan proyectos tecnológicos en un entorno agrícola real. En este espacio se puede trabajar simultáneamente distintos proyectos productivos (pecuarios, agrícolas y de investigación), manejados a lo largo del tiempo por diferentes grupos de estudiantes, docentes y el administrador operativo de la granja.

En cuanto a su infraestructura, la granja no cuenta actualmente con un sistema centralizado de información geoespacial ni con herramientas digitales que permitan consultar, en un solo lugar, el estado, la ubicación y el histórico de uso de sus distintos sectores.

Los usuarios que harán uso del sistema propuesto corresponden a tres perfiles principales, coherentes con la población definida en el diseño metodológico: el administrador o responsable operativo de la granja, encargado de la gestión diaria del terreno; los docentes de programas con

componente agropecuario, quienes emplean la granja con fines pedagógicos y de investigación; y los estudiantes vinculados a la granja, tanto de ciencias agrícolas como de ingeniería, quienes participan en actividades académicas y proyectos de grado desarrollados en este espacio.

### *2.2.3 Pertinencia del sistema propuesto en el contexto institucional*

Las características de la Granja y su extensión considerable, la diversidad de proyectos productivos que maneja, la rotación constante de estudiantes a cargo de su gestión y la ausencia de una plataforma que centralice la información del terreno configuran un escenario en el que la implementación de un sistema web con Sistemas de Información Geográfica resulta pertinente y necesaria. La naturaleza multipropósito de la granja, sumada a la falta de continuidad institucional en el registro de la información, refuerza la necesidad de una herramienta tecnológica que permita consolidar el conocimiento generado sobre el terreno a lo largo del tiempo, y que esté disponible tanto para la administración operativa de la granja como para la comunidad académica que la utiliza.

## 2.3 Marco conceptual

La agricultura de precisión se entiende como un enfoque de manejo agrícola que busca mejorar los rendimientos y optimizar el uso de recursos mediante el empleo de tecnologías de medición, sensores y herramientas de análisis que permiten tomar decisiones específicas para cada sitio dentro del lote (Huang et al., 2023). Este enfoque se centra en estudiar y gestionar la variabilidad espacial y temporal del campo, aplicando insumos como agua, fertilizantes y

agroquímicos de manera diferenciada según las necesidades reales del cultivo, con el objetivo de aumentar la eficiencia económica y reducir el impacto ambiental (Zhang et al., 2002).

Un componente fundamental de la agricultura de precisión es el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), entendidos como sistemas computacionales diseñados para capturar, almacenar, gestionar, analizar y presentar datos georreferenciados, integrando capacidades de bases de datos con análisis espacial y visualización cartográfica (Fletcher, 2003). En el contexto agrícola, los SIG permiten generar mapas de suelos, de rendimiento y de prescripción de insumos, así como modelar relaciones espaciales entre variables climáticas, edáficas y de manejo, lo que facilita la definición de zonas de manejo dentro de los lotes y la planificación de la distribución del terreno (Neményi et al., 2003)

Los vehículos aéreos no tripulados se definen como aeronaves sin piloto a bordo que pueden ser controladas de forma remota o volar de manera autónoma mediante sistemas de navegación y control embarcados, incorporando sensores como cámaras RGB, multiespectrales o LiDAR para la adquisición de información del entorno (Tan et al., 2024; Zhang et al., 2002). En aplicaciones agrícolas, los UAV se emplean para el análisis del estado de los cultivos, la estimación de biomasa, la evaluación de estrés hídrico y la generación de productos cartográficos de alta resolución, constituyéndose en una herramienta clave para la agricultura de precisión al complementar la información obtenida por sensores de campo y satélites (Rejeb et al., 2022c).

## 2.4 Marco teórico

### *2.4.1 Agricultura de precisión*

La agricultura de precisión se basa en que el suelo y los cultivos presentan variabilidad espacial y temporal dentro de un mismo lote, entonces su manejo no debe ser homogéneo, sino diferenciado según las condiciones particulares de cada sector (Phang et al., 2023). Este enfoque se apoya en varias tecnologías como sensores, SIG, modelos de datos y analítica avanzada que permiten observar y gestionar dicha variabilidad (Rejeb et al., 2022d). Desde un punto de vista teórico, la agricultura de precisión se ve como un marco integrador que une distintas capas: adquisición de datos en campo, integración geoespacial, modelado y generación de recomendaciones, orientadas a mejorar la productividad, la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos.

Para el proyecto desarrollado en la Granja UFPSO, este marco teórico sustenta la necesidad de tratar cada sector del terreno de manera diferenciada, en lugar de aplicar decisiones de siembra y manejo de forma uniforme, lo cual constituye la base conceptual del sistema propuesto.

### *2.4.2 Sistemas de Información Geográfica*

Los Sistemas de Información Geográfica se definen como sistemas computacionales diseñados para capturar, almacenar, gestionar, analizar y presentar datos georreferenciados esto

integrando capacidades de bases de datos con análisis espacial y visualización cartográfica (Fletcher, 2003). Los SIG permiten generar mapas de suelos y de prescripción de insumos, así como crear relaciones espaciales entre variables climáticas y de manejo, facilitando la definición de zonas de manejo dentro de los lotes (Neményi et al., 2003).

En el desarrollo de este proyecto, la función tradicionalmente cumplida por un SIG de escritorio o de servidor se resuelve mediante un enfoque alternativo basado en inteligencia artificial: la segmentación de imágenes con el modelo SAM sustituye el análisis vectorial/ráster convencional, mientras que la interpretación del asistente Claude cumple la función de generación de recomendaciones que normalmente realizaría un módulo de análisis espacial dentro de un SIG tradicional.

### *2.4.3 Sistemas Web*

Un sistema web es una aplicación de software accesible a través de un navegador. Para de desarrollo del aplicativo web se usó el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC) es uno de los enfoques arquitectónicos más utilizados para el desarrollo de este tipo de sistemas, ya que este permite organizar el código en tres componentes independientes (modelo, vista y controlador), facilitando su mantenimiento, escalabilidad y el trabajo colaborativo entre desarrolladores (Conallen, 1999). El framework Laravel implementa este patrón junto con capacidades adicionales como el mapeo objeto-relacional (ORM) y el sistema de migraciones para el control de versiones de la base de datos.

### *2.4.4 Inteligencia Artificial llevada a la agricultura*

Su uso en la agricultura ha permitido mejorar el monitoreo y la gestión de cultivos mediante el procesamiento de grandes volúmenes de datos, generando patrones que orientan la toma de decisiones y reducen el margen de error asociado a la evaluación manual del terreno (Sharma & Shivandu, 2024). El Segment Anything Model (SAM), desarrollado por Meta AI, es un modelo fundacional de segmentación entrenado sobre más de mil millones de máscaras en once millones de imágenes, capaz de identificar y delimitar regiones de interés en una imagen a partir de un punto, un cuadro o una máscara de referencia, sin necesidad de reentrenamiento adicional (Kirillov et al., 2023).

Los modelos de lenguaje de gran escala pueden emplearse como capa de interpretación sobre los resultados de dichos modelos de segmentación, generando recomendaciones textuales fundamentadas en información técnica específica. Este principio es el que sustenta el flujo de segmentación (SAM) e interpretación (asistente Claude) implementado en el módulo de análisis geoespacial inteligente del sistema.

### *2.4.5 Drones y agricultura*

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se definen como aeronaves sin piloto a bordo, controladas de forma remota o mediante sistemas de navegación autónomos, equipadas con sensores como cámaras RGB, multiespectrales o LiDAR para la adquisición de información del entorno (Forsgren et al., 2021; Sperandio et al., 2025). En aplicaciones agrícolas, los UAV se

emplean para el análisis del estado de los cultivos, la estimación de biomasa, la evaluación de estrés hídrico y la generación de productos cartográficos de alta resolución mediante teledetección, complementando la información obtenida por sensores de campo y satélites (Rejeb et al., 2022d).

El principio técnico que permite a los UAV capturar las imágenes que posteriormente son procesadas por los módulos de segmentación e interpretación del sistema. En el contexto de este proyecto, la planificación de vuelos de drones descrita en el Capítulo 4 se fundamenta en los principios estándar de fotogrametría aérea aplicados a agricultura de precisión.

### *2.4.6 Arquitecturas Web-GIS*

Las arquitecturas Web-GIS integran los principios de los SIG con las tecnologías propias del desarrollo web, permitiendo distribuir información geográfica y capacidades de análisis espacial a través de internet. Estas arquitecturas suelen estructurarse en un modelo cliente-servidor, en el que el servidor almacena y procesa los datos geoespaciales frecuentemente en bases de datos geoespaciales como PostGIS mientras que el cliente, ejecutado en el navegador, se encarga de la visualización y la interacción del usuario con los mapas (Agrawal & Gupta, 2017)

## 2.5 Marco legal

### *2.5.1 Ley 1581 de 2012*

El sistema desarrollado almacena datos personales de los usuarios registrados, tal como se describe en el módulo de gestión de usuarios (Ley 1581 de 2012). En consecuencia, el sistema debe cumplir con los principios establecidos en esta ley, particularmente en cuanto a la finalidad del tratamiento (limitado a la gestión administrativa y operativa de la granja), la seguridad de la información almacenada en la base de datos MySQL, y la posibilidad de que los titulares soliciten la actualización o eliminación de sus datos, funcionalidad que ya está contemplada en el módulo CRUD de usuarios del sistema.

### *2.5.2 Decreto 1377 de 2013*

El Decreto 1377 de 2013, reglamentó parcialmente la Ley 1581 de 2012, estableciendo los requisitos mínimos para las políticas de tratamiento de datos personales, los procedimientos de autorización del titular y los mecanismos para el ejercicio de los derechos de habeas data. Este decreto orienta la necesidad de que la UFPSO ( Ley 1581 de 2012, 2013), como responsable del tratamiento de los datos capturados por el sistema, defina una política de tratamiento de datos personales para la Granja UFPSO, y que el registro de nuevos usuarios en el sistema incorpore un mecanismo de autorización informada, actualmente no contemplado explícitamente en el diseño del módulo de usuarios, lo que representa una recomendación de mejora derivada de este marco legal.

### *2.5.3 Resolución 04201 de 2018 (Aeronáutica Civil de Colombia)*

Esta resolución es directamente aplicable a la fase de captura de imágenes aéreas del terreno mediante drones. Los requisitos de registro del equipo y, según el peso y las características del dron empleado, a los requisitos de autorización de vuelo ante la Aerocivil, así como a las restricciones operativas correspondientes (altura máxima de vuelo, condiciones diurnas, etc), (Resolución 04201, 2018). Este marco legal sustenta directamente la delimitación operativa del proyecto, en la cual se señaló la necesidad de establecer protocolos de seguridad y obtener los permisos de vuelo correspondientes ante la institución.

### *2.5.4 Ley 23 de 1982*

El Congreso de la República de Colombia mediante la Ley 23 de 1982, (Ley 23 de 1982, 1982)estableció el régimen general de derechos de autor en Colombia, reconociendo la protección legal sobre las obras del ingenio, categoría dentro de la cual se incluye posteriormente el software, de acuerdo con desarrollos normativos complementarios como la Decisión Andina 351 de 1993.

Se respalda la titularidad de los derechos de autor del sistema web desarrollado como resultado de este trabajo de grado. Segundo, obliga a que el uso de herramientas y bibliotecas de terceros integradas en el sistema (Laravel, Bootstrap, DataTables, Leaflet, el modelo SAM de Meta y el

asistente Claude de Anthropic) se realice respetando las licencias de uso bajo las cuales dichas herramientas son distribuidas.

### *2.5.5 Síntesis del marco legal aplicable*

En conjunto, las disposiciones normativas revisadas configuran un marco jurídico que el sistema web con SIG desarrollado para la Granja UFPSO debe observar en dos frentes principales: la protección de los datos personales de los usuarios y de terceros que puedan aparecer incidentalmente en las evidencias fotográficas capturadas (Constitución Política, Ley 1581 de 2012, Decreto 1377 de 2013), y el cumplimiento de la normativa aeronáutica para la operación de drones dentro del campus universitario (Resolución 04201 de 2018). El cumplimiento de este marco legal no solo es una obligación normativa, sino que constituye un elemento de diseño responsable del sistema, en línea con los principios de transparencia y gobernanza de datos que deben regir el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas a la agricultura.

# Capítulo 3. Diseño metodológico

## 3.1 Enfoque y tipo de investigación

El proyecto adopta un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo y aplicado, dado que se orienta a diseñar, desarrollar y evaluar un sistema web integrado con SIG para optimizar la distribución espacial del terreno en la Granja UFPSO a partir de datos georreferenciados. El alcance descriptivo permite caracterizar las variables geoespaciales del terreno, tal como se presentan en la realidad, sin manipularlas, mientras que el carácter aplicado orienta la investigación hacia la producción de un artefacto tecnológico funcional que resuelva un problema concreto, más que hacia la generación de conocimiento puramente teórico (Hernández Sampieri et al., 2010).

La investigación se enmarca, adicionalmente, en un diseño de tipo proyecto tecnológico, coherente con estudios en los que se desarrollan sistemas web-GIS interactivos para el monitoreo y la gestión de sistemas agrícolas, estructurando la metodología en etapas de análisis de requerimientos, diseño de arquitectura, implementación de módulos y validación en un caso de estudio real (Kumar K & Babu Db, 2016)

### *3.1.1 Justificación de la selección del enfoque*

La elección de un enfoque cuantitativo, descriptivo y aplicado responde directamente a la naturaleza del problema planteado en la Granja UFPSO y a los objetivos definidos para este

proyecto. El problema identificado la ausencia de un diagnóstico integral del terreno y de herramientas que permitan su análisis sistemático exige, en primer lugar, caracterizar de manera objetiva y medible el estado actual del terreno (variables geoespaciales, patrones de distribución, indicadores de usabilidad y precisión), lo cual es propio de un alcance descriptivo. En segundo lugar, dado que el objetivo general del proyecto no se limita a diagnosticar el problema sino a implementar una solución tecnológica concreta un sistema web con SIG, el carácter aplicado del enfoque resulta el más adecuado, en la medida en que subordina la generación de conocimiento al desarrollo de un producto funcional evaluable en condiciones reales de uso.

### *3.1.2 Implicaciones metodológicas del enfoque seleccionado*

La adopción de este enfoque orienta de manera directa las tres fases centrales del proceso investigativo:

En cuanto a la recolección de información, el alcance descriptivo exige el uso de instrumentos que permitan registrar de forma sistemática y verificable las características del terreno y la percepción de los usuarios, la lista de chequeo funcional, el juicio de expertos y la encuesta tipo formulario. Estos instrumentos están diseñados para producir datos susceptibles de tratamiento estadístico, coherentes con la naturaleza cuantitativa del enfoque.

En cuanto al desarrollo de la solución tecnológica, el carácter de proyecto tecnológico y aplicado implica que cada fase metodológica (análisis, diseño, desarrollo y evaluación) se traduce directamente en un componente verificable del sistema, los requerimientos geoespaciales

levantados en la Fase 1 se materializan en el módulo de evidencias y en la planificación de vuelos; la arquitectura diseñada en la Fase 2 se traduce en la estructura MVC bajo Laravel; y los indicadores de evaluación definidos en la Fase 4 permiten medir, con criterios cuantificables, si el sistema desarrollado responde efectivamente al problema planteado en la Granja UFPSO.

## 3.2 Método general

El método se organiza en cuatro fases principales:

1. Análisis y levantamiento de información geoespacial.
2. Diseño de la arquitectura del sistema web-sig.
3. Desarrollo e integración de módulos.
4. Evaluación del sistema en la granja ufpso.

Esta estructura metodológica es consistente con estudios que desarrollan sistemas web-GIS para monitoreo de cultivos, donde se parte de la recopilación de capas temáticas, se define una arquitectura cliente-servidor y se valida la utilidad del sistema con usuarios finales.

### *3.2.1 Fase 1: Análisis y levantamiento de información*

En esta fase se realiza la revisión documental sobre agricultura de precisión, SIG, UAV e IA aplicados a la gestión de terrenos agrícolas, siguiendo estrategias similares a las utilizadas en revisiones metodológicas de web-GIS para agricultura de precisión. De esta manera se lleva a

cabo el levantamiento de información en la Granja UFPSO, que incluye: recopilación de planos existentes, delimitación de parcelas, obtención de datos topográficos y, cuando sea posible, captura de imágenes aéreas mediante drones para generar capas de información espacial.
Con la información recolectada se definen las variables geoespaciales mas importantes a trabajar (pendiente, uso actual del suelo, áreas subutilizadas, etc.) y los requerimientos funcionales del sistema, según (Rodríguez et al., 2021) se deben llevar estos pasos de especificación de requerimientos utilizados en sistemas inteligentes de agricultura como IoT-Agro, donde se identifican claramente las variables a monitorear y los servicios que debe ofrecer la plataforma.

### *3.2.2 Fase 2: Diseño de la arquitectura del sistema web-SIG*

En esta fase se diseña la arquitectura del sistema, considerando una estructura en capas que incluya:

- Capa de datos geoespaciales (almacenamiento de capas vectoriales y ráster).
- Capa de servicios sig.
- Capa de aplicación web.
- Y capa de presentación.

Este enfoque por capas es coherente con las arquitecturas de web-GIS para monitoreo agrícola y con los marcos propuestos para sistemas de agricultura inteligente basados en IoT.

### *3.2.3 Fase 3: Desarrollo e integración*

En esta fase se realiza la implementación del sistema web-SIG, siguiendo metodologías de desarrollo iterativo utilizadas en proyectos de web-GIS, en los que se construyen y prueban progresivamente los componentes de servidor, servicios de mapas y la interfaz web (Kumar K & Babu Db, 2016). Las actividades incluyen:

- Configuración del gestor de base de datos espacial,
- Carga y estructuración de las capas geográficas de la granja ufpso,
- Publicación de servicios de mapas y de análisis,
- Desarrollo de las interfaces web para consulta, análisis y generación de reportes.

Durante la implementación se integran los datos geoespaciales levantados en la fase 1, siguiendo prácticas descritas en sistemas de monitoreo web-GIS para cultivos donde se combinan capas de uso de suelo, índices de vegetación y datos de campo.

### *3.2.4 Fase 4: Evaluación del sistema*

La evaluación del sistema se hará a través de pruebas de funcionamiento y con personas reales; en primer lugar, se revisará que todo marche bien, desde que los mapas se vean claro hasta que los reportes y consultas espaciales no fallen. En segundo lugar, se medirá qué tan fácil y útil les parece el sistema al personal de la granja, estudiantes y jefes de la Granja UFPSO esto yendo a el lugar de trabajo, tal como se ha hecho en otros estudios sobre tecnología en fincas de

Colombia(Rodríguez et al., 2021). De este modo, los resultados nos dirán qué está funcionando de bien y ver lo que se debe pulir, para que este sistema web con mapas sea la herramienta ideal para organizar mejor cada terreno en la universidad.

## 3.3 Población y muestra

### *3.3.1 Población*

La población del estudio está conformada por la totalidad de personas que interactúan de manera directa con la Granja Experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) en calidad de gestores, formadores o usuarios académicos del espacio. Esta población incluye tres perfiles diferenciados:

- **Personal administrativo y operativo de la granja**, responsable de la gestión diaria del terreno, los implementos y los procesos productivos.
- **Docentes de programas con componente agropecuario** (principalmente de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente), quienes emplean la granja como espacio de práctica, investigación y formación aplicada.
- **Estudiantes vinculados a la granja**, tanto de programas agropecuarios como de Ingeniería de Sistemas, que desarrollan actividades académicas, prácticas o proyectos de grado en dicho espacio.

Esta definición es coherente con investigaciones sobre sistemas web-GIS, en las que la población se entiende como el conjunto de usuarios potenciales del sistema (Sharma &

Shivandu, 2024). Dado que la Granja UFPSO no cuenta con un censo actualizado y centralizado del total de personas vinculadas a sus actividades en un momento dado, lo que nos genera una consecuencia directa de la dispersión de información documentada en el planteamiento del problema, no fue posible determinar con exactitud el tamaño total de la población, por lo que esta se define de manera cualitativa según los tres perfiles descritos.

### *3.3.2 Muestra*

Se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, en el cual la selección de los participantes no depende de la probabilidad, sino del criterio del investigador y de la disponibilidad y pertinencia de las personas respecto al objeto de estudio. Este tipo de muestreo es adecuado cuando la investigación no busca generalizar estadísticamente los resultados a toda la población, sino obtener información en profundidad de los usuarios más representativos y mejor posicionados para evaluar la funcionalidad y utilidad del sistema desarrollado.

Se consideraron elegibles para participar en la validación del sistema las personas que cumplieran con al menos uno de los siguientes criterios:

- Desempeñar funciones administrativas u operativas activas en la Granja UFPSO al momento de la evaluación
- Ser docente vinculado a un programa con componente agropecuario que utilice la granja como espacio de práctica o investigación;

- Ser estudiante activo, de cualquier semestre, vinculado formalmente a actividades académicas o proyectos de grado desarrollados en la granja.

Se excluyeron personas sin relación directa o activa con la Granja UFPSO al momento del estudio, así como estudiantes o docentes que, aunque pertenecientes a programas agropecuarios o de ingeniería, no hubiesen tenido interacción previa con las actividades o el terreno de la granja.

**Composición y tamaño de la muestra.**

**Tabla 1.**

*Población y muestra. Autor propio*

| Tipo de participante | Cantidad estimada | Rol principal |
|---|---|---|
| **Administrador o responsable operativo** | 1 | Validación de la funcionalidad operativa, gestión del terreno y precisión administrativa de la granja. |
| **Docentes de áreas afines** | 2 – 3 | Evaluación de la utilidad académica, pertinencia de los modelos de análisis y uso como herramienta pedagógica. |
| **Estudiantes vinculados (Agricultura/Sistemas)** | 5 – 10 | Pruebas de usabilidad, facilidad de navegación e interpretación de la información geoespacial. |
| **Total estimado** | 8 – 14 personas | Fuente de información primaria para la |

| | |
|---|---|
| | validación funcional y de usabilidad del sistema Web-GIS. |

Nota: Autor propio, tabla de la muestra realizada para el proyecto.

# Capítulo 4. Resultados

## 4.1 Analizar los requerimientos geoespaciales y funcionales del terreno de la Granja UFPSO, con el fin de identificar las variables críticas que afectan la distribución espacial y la productividad agrícola.

### *4.1.1 Levantamiento y caracterización de la información geoespacial del terreno*

Como primer paso de esta fase, se realizó una revisión documental sobre la Granja Experimental de la UFPSO con el fin de establecer un punto de partida para la caracterización espacial del terreno. De acuerdo con documentos institucionales, la Granja Experimental UFPSO se ubica en la margen derecha del río Algodonal dentro del campus universitario, a una altura de 1150 msnm, con una temperatura promedio de 23°C, una humedad relativa del 70% y una extensión de 135 hectáreas. Esta información es coherente con lo reportado en estudios sobre unidades productivas específicas dentro de la granja, donde se señala que uno de los sistemas de producción (caprino) se encuentra ubicado vía Acolsure sobre el Algodonal, a una altura de 1220-1225 msnm, con precipitaciones anuales de 1000 mm.

Esta revisión permitió confirmar que la granja opera como un espacio multipropósito donde conviven distintos proyectos productivos (pecuarios, agrícolas y de investigación) gestionados por estudiantes, lo que evidencia la necesidad de contar con un sistema de información geográfica que centralice y organice esta información actualmente dispersa entre distintos trabajos de grado, informes y registros institucionales.

### *4.1.2 Planificación y configuración del vuelo de drones*

Para la planificación del vuelo se siguió una metodología estándar de fotogrametría aérea aplicada a agricultura de precisión, considerando los siguientes parámetros técnicos: altura de vuelo entre 80-120 m sobre el terreno (balance entre resolución espacial y cobertura), traslape del 75-80% frontal y 65-70% lateral este es estándar para reconstrucción fotogramétrica con software tipo Pix4D, DJI Terra o Agisoft Metashape, el patrón de vuelo en cuadrícula dividiendo el polígono de la granja en bloques más pequeños dada su extensión de 135 ha.

### *4.1.3 Búsqueda de información de vuelo para cobertura completa del terreno*

Para garantizar la cobertura completa de las zonas a trabajar, el terreno se dividió conceptualmente en sectores de vuelo más manejables, priorizando primero las zonas de mayor interés agrícola/pecuario identificadas previamente, y dejando para fases posteriores las áreas de difícil acceso (pendientes pronunciadas, vegetación densa, cercanía a construcciones). El número de vuelos necesarios se estima en función de la autonomía de batería del dron, la velocidad de vuelo y área cubierta por minuto, y las condiciones climáticas de la zona, que limitan las ventanas horarias.

## 4.2 Desarrollar el sistema web con funcionalidades de SIG que incluyan herramientas para el análisis espacial, distribución del terreno y generación de reportes

### *4.2.1 Definición de los componentes tecnológicos del sistema*

Para la definición de los componentes tecnológicos se adoptó el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC), implementado mediante el framework Laravel, dado que este permite separar responsabilidades entre la lógica de datos, la lógica de negocio y la presentación, facilitando el mantenimiento y la escalabilidad del sistema a medida que se incorporen nuevos módulos geoespaciales.

En el frontend se definieron los siguientes componentes: sistema de plantillas Blade de Laravel, Bootstrap 4 como framework CSS, jQuery para interactividad, DataTables para tablas con paginación y búsqueda, y SweetAlert2 para alertas y confirmaciones.

En el backend se estableció Laravel como framework PHP-MVC principal, complementado con módulos externos de inteligencia artificial (SAM de Meta y el asistente Claude) para el procesamiento de imágenes y generación de recomendaciones sobre el terreno. Para la base de datos se definió el uso de Eloquent ORM, migraciones para el control de versiones del esquema, y seeders para la carga de datos iniciales, todo esto sobre un motor MySQL gestionado a través de XAMPP en el entorno de desarrollo.

El sistema, en su mayoría, se estructura mediante módulos de tipo CRUD, ya que la granja maneja procesos administrativos generales más allá del terreno. Sin embargo, dentro del alcance de este proyecto solo se profundiza en el módulo de evidencias, por ser el componente que articula directamente la gestión territorial con el análisis geoespacial e inteligente del terreno.

### *4.2.2 Selección de tecnologías y herramientas SIG apropiadas*

Para el análisis espacial del terreno se seleccionó una combinación de herramientas de inteligencia artificial en lugar de un SIG tradicional de escritorio o servidor dedicado: el modelo **SAM** (Segment Anything Model) de Meta, utilizado para la segmentación automática de zonas de interés a partir de imágenes aéreas o de campo, y el asistente Claude IA, utilizado como capa de interpretación y generación de recomendaciones sobre el sector segmentado. Esta selección se justifica por permitir un análisis geoespacial asistido sin requerir la implementación de un servidor de mapas robusto (como GeoServer o PostGIS), aprovechando en cambio procesamiento de imágenes por IA y consulta a bases de datos externas de referencia técnica.

### *4.2.8 Configuración del entorno de desarrollo*

Para la configuración del entorno de desarrollo se instaló y configuró un servidor web local mediante XAMPP, el cual permite gestionar el servidor Apache, el motor de base de datos MySQL y su administración a través de phpMyAdmin. Sobre este entorno se instaló el framework Laravel, utilizando Composer como gestor de dependencias PHP y Artisan como

interfaz de línea de comandos para la generación de controladores, modelos, migraciones y seeders.

Para el control de versiones del proyecto se estableció un repositorio en GitHub, lo que permitió mantener un historial de cambios, respaldar el código fuente de forma remota y facilitar el trabajo incremental sobre el sistema a lo largo de las distintas fases de desarrollo.

En cuanto a la base de datos, se optó por una configuración de MySQL estándar, sin la implementación de tipos de datos espaciales nativos (como columnas GEOMETRY o POINT), dado que el análisis espacial del terreno no se resuelve mediante consultas geográficas dentro del motor de base de datos, sino a través del flujo de segmentación de imágenes con SAM y de interpretación con el asistente Claude IA. Bajo este enfoque, la base de datos MySQL se utiliza principalmente para almacenar los registros administrativos, las evidencias del terreno y sus metadatos, mientras que el análisis geoespacial propiamente dicho se apoya en el procesamiento de imágenes y en la base de conocimiento de Comet.

Finalmente, el entorno de desarrollo y pruebas se mantuvo únicamente en el servidor local XAMPP, sin desplegar el sistema en un hosting o servidor de producción durante esta fase del proyecto, lo cual es coherente con el alcance de un trabajo de grado en etapa de desarrollo y validación funcional.

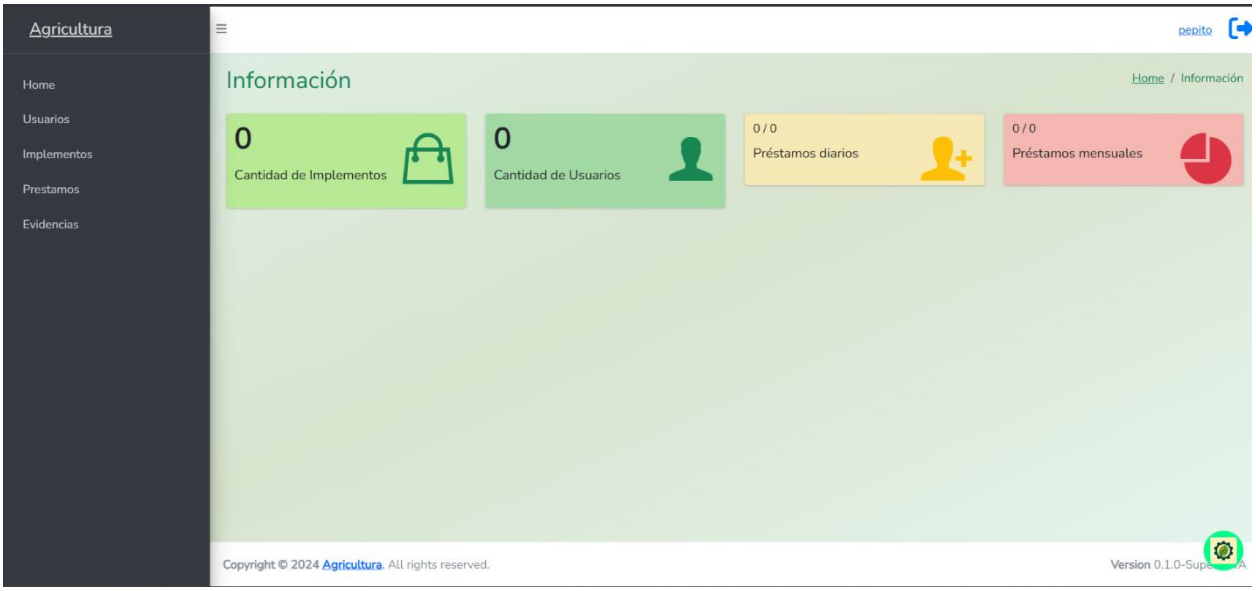
### *4.2.4 Diseño de módulos funcionales*

Con base en los componentes definidos, se estructuró el sistema en módulos funcionales independientes pero interconectados: un módulo de gestión administrativa usuarios, implementos, préstamos, un módulo de gestión territorial y evidencias registro que este es el histórico del estado del terreno, y un módulo de análisis geoespacial inteligente.

Ahora ya estando dentro del software se verá toda la información y funcionalidades del mismo.

**Figura 2**

*Dashboard inicial*

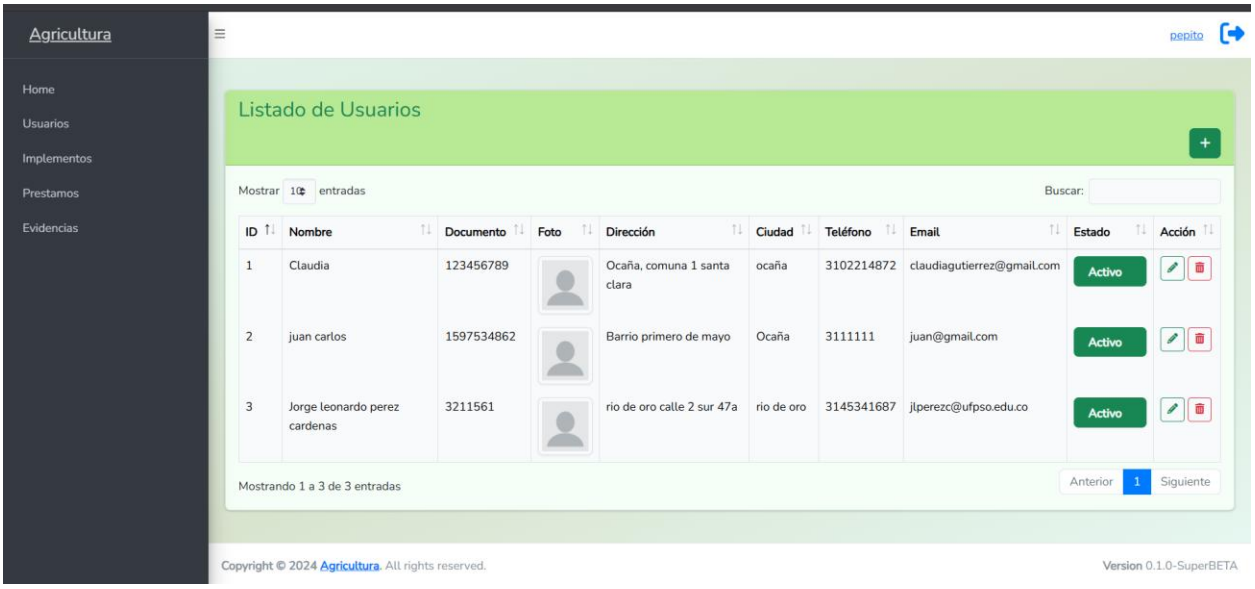



Nota. Podemos ver información relevante de los registros del software. Tomado de elaboración propia.

Principalmente se logra ver un menú en el cual se tiene toda la información necesaria y concisa para no saturar a el usuario de igual manera se usaron colores que no fuesen tan fuertes con el fin de que el mismo no se canse luego de jornadas extensas de trabajo o uso en la plataforma.

**Figura 3**

*Apartado de usuarios*




Nota. Vemos los usuarios registrados en el sistema. Tomado de elaboración propia.

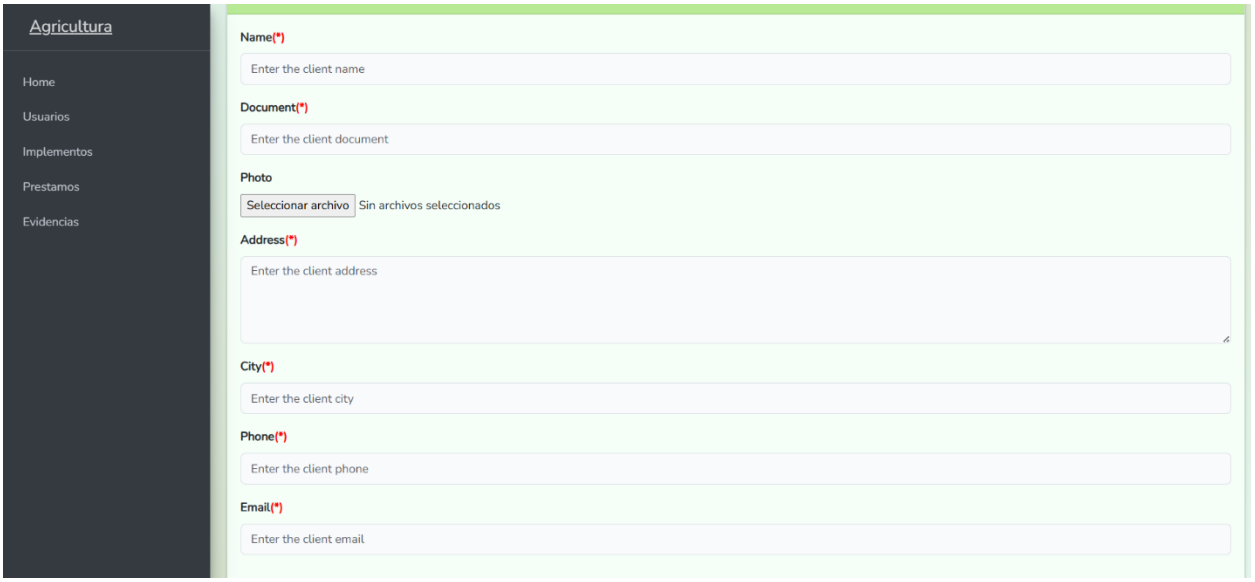
Podemos ver un listado de todos los usuarios que se tienen registrados en el software, de igual manera se usa un filtro por el que se pueden realizar las búsquedas en caso posible de que la cantidad de usuarios sea extenso.

En este se tiene id, nombre, documento, foto, dirección, ciudad, teléfono, email, estado (puede que sea una persona beca trabajo que están en constante cambio por lo que se debe indicar si este activo aun o no), un editar y eliminar.

El agregar se ve así:

**Figura 4**

*Agregar usuarios*

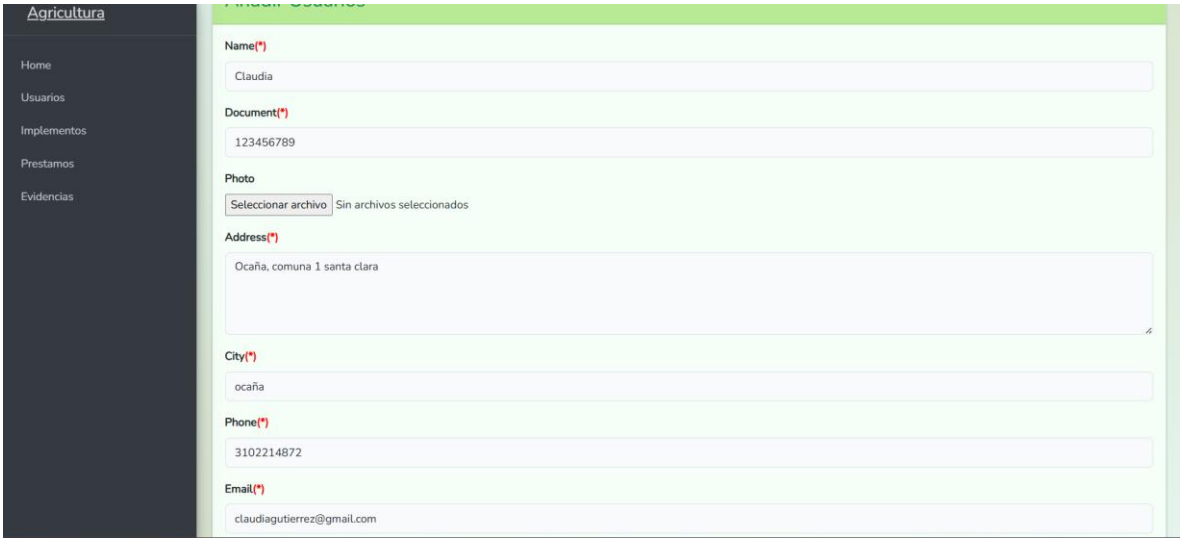



Nota. Vemos los usuarios registrados en el sistema. Tomado de elaboración propia

Editar de la siguiente manera:

**Figura 5**

*Editar usuarios*

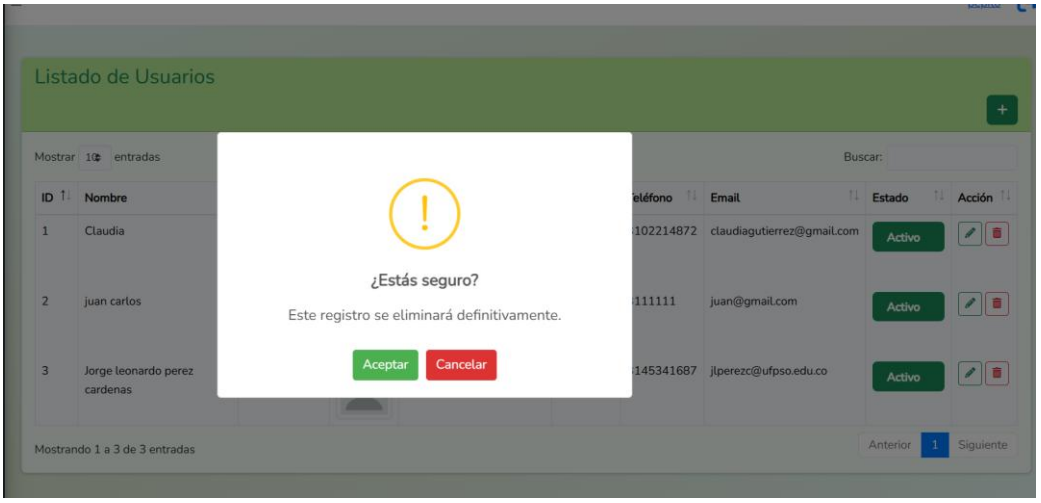



Nota. Vemos el apartado para editar usuarios. Tomado de elaboración propia.

Y a la hora de eliminar un usuario saltara una alerta, esto con el fin de evitar errores y missclicks.

**Figura 6**

*Eliminar Usuario*

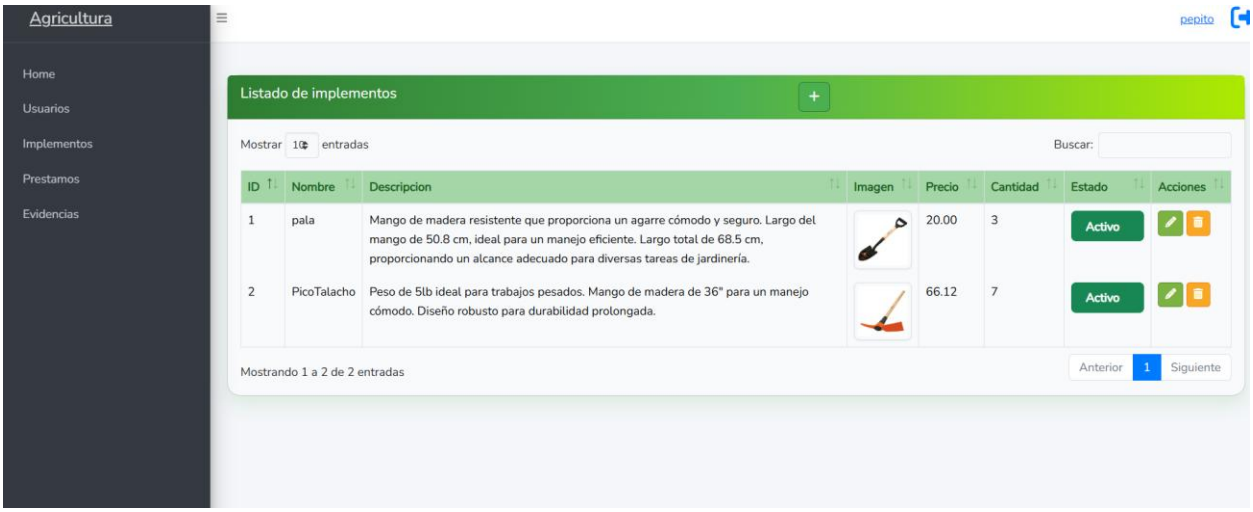



Nota. Vemos la notificación que sale al intentar eliminar un usuario. Tomado de elaboración propia.

Igual mente todos los implementos manejan el mismo CRUD;

**Figura 7**

*Dashboard de los implementos*

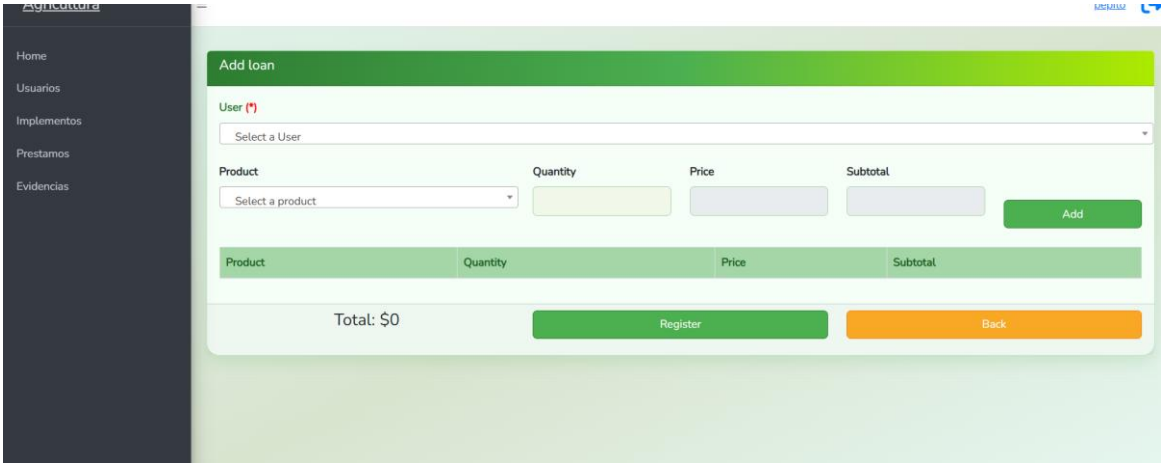



Nota. Vemos los implementos guardados en el sistema. Tomado de elaboración propia.

Ahora hablaremos de el apartado de los préstamos que se ve de la siguiente manera:

**Figura 8**

*Dashboard prestamos*

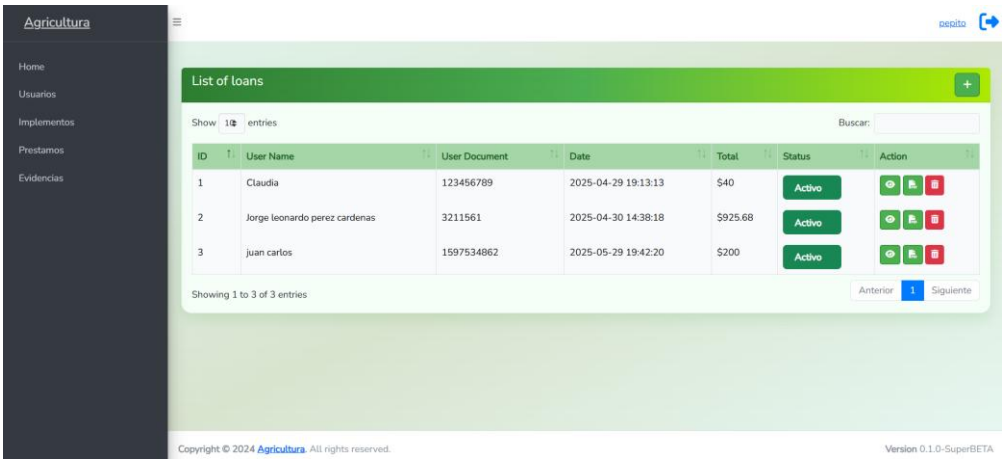



Nota. Vemos los prestamos realizados en el sistema. Tomado de elaboración propia.

Se puede descargar un pdf y hacer un previw de igual manera deja eliminar

**Figura 9**

*Vista de prestamos*




Nota. Vista de los prestamos y demás funciones. Tomado de elaboración propia.

Ahora se hablará de un gran punto como lo es el chatbot, al cual se le puede realizar todo tipo de preguntas relacionado con artículos de la granja y temas de agricultura.

**Figura 10**

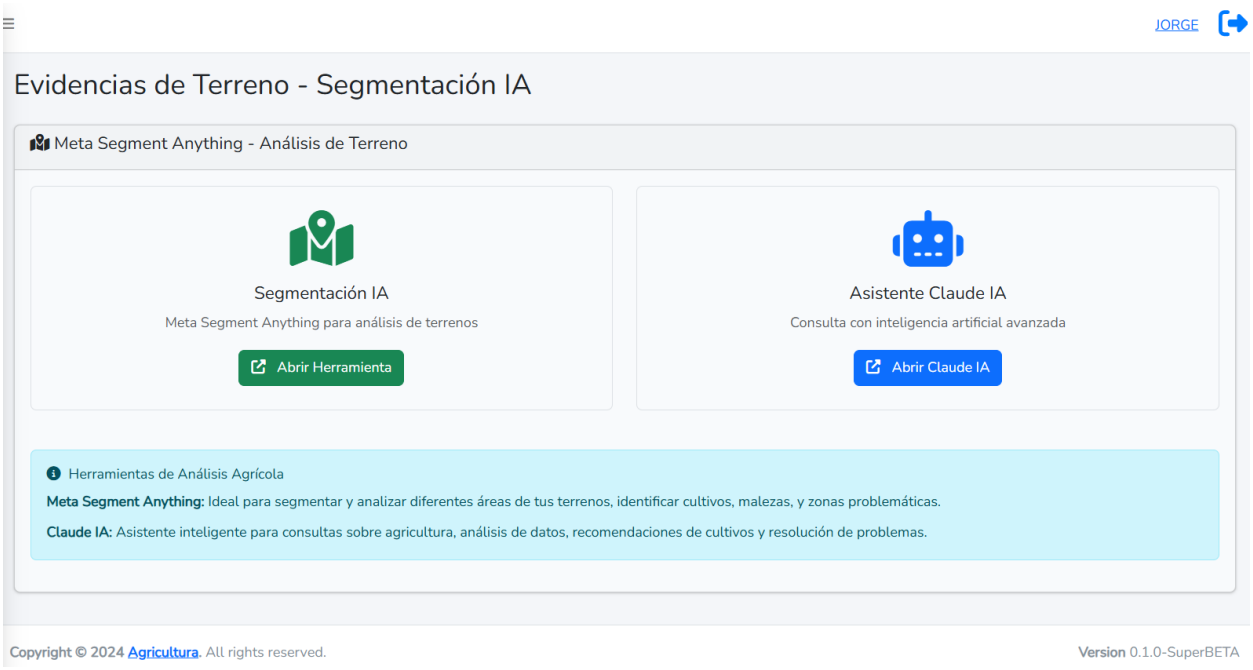
*Chatbot*




Nota. El chatbot implementado para resolver todas las dudas. Tomado de elaboración propia.

**Figura 11**

*panel de Segmentación IA*




Fuente: Elaboración Propia.

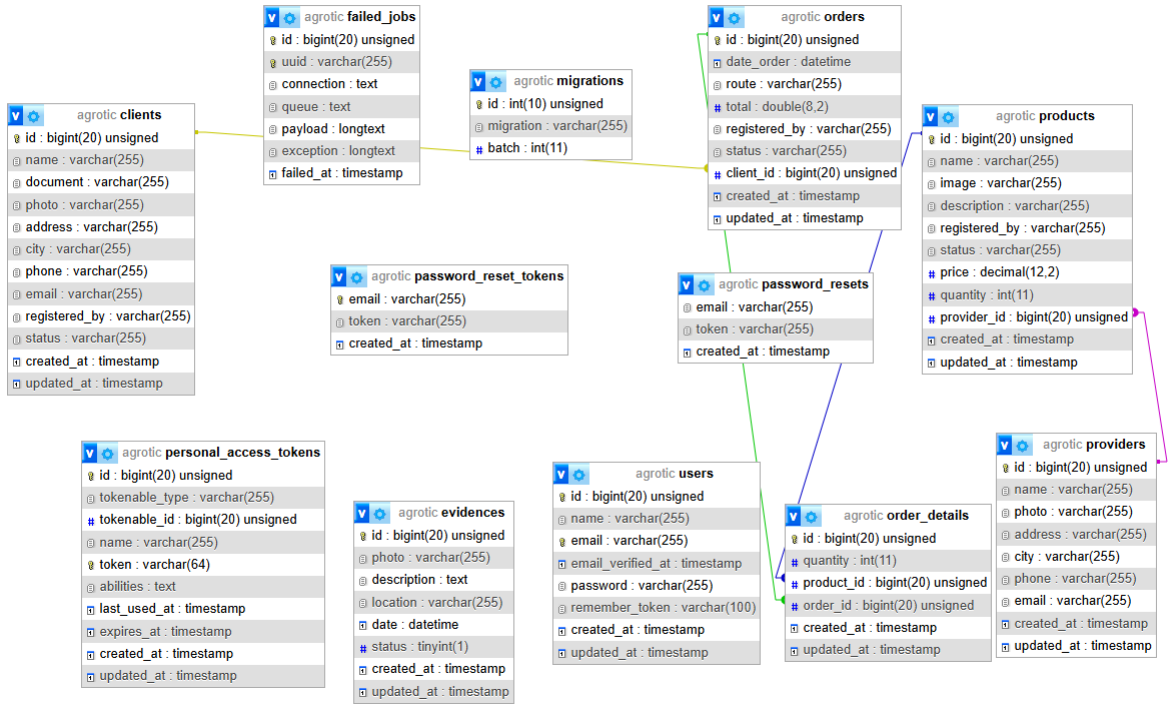
La Figura 12 presenta el panel al que accede el usuario al seleccionar la opción de Segmentación IA para registrar una nueva evidencia. Este panel integra dos herramientas complementarias: Meta Segment Anything (SAM), utilizada para segmentar y delimitar automáticamente las zonas de interés del terreno, y el Asistente Claude IA, encargado de interpretar la imagen segmentada y generar recomendaciones de manejo agrícola a partir de la consulta a una base de datos externa de repositorios técnicos.

### *4.2.3 Estructura de la base de datos*

Se estableció una base de datos relacional en MySQL, estructurada mediante migraciones de Laravel, lo que permite versionar los cambios en el esquema y mantener consistencia entre entornos de desarrollo y producción. Las entidades principales identificadas incluyen usuarios, implementos, préstamos y evidencias; esta última siendo la entidad central para el objetivo del proyecto, con atributos de fecha, imagen, descripción, ubicación y estado. La información geográfica asociada a cada evidencia se maneja actualmente como dato descriptivo de localización dentro del registro, sirviendo de referencia para el análisis posterior mediante las herramientas de segmentación IA.

**Figura 12**

*Diagrama de relación de entidades (ERD) de la base de datos.*



Nota. Vemos la estructura de la base de datos. Tomado de elaboración propia

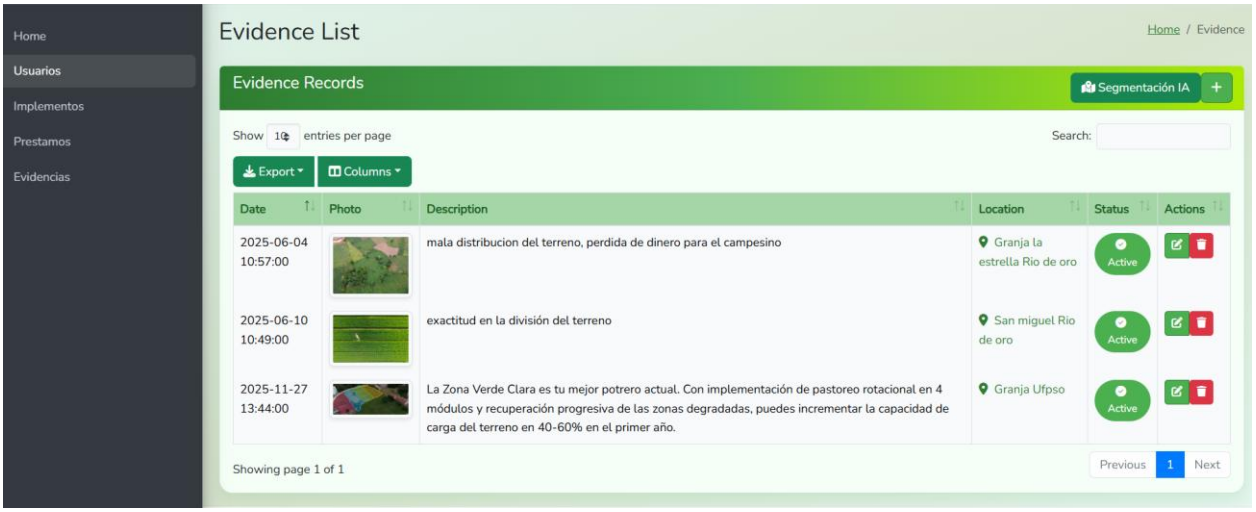
Se evidencia el esquema de base de datos, es como internamente se manejan los datos del sistema, esto para para integrar la información que anteriormente estaba dispersa y así poder tener un acceso estandarizado y controlado por todos los módulos operativos. El Diagrama de Entidades y Relaciones (ERD) nos deja ver de manera grafica, la visualización de las relaciones existentes entre las entidades de las tablas.

### *4.2.5 Diseño del módulo de gestión de evidencias del terreno*

El módulo de evidencias, mostrado en la Figura 1, permite registrar, editar, eliminar y consultar los registros fotográficos y descriptivos del estado del terreno a lo largo del tiempo. Cada evidencia se compone de fecha de captura, imagen aérea o de campo, descripción del hallazgo (por ejemplo, zonas de mala distribución, sectores con buen desempeño productivo o resultados de análisis previos), ubicación dentro de la granja y estado (activo/inactivo). Esta estructura permite mantener un histórico consultable de la evolución del terreno, y sirve como insumo directo para el módulo de análisis geoespacial descrito a continuación.

**Figura 13**

*Dash de las evidencias*




Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 13 muestra la interfaz del módulo de evidencias, donde se listan los registros históricos del estado del terreno de la Granja UFPSO. Cada registro incluye fecha de captura, imagen del sector fotografiado, descripción del hallazgo, ubicación dentro de la granja y estado del registro. Desde esta vista, el usuario puede exportar la información, buscar registros específicos, editar o eliminar entradas, así como acceder a la herramienta de Segmentación IA para el análisis geoespacial de cada evidencia.

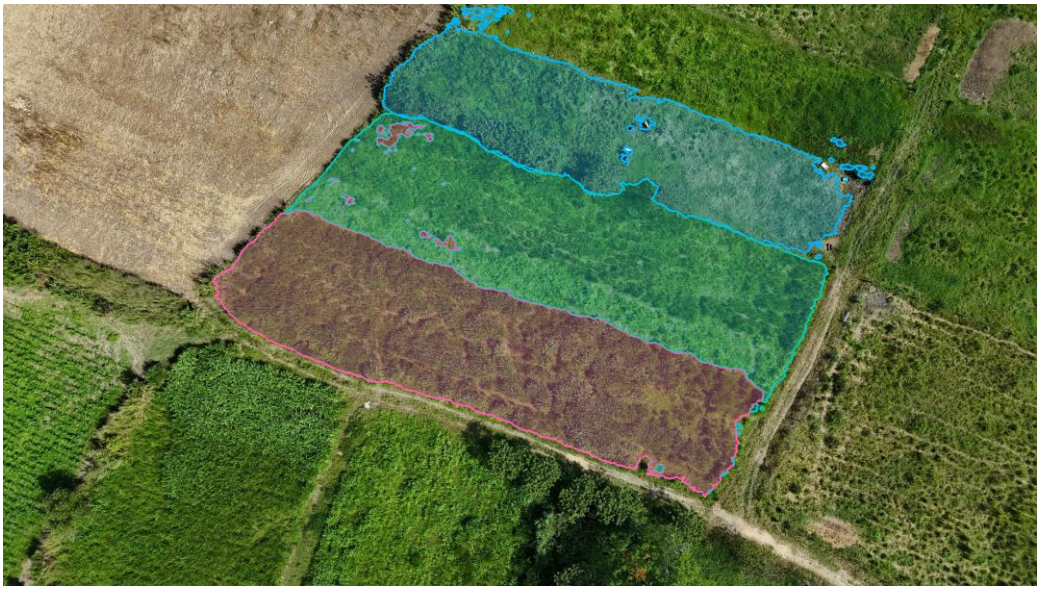
### *4.2.7 Diseño del módulo de segmentación y análisis inteligente del terreno*

Sobre el módulo de evidencias se diseñó una funcionalidad adicional de "Segmentación IA" (Figura 2), la cual redirige al usuario hacia un panel con dos herramientas complementarias:

• **Segmentación mediante SAM** (Segment Anything Model de Meta): a partir de la imagen cargada en la evidencia, el usuario aplica el modelo SAM para delimitar automáticamente la región de interés del terreno, señalando el punto correspondiente al objeto o zona a segmentar. El resultado es una imagen segmentada que aísla visualmente esa región, la cual se descarga para su análisis posterior.

**Figura 14**

*Mapa generado por SAM*



**Nota:** el mapa fue generado en base a la zona a trabajar y los objetos seleccionados

• **Asistente Claude IA:** la imagen segmentada se envía al asistente Claude, el cual se encuentra integrado internamente con una base de datos externa de repositorios técnicos del buscador Comet. Para esto, se diseñó una plantilla de prompt estandarizada y reutilizable para distintos tipos de cultivo, donde únicamente se ajustan los parámetros del cultivo y del insumo o proveedor asociado. Es importante precisar que la respuesta generada por Claude no proviene de su conocimiento general, sino que el modelo realiza una búsqueda directa sobre todos los

repositorios almacenados en la base de datos de Comet, y a partir de la información encontrada allí construye la recomendación de manejo entregada al usuario. De esta manera, la respuesta queda fundamentada en información específica y controlada dentro de dicha base de datos, y no en fuentes externas o genéricas, como se observa en el ejemplo de la Figura 1, donde una evidencia ya incluye una recomendación de manejo rotacional generada por este flujo.
Este es el promt creado bajo ciertas bases y cursos realizados en la web:

*"Mi objetivo es que analices una imagen previamente segmentada de un terreno agrícola para generar recomendaciones precisas de siembra, riego, tránsito y recolección. El contexto es que la imagen muestra el terreno dividido por clases (suelo, surcos, obstáculos y zonas aptas o no aptas), y necesito que identifiques patrones espaciales y la distribución real del espacio disponible. Sé específico y directo al identificar los puntos exactos donde debe colocarse cada semilla, calcular la distancia ideal entre ellas, determinar los puntos estratégicos para ubicar los surtidores y su radio de cobertura, definir un camino óptimo para transitar sin pisar frutos, estimar el tiempo necesario para la recolección, indicar la frecuencia y duración del riego según la cobertura del surtidor, y definir la dirección óptima de los surcos. El resultado deseado es un informe preciso que incluya las coordenadas recomendadas para la siembra, la distancia entre semillas, la ubicación y alcance de los surtidores, la ruta ideal de desplazamiento, el tiempo aproximado de recolección, un plan de riego detallado y la dirección óptima de los surcos con una breve justificación técnica. sembraremos papa yuca y los surtidores abarcan un 1.5 metros"*

### *4.3.4 Integración de datos geográficos de la Granja UFPSO*

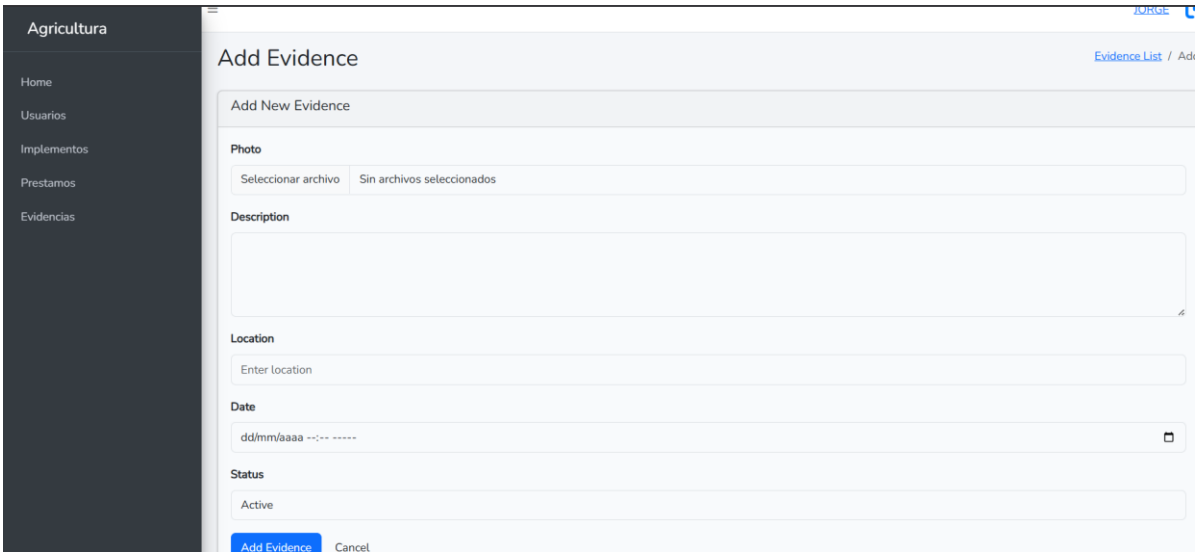
La integración de datos geográficos se realizó de forma progresiva a medida que se cargaron las evidencias recolectadas en campo. Cada ubicación seleccionada mediante el buscador de Google al crear una evidencia queda validada automáticamente contra las coordenadas reales del sitio, lo que garantiza la precisión de la información geográfica integrada al sistema, evitando el registro de ubicaciones inexistentes o mal escritas manualmente.

### *4.3.5 Desarrollo del módulo de reportes*

El módulo de reportes se implementó a partir de las funcionalidades de exportación integradas en la tabla de evidencias mediante DataTables, permitiendo al usuario generar y descargar el listado completo de evidencias en distintos formatos (Excel, PDF, CSV), incluyendo las columnas de fecha, descripción, ubicación y estado de cada registro. Esta funcionalidad cumple el rol de generación de reportes estadísticos y exportables definido para este módulo, permitiendo a los administradores y docentes de la granja obtener respaldos periódicos del estado documentado del terreno sin necesidad de acceder directamente a la base de datos.

**Figura 15**

*Dashboard de las evidencias*




Nota. Tomado de elaboración propia.

### *4.3.6 Pruebas y ajustes del sistema*

Se realizaron pruebas funcionales básicas sobre cada uno de los módulos desarrollados, verificando el correcto funcionamiento del CRUD de evidencias (creación, edición, eliminación y consulta), la exportación de datos desde DataTables, la visualización de los marcadores en el mapa interactivo de Leaflet, y el flujo completo de segmentación IA. Estas pruebas permitieron identificar y corregir errores puntuales de integración entre los módulos, así como validar que la información capturada en un módulo por ejemplo, la ubicación de una evidencia se reflejara correctamente en los módulos dependientes.

## 4.3 Evaluar la efectividad del sistema implementado mediante indicadores de usabilidad y precisión en el análisis geoespacial

### *4.3.1 Definición de indicadores de evaluación*

Para la evaluación del sistema se definieron indicadores en dos dimensiones principales: usabilidad y precisión geoespacial. Como indicadores de usabilidad se consideraron la facilidad de uso del sistema, la claridad de la interfaz (navegación, ubicación de los módulos) y la utilidad percibida de las funcionalidades de evidencias, mapa y segmentación IA para la gestión del terreno. Como indicador de precisión geoespacial se estableció la correspondencia entre la ubicación seleccionada por el usuario a través del buscador de Google al registrar una evidencia, y la ubicación real del sector fotografiado en campo, permitiendo determinar el margen de error del sistema en la georreferenciación de los registros.

### *4.3.2 Implementación piloto del sistema*

Se realizó una implementación piloto del sistema en un entorno controlado, con la participación del administrador de la Granja UFPSO y uno a dos trabajadores de la granja vinculados a programas con componente agropecuario. Durante esta fase, los participantes fueron capacitados en el uso general del sistema, incluyendo el registro de evidencias, la selección de ubicación mediante el buscador de Google, la consulta del mapa interactivo y el flujo de segmentación IA (SAM y Claude). Posteriormente, se les solicitó aplicar el sistema en

casos reales de gestión del terreno, registrando evidencias correspondientes a sectores actuales de la granja.

**Figura 16.**

*Implementación del software*



Fuente: Elaboración Propia.

Nota: La imagen fue tomada el día de presentación y pruebas del software

### *4.3.3 Evaluación de precisión geoespacial*

Durante el piloto, se solicitó a los participantes (administrador y personal) calificar su experiencia con el sistema en cuanto a facilidad de uso, claridad de la interfaz y utilidad percibida de los módulos evaluados. De manera general, los participantes destacaron como

fortalezas la centralización de la información del terreno en un solo lugar, la facilidad para adjuntar evidencias fotográficas con su ubicación, y, sobre todo, el valor del plan de siembra generado automáticamente por el sistema.

Este último punto es el resultado más relevante de la evaluación, ya que responde directamente al objetivo general del proyecto. A partir de una sola imagen del terreno, el sistema fue capaz de identificar zonas con distinto potencial productivo (suelo apto, suelo con pendiente, zonas con maleza, zonas con riesgo de encharcamiento) y, con base en esa distribución, generar una propuesta concreta de cómo debería organizarse espacialmente el cultivo: dónde ubicar cada surco, en qué dirección orientarlo, dónde instalar los puntos de riego y qué zonas dejar libres para tránsito. Es decir, el sistema no se limita a describir el terreno, sino que entrega una distribución espacial óptima aplicable directamente por el agricultor, que es precisamente el problema identificado desde el planteamiento del problema, la ausencia de decisiones de distribución del terreno basadas en datos concretos.

Con base en estos resultados, se recomienda para trabajos futuros: extender la evaluación de usabilidad a un grupo más amplio de estudiantes vinculados a la granja, validar en campo la ejecución real de las distribuciones espaciales propuestas por el sistema, comparando el rendimiento proyectado por Claude IA contra el rendimiento efectivamente obtenido en cosecha; y fortalecer la base de datos de Comet con información específica de más variedades de cultivo propias de la Granja UFPSO, con el fin de mejorar la precisión de las distribuciones espaciales generadas para cada tipo de cultivo.

# Capítulo 5. Conclusiones

Después de sacar adelante este proyecto, queda claro que sí es posible juntar drones, inteligencia artificial y sistemas de información geográfica para resolver un problema tan cotidiano como el mal uso del terreno. Además, al revisar toda la bibliografía se nota que existe una brecha bastante grande entre lo que la tecnología ya puede hacer y lo poco que se está aprovechando en las universidades agrícolas colombianas. Sin embargo, esto mismo deja ver que la UFPSO tiene una oportunidad enorme de ponerse a la cabeza en agricultura de precisión en la región.

Por otra parte, cuando se armó toda la arquitectura del sistema con Laravel, MySQL y el módulo de evidencias como columna vertebral, igualmente se pudo comprobar que no hacía falta un SIG tradicional tipo GeoServer o PostGIS, ArcGIS entre otras plataformas para lograr un análisis espacial útil. En cambio, con el modelo SAM de Meta para segmentar el terreno y el asistente Claude para interpretar esa segmentación y generar recomendaciones, el sistema terminó dando un resultado de igual forma que uno hecho con herramientas SIG de escritorio.

Después de esto, la fase de implementación piloto con el administrador y los trabajadores de la granja también dejó ver que el sistema es fácil de usar y que centralizar toda la información del terreno en un solo lugar es algo que se valora bastante. A pesar de las limitaciones normales de un proyecto de grado (servicio en la web limitado, muestra pequeña de usuarios), los resultados de la evaluación fueron positivos en cuanto a usabilidad y utilidad percibida.

Finalmente, este anteproyecto es un aporte importante al conocimiento sobre agricultura de precisión en universidades de países en desarrollo. El hecho de juntar UAV, IA, IoT y SIG en un solo sistema para optimizar la distribución agrícola es algo bastante innovador que puede servir de modelo para otras instituciones similares en la región. Por último, desde el punto de vista del desarrollo regional, el proyecto puede funcionar como una especie de motor para que Norte de Santander empiece a adoptar más tecnología agrícola, dejando atrás los métodos convencionales que se han usado por generaciones.

Después de hacer este primer avance del proyecto, queda claro lo importante que es integrar tecnologías como drones, sensores e inteligencia artificial en la educación agrícola. Además, al revisar todas las fuentes bibliográficas, se logra evidenciar que hay una brecha gigantesca entre lo que la tecnología puede hacer y cómo realmente se está usando en las universidades agrícolas de Colombia. Sin embargo, esto también significa que la UFPSO tiene una oportunidad increíble de convertirse en líder de la agricultura de precisión. Se puede decir que no solo vamos a formar profesionales mejor preparados, sino que también podemos crear metodologías que otras universidades de la región podrían usar después.

Cuando se empezó con la estructura de toda la metodología del proyecto, logre darme cuenta de que efectivamente es posible desarrollar un sistema que combine drones para capturar datos con inteligencia artificial para procesar toda esa información. Por otra parte, al revisar lo que se ha hecho a nivel internacional, se evidencia que tecnologías como LIDAR y cámaras multiespectrales ya han demostrado que funcionan bien para mejorar la productividad agrícola.

Igualmente, el hecho de haber definido objetivos claros y actividades específicas permite tener una ruta sólida para implementar todo esto en la práctica.

Finalmente, el hecho de conceptualizar este anteproyecto representa un aporte importante al conocimiento sobre agricultura de precisión en universidades de países en desarrollo. Se puede decir que juntar todas estas tecnologías (UAV, IA, IoT, sensores) en un solo sistema para analizar y optimizar la distribución agrícola es algo bastante innovador que puede servir como modelo para futuras investigaciones en instituciones similares. Desde la perspectiva del desarrollo regional, el proyecto puede funcionar como un motor para que se adopten tecnologías agrícolas avanzadas en una región que tradicionalmente ha dependido de métodos convencionales.

La formulación y diseño del sistema web integrado con SIG para la Granja UFPSO demuestran que es viable aprovechar tecnologías de información geográfica, drones e inteligencia artificial para caracterizar el terreno, identificar zonas de manejo y proponer distribuciones más eficientes del uso del suelo en un contexto universitario.

El desarrollo metodológico permitió evidenciar que la integración de actores institucionales (administradores de la granja, docentes y estudiantes) es clave para asegurar la pertinencia y futura adopción del sistema.

# Capítulo 6. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos durante el proceso de análisis, diseño, desarrollo y evaluación piloto del sistema web con Sistemas de Información Geográfica implementado para la Granja Experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, y considerando las limitaciones metodológicas y técnicas propias del alcance de un trabajo de grado, se formulan las siguientes recomendaciones dirigidas a fortalecer la solución desarrollada y a orientar la continuidad de esta línea de investigación.

## 6.1 Validación y el alcance de la evaluación del sistema

Ampliar la evaluación de usabilidad a un grupo más representativo de estudiantes, docentes y personal administrativo vinculado a la Granja UFPSO, dado que el muestreo no probabilístico de tipo intencional empleado en esta investigación, si bien resultó adecuado para los fines exploratorios y de validación funcional planteados en el diseño metodológico, no permite generalizar estadísticamente los resultados obtenidos al conjunto total de usuarios potenciales del sistema. Una muestra más distribuida de manera equilibrada entre los tres perfiles identificados en la población objeto de estudio, permitiría obtener conclusiones con mayor solidez respecto a la percepción de utilidad y facilidad de uso del sistema en distintos contextos de trabajo dentro de la granja.

Asimismo, se recomienda fortalecer de manera progresiva la base de conocimiento externa consultada por el asistente Claude (repositorio Comet), incorporando información

técnica específica de un mayor número de variedades de cultivo propias de las condiciones agroecológicas de la región de Ocaña y del Catatumbo.

### 6.2 Arquitectura técnica y la escalabilidad del sistema

La conveniencia de migrar hacia un motor de base de datos con soporte nativo para tipos de datos espaciales, tal como PostgreSQL con la extensión PostGIS, en caso de que las necesidades futuras del sistema exijan la ejecución de consultas geográficas complejas directamente sobre el motor de base de datos. Si bien la decisión de prescindir de una infraestructura SIG tradicional se justificó adecuadamente dentro del alcance de este proyecto mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial para el análisis espacial, un eventual crecimiento en la complejidad de las funcionalidades geoespaciales requeridas podría hacer conveniente dicha migración.

Se recomienda, adicionalmente, valorar la incorporación de una entidad estructurada de parcelas o sectores fijos de la granja, como complemento al módulo de evidencias que actualmente centraliza la gestión territorial del sistema. Aunque el enfoque flexible adoptado en este proyecto resultó adecuado frente a la dinámica cambiante de uso del terreno observada en la granja, la definición de sectores predefinidos facilitaría, en investigaciones futuras, la realización de análisis históricos y comparativos por unidad territorial a lo largo del tiempo.

### 6.3 Cumplimiento del marco normativo aplicable

Se recomienda incorporar en el módulo de gestión de usuarios un mecanismo explícito de autorización informada para el tratamiento de datos personales, en cumplimiento de lo dispuesto en el Decreto 1377 de 2013, reglamentario de la Ley 1581 de 2012. Esta recomendación, identificada previamente en el marco legal del proyecto, no fue implementada dentro del alcance funcional actual del sistema y constituye una mejora prioritaria antes de su eventual puesta en producción, en la medida en que involucra el tratamiento de datos personales de los usuarios registrados.

De manera similar, se recomienda que, previo a la ampliación de la captura de imágenes aéreas hacia nuevos sectores del campus universitario, se formalicen ante las instancias institucionales correspondientes los protocolos de seguridad y los permisos de vuelo exigidos por la Resolución 04201 de 2018 de la Aeronáutica Civil de Colombia, con el fin de garantizar la plena legalidad de las operaciones de vuelo realizadas con fines investigativos.

### 6.4 Proyección institucional y la continuidad del proyecto

Se recomienda explorar la posibilidad de extender la metodología y la arquitectura tecnológica desarrollada en este proyecto a otras zonas del campus universitario que presenten problemáticas similares de uso y distribución inadecuada del suelo, en atención a que el antecedente institucional documentado por (Rueda, s. f.) evidencia que esta problemática no es exclusiva de la Granja Experimental, sino que responde a una situación de mayor alcance dentro de la sede Algodonal.

Finalmente, se recomienda promover la continuidad de esta línea de investigación a través de futuros trabajos de grado que aborden componentes complementarios no contemplados dentro del alcance conceptual del presente proyecto, tales como la integración de sensores IoT para el monitoreo continuo de variables de campo, o el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial propios, calibrados con datos históricos específicos de la Granja UFPSO, lo cual permitiría, a mediano plazo, reducir la dependencia del sistema respecto de herramientas de inteligencia artificial de terceros y ajustar aún más la precisión de las recomendaciones generadas a las condiciones particulares del terreno institucional.

## Referencias

Abdullahi, H. O., Mahmud, M., & Eliana Abdul Rahim, E. (2026). Adoption of mobile technology in agricultural practices among small-scale farmers in Somalia using integrated theories. *Cogent Food & Agriculture*, *12*(1), 2631187. https://doi.org/10.1080/23311932.2026.2631187

Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2017). Web GIS and its architecture: A review. *Arabian Journal of Geosciences*, *10*(23), 518. https://doi.org/10.1007/s12517-017-3296-2

Anam, I., Arafat, N., Hafiz, M. S., Jim, J. R., Kabir, M. M., & Mridha, M. F. (2024). A systematic review of UAV and AI integration for targeted disease detection, weed management, and pest control in precision agriculture. *Smart Agricultural Technology*, *9*, 100647. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100647

Ávila-Vélez, E. F., Royero-Benavides, B. D. P., Herrera-Martínez, L. A., & Guerrero-Ruíz, J. E. (2026). Development of a Spectral Signature Database of Crops in Cundinamarca, Colombia. *Entramado*, *22*(1). https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.13083

Catala-Roman, P., Segura-Garcia, J., Dura, E., Navarro-Camba, E. A., Alcaraz-Calero, J. M., & Garcia-Pineda, M. (2024). AI-based autonomous UAV swarm system for weed detection and treatment: Enhancing organic orange orchard efficiency with agriculture 5.0. *Internet of Things*, *28*, 101418. https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101418

Conallen, J. (1999). Modeling Web application architectures with UML. *Communications of the ACM*, *42*(10), 63-70. https://doi.org/10.1145/317665.317677

Curry, G. N., Nake, S., Koczberski, G., Oswald, M., Rafflegeau, S., Lummani, J., Peter, E., & Nailina, R. (2021). Disruptive innovation in agriculture: Socio-cultural factors in technology adoption in the developing world. *Journal of Rural Studies*, *88*, 422-431. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.022

Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, *8*, 100459. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459

Eissa, M. (2024). Precision Agriculture using Artificial Intelligence and Robotics. *Journal of Research in Agriculture and Food Sciences*, *1*(1), 35. https://doi.org/10.5455/JRAFS.20240404014009

Fletcher, R. G. (2003). Geographic Information Systems in Real Estate. En *Encyclopedia of Information Systems* (pp. 433-441). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-12-227240-4/00078-2

Forsgren, N., Storey, M.-A., Maddila, C., Zimmermann, T., Houck, B., & Butler, J. (2021). The SPACE of Developer Productivity: There's more to it than you think. *Queue*, *19*(1), 20-48. https://doi.org/10.1145/3454122.3454124

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5a ed). McGraw-Hill.

Huang, Y., Qian, Y., Wei, H., Lu, Y., Ling, B., & Qin, Y. (2023). A survey of deep learning-based object detection methods in crop counting. *Computers and Electronics in Agriculture*, *215*, 108425. https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108425

Khanna, A., & Kaur, S. (2023). An empirical analysis on adoption of precision agricultural techniques among farmers of Punjab for efficient land administration. *Land Use Policy*, *126*, 106533. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106533

Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., Lo, W.-Y., Dollár, P., & Girshick, R. (2023). *Segment Anything* (arXiv:2304.02643). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.02643

Kumar K, S., & Babu Db, S. (2016). A Web GIS Based Decision Support System for Agriculture Crop Monitoring System-A Case Study from Part of Medak District. *Journal of Remote Sensing & GIS*, *05*(04). https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000177

Ley 23 de 1982 (1982).

Ley 1581 de 2012, Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales, Legislation No. 17/10/2012, No. 48.587 Diario Oficial No. 48.587.

Lundström, C., & Lindblom, J. (2018). Considering farmers' situated knowledge of using agricultural decision support systems (AgriDSS) to Foster farming practices: The case of CropSAT. *Agricultural Systems*, *159*, 9-20. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.004

M, K. P., K, S., M, R., & R, K. (2024). CRUD Application Using ReactJS Hooks. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, *10*. https://doi.org/10.4108/eetiot.5298

Medina, D. E., Medina, J. D., Zorro, J. A., Medina Tobon, D., Gomez, J. J., & Giraldo, L. F. (2024). A precision agriculture solution for water stress estimation in Hass avocado farms in Colombia. *Scientific Reports*, *14*(1), 31178. https://doi.org/10.1038/s41598-024-82344-4

Navia, J., Mondragon, I., Patino, D., & Colorado, J. (2016). Multispectral mapping in agriculture: Terrain mosaic using an autonomous quadcopter UAV. *2016 International*

*Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1351-1358. https://doi.org/10.1109/ICUAS.2016.7502606

Neményi, M., Mesterházi, P. Á., Pecze, Zs., & Stépán, Zs. (2003). The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, *40*(1-3), 45-55. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(03)00010-3

Pérez-Ortega, D. J., Bolaños-Alomia, F. A., & Marco Da Silva, A. (2021). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: Revisión de estudios. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, *23*(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2298

Phang, S. K., Chiang, T. H. A., Happonen, A., & Chang, M. M. L. (2023). From Satellite to UAV-Based Remote Sensing: A Review on Precision Agriculture. *IEEE Access*, *11*, 127057-127076. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3330886

Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012, 48.834 (2013).

Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., & Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, *172*, 107148. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148

Rashid, A. B., Kausik, A. K., Khandoker, A., & Siddque, S. N. (2025). Integration of Artificial Intelligence and IoT with UAVs for Precision Agriculture. *Hybrid Advances*, *10*, 100458. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100458

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022a). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*, 107017. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022b). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*, 107017. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022c). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*, 107017. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022d). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *198*, 107017. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017

Resolución 04201 de 2018: Por la cual se incorporan a la norma RAC 91 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia unas disposiciones sobre operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS y se numeran como Apéndice 13, 04201 (2018).

Rodríguez, J. P., Montoya-Munoz, A. I., Rodriguez-Pabon, C., Hoyos, J., & Corrales, J. C. (2021). IoT-Agro: A smart farming system to Colombian coffee farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, *190*, 106442. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106442

Rueda, A. F. F. (s. f.). *PROPUESTA PARA DAR BUEN USO AL SUELO EN LA UFPSO SEDE ALGODONAL.*

Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, *5*, 100292. https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292

Sperandio, H. V., De Morais, M. S., De Jesus França, L. C., Mucida, D. P., Santana, R. C., Da Silva, R. S., Rodrigues, C. R., De Faria, B. L., De Azevedo, M. L., & Gorgens, E. B.

(2025). Land suitability modeling integrating geospatial data and artificial intelligence. *Agricultural Systems*, *223*, 104197. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104197

Suttidee, A., Sriboonlue, P., Tongnamtiang, S., & Lakkham, V. (2025). Assessing the Usability of IoT-Based Smart Farming for Sustainable Organic Agriculture. *Journal of Computer Science*, *21*(10), 2337-2348. https://doi.org/10.3844/jcssp.2025.2337.2348

Tan, Q., Zhong, S., Qu, R., Li, Y., Zhou, P., Lo, H. K., & Zhang, X. (2024). Low-Noise Flight Path Planning of Drones Based on a Virtual Flight Noise Simulator: A Vehicle Routing Problem. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, *16*(6), 56-71. https://doi.org/10.1109/MITS.2024.3396430

Universidad Francisco de Paula Santander. (s. f.). Granja Experimental UFPSO. *27/04/2026*. Recuperado https://ufpso.edu.co/granja_experimental

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, *36*(2-3), 113-132. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0

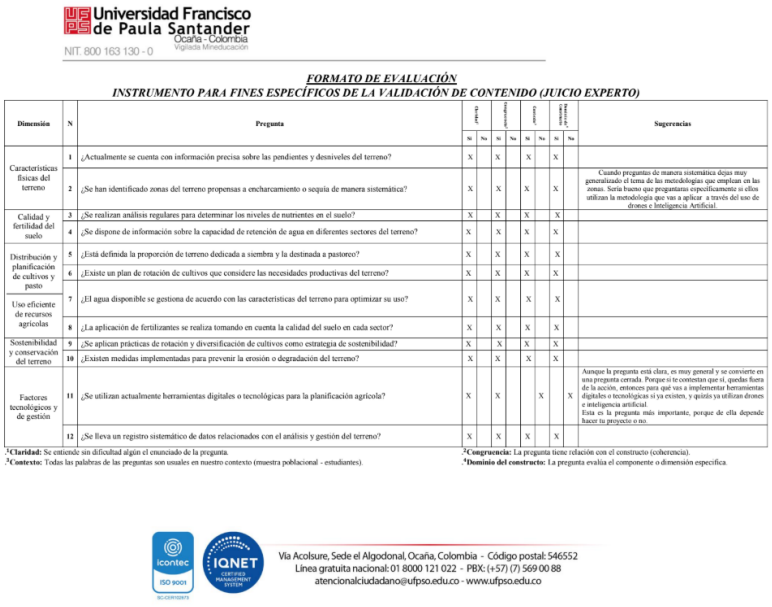
# Apéndices

## Juicio de expertos

El juicio experto es una herramienta fundamental para garantizar la validez y fiabilidad de un instrumento de investigación. No sustituye la validación empírica, pero proporciona una base teórica y metodológica sólida para garantizar que los ítems sean claros, relevantes y representativos. En este caso, se aplicó a nueve profesores del programa, quienes nos dieron su opinión sobre la investigación.

**Figura 17**

*juicio experto*



Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación
NIT. 800 163 130 - 0

***FORMATO DE EVALUACIÓN***
***INSTRUMENTO PARA FINES ESPECÍFICOS DE LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO (JUICIO EXPERTO)***

| Dimensión | N | Pregunta | [1]Claridad | | [2]Congruencia | | [3]Contexto | | [4]Dominio del constructo | | Sugerencias |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Si | No | Si | No | Si | No | Si | No | |
| Características físicas del terreno | 1 | ¿Actualmente se cuenta con información precisa sobre las pendientes y desniveles del terreno? | X | | X | | X | | X | | |
| | 2 | ¿Se han identificado zonas del terreno propensas a encharcamiento o sequía de manera sistemática? | X | | X | | X | | X | | Cuando preguntas de manera sistemática dejas muy generalizado el tema de las metodologías que emplean en las zonas. Sería bueno que preguntaras específicamente si ellos utilizan la metodología que vas a aplicar a través del uso de drones e Inteligencia Artificial. |
| Calidad y fertilidad del suelo | 3 | ¿Se realizan análisis regulares para determinar los niveles de nutrientes en el suelo? | X | | X | | X | | X | | |
| | 4 | ¿Se dispone de información sobre la capacidad de retención de agua en diferentes sectores del terreno? | X | | X | | X | | X | | |
| Distribución y planificación de cultivos y pasto | 5 | ¿Está definida la proporción de terreno dedicada a siembra y la destinada a pastoreo? | X | | X | | X | | X | | |
| | 6 | ¿Existe un plan de rotación de cultivos que considere las necesidades productivas del terreno? | X | | X | | X | | X | | |
| Uso eficiente de recursos agrícolas | 7 | ¿El agua disponible se gestiona de acuerdo con las características del terreno para optimizar su uso? | X | | X | | X | | X | | |
| | 8 | ¿La aplicación de fertilizantes se realiza tomando en cuenta la calidad del suelo en cada sector? | X | | X | | X | | X | | |
| Sostenibilidad y conservación del terreno | 9 | ¿Se aplican prácticas de rotación y diversificación de cultivos como estrategia de sostenibilidad? | X | | X | | X | | X | | |
| | 10 | ¿Existen medidas implementadas para prevenir la erosión o degradación del terreno? | X | | X | | X | | X | | |
| Factores tecnológicos y de gestión | 11 | ¿Se utilizan actualmente herramientas digitales o tecnológicas para la planificación agrícola? | X | | X | | | X | | X | Aunque la pregunta está clara, es muy general y se convierte en una pregunta cerrada. Porque si te contestan que sí, quedas fuera de la acción, entonces para qué vas a implementar herramientas digitales o tecnológicas si ya existen, y quizás ya utilizan drones e inteligencia artificial.<br>Esta es la pregunta más importante, porque de ella depende hacer tu proyecto o no. |
| | 12 | ¿Se lleva un registro sistemático de datos relacionados con el análisis y gestión del terreno? | X | | X | | X | | X | | |

[1]**Claridad:** Se entiende sin dificultad algún el enunciado de la pregunta.
[2]**Contexto:** Todas las palabras de las preguntas son usuales en nuestro contexto (muestra poblacional - estudiantes).
[3]**Congruencia:** La pregunta tiene relación con el constructo (coherencia).
[4]**Dominio del constructo:** La pregunta evalúa el componente o dimensión específica.

Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Validación V de Aiken**

La V de Aiken es un coeficiente estadístico que cuantifica la validez del contenido de los ítems en un instrumento de investigación, reflejando el grado de acuerdo entre los expertos sobre la relevancia de cada elemento dentro del dominio medido.

La siguiente fórmula se utiliza para validar dichos datos y determinar si existe un saldo positivo por parte de expertos en la materia.

***Validación de fórmulas de Fórmula 1***

$$V = \frac{S}{(n(c-1))}$$

**Figura 18.**

*Formula v Aiken*.

| | |
|---|---|
| S | SUMATORIA DE SI |
| S1 | VALOR ASIGNADO POR JUEZ |
| N | NUMERO DE JUECES |
| C | NUMERO DE VALORES EN LA ESCALA DE VALORACION (SI,NO)2 |

*Nota:* Tomado de elaboración propia.

Estas son las tablas utilizadas para llevar a cabo la V AIKEN; al final podemos ver la tabla en la que se realiza la validación general por dimensión, que es la V general.

**Figura 19**

*contexto de la tabla V AIKEN*

| D | CONTEXTO | | | | | | | | | | | | | V DE AIKEN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S | N | C | ITEM | YESENIA | EDUAR | LUIS H | ANA MELISA | YEGNY | MARIA FDA | HENRY | SIR ALECSI | FABIAN | |
| | 8 | 9 | 2 | **1** | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,888888888 |
| D1 | 8 | 9 | 2 | **2** | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,888888888 |
| | 9 | 9 | 2 | **3** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D2 | 9 | 9 | 2 | **4** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 9 | 9 | 2 | **5** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D3 | 9 | 9 | 2 | **6** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 9 | 9 | 2 | **7** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D4 | 8 | 9 | 2 | **8** | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,888888888 |
| | 9 | 9 | 2 | **9** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| D5 | 9 | 9 | 2 | **10** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 7 | 9 | 2 | **11** | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0,777777777 |
| D6 | 9 | 9 | 2 | **12** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | PROMEDIO | 0,953703703 |

*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Figura 20**

*tabla V AIKEN Final*

| DIMENSION | CLARIDAD | CONTEXTO | CONGRUENCIA | DOM. CONTENIDO | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| **D1:** CARACTERISTICAS FISICAS DEL TERRENO | 1,000 | 0,889 | 1,000 | 0,944 | 0,958 |
| **D2:** CALIDAD Y FERTILIDAD DEL SUELO | 0,944 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,986 |
| **D3:** DISTRIBUCION Y PLANIFICACION DE CULTIVOS Y PASTO | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| **D4:** USO EFICIENTE DE RECURSOS AGRICOLAS | 0,944 | 0,944 | 1,000 | 1,000 | 0,972 |
| **D5:** SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACION DEL TERRENO | 0,944 | 1,000 | 0,944 | 1,000 | 0,972 |
| **D6:** FACTORES TECNOLOGICOS Y DE GESTION | 1,000 | 0,889 | 1,000 | 0,944 | 0,958 |
| **TOTAL VARIABLE EN GENERAL** | 0,972 | 0,954 | 0,991 | 0,981 | 0,975 |

*Nota:* Tomado de elaboración propia.

## Instrumento de Recogida y Análisis de Datos

Durante el desarrollo del proyecto, se recopilaron datos para evaluar cuán informada está la comunidad universitaria, realizándose encuestas entre estudiantes y profesores de ciencias agrícolas. Uno de los principales retos a los que nos enfrentamos es el uso de la tecnología en el sector agrícola, y la granja de la universidad ofrece oportunidades significativas de mejora en la disposición de sus espacios agrícolas. A pesar de ello, la falta de información precisa sobre las

características del suelo, la composición del suelo y los patrones actuales de uso limita la capacidad de tomar decisiones informadas que mejoren la productividad y sostenibilidad de la tierra.

Se realizó una encuesta entre 83 personas involucradas en actividades agrícolas; por lo tanto, se realizará un análisis cuantitativo, ya que se utilizarán datos numéricos como porcentajes. Asimismo, la encuesta se administró a 83 personas, proporcionando un dato medible.

**Figura 21.**

*recogida de datos con Google Form.*




*Nota:* Tomado de elaboración propia.

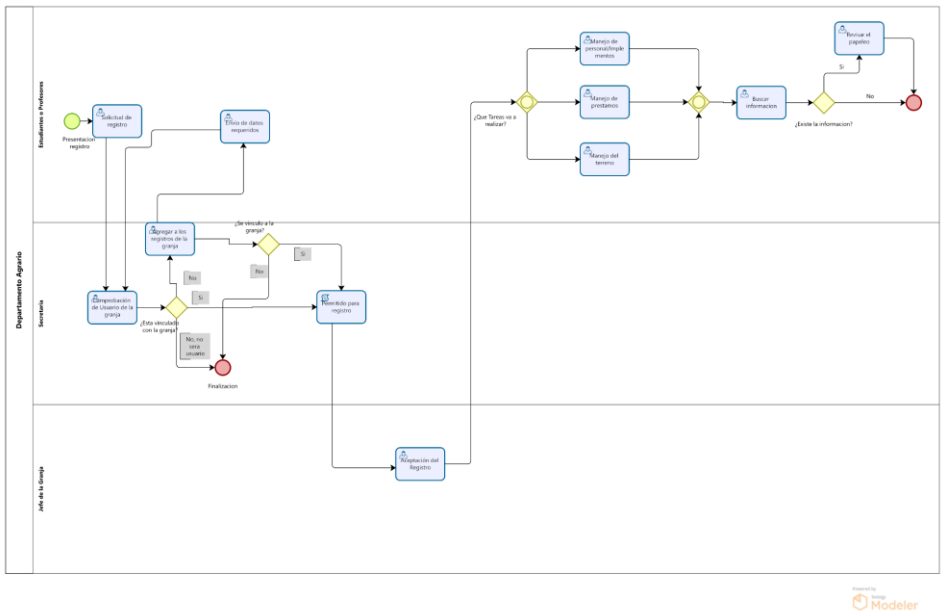
**Modelado**

Inicialmente, los procesos agrícolas eran manuales y basados en la experiencia: los registros se llevaban en papel, los préstamos de implementación se gestionaban únicamente con códigos estudiantiles sin supervisión formal, y la división de tierras se basaba en la experiencia de profesores o estudiantes, sin documentación ni herramientas de apoyo. Este enfoque resultó en una falta de trazabilidad, aumentó el riesgo de errores y redujo la eficiencia.

Con la implementación de la solución digital propuesta, estos procedimientos se estructuran y automatizan. Los registros ahora se gestionan digitalmente, los préstamos se controlan con validación y disponibilidad en tiempo real, y la división de tierras se documenta y estandariza. Esto mejora la organización, la precisión de los datos y la eficiencia operativa de la granja.

**Figura 22.**

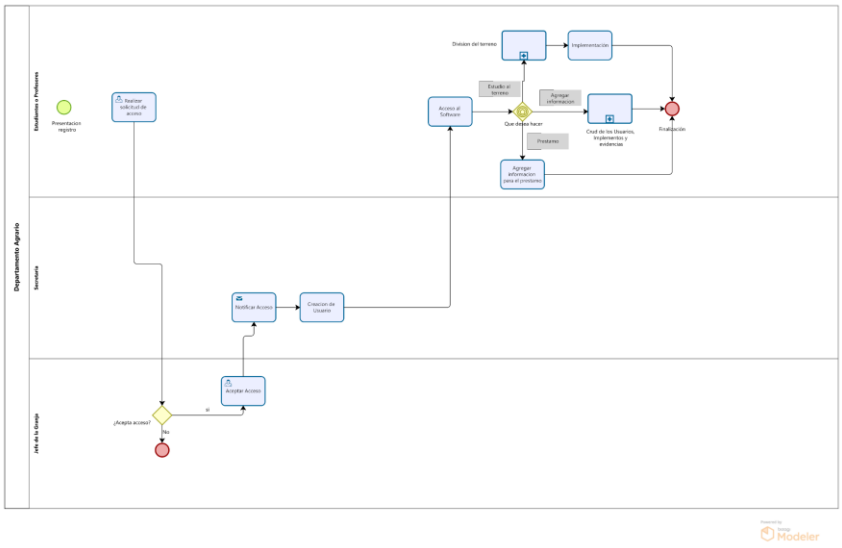
*modelado con modelador bizagi.*




*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Figura 23.**

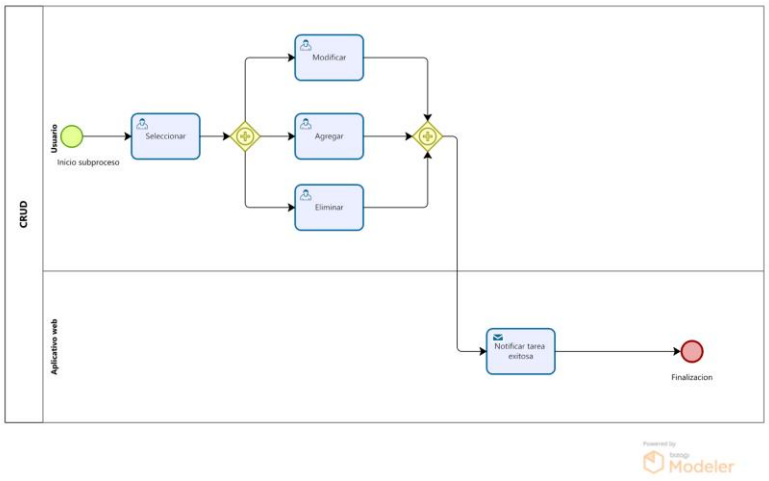
*modelado con modelador bizagi.*




*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Figura 24.**

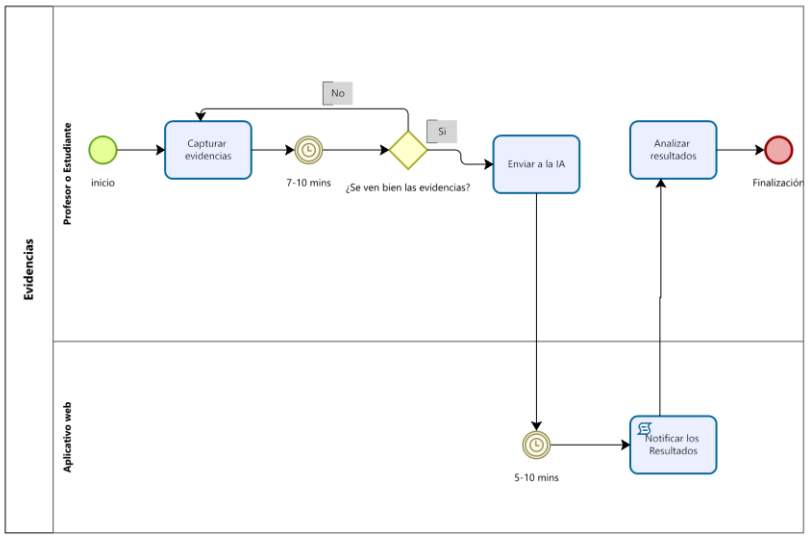
*modelado con modelador bizagi*.




*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Figura 25.**

*modelado con modelador bizagi*.




*Nota:* Tomado de elaboración propia.

**Diseño arquitectónico**

El estilo arquitectónico utilizado es MVC, ya que Laravel se utiliza como estructura. Nos centramos en esto porque Laravel implementa el patrón MVC con una arquitectura adicional en capas para separar responsabilidades y mantener el código organizado y escalable.

Los componentes del frontend son los siguientes:

- Plantillas de hojas: sistema de plantillas de Laravel.
- Bootstrap 4: Marco CSS.
- jQuery: Para interactividad en JavaScript.
- DataTables: Plugin para tablas interactivas con paginación y búsqueda.
- SweetAlert2: Para alertas y confirmaciones elegantes.
- Toggle Bootstrap: Para switches de estado.

Los componentes del backend son los siguientes:

- Marco Laravel: marco PHP MVC.

Para la base de datos, utilizamos:

- Elocuente ORM: El sistema de mapeo objeto-relacional de Laravel
- Migraciones: Control de versiones de bases de datos
- Seeders: Datos iniciales
- XAMPP: Esto se usa para conectarse a phpMyAdmin. XAMPP es un paquete de software gratuito y multiplataforma que te permite crear un servidor web local para desarrollar y probar sitios web en un ordenador personal.

En cuanto a servicios externos, utilizamos varias CDN (Redes de Distribución de Contenido). Los utilizamos porque ofrecen ventajas como mejorar el rendimiento de la web y el soporte para la infraestructura principal de la red.

- CDN de DataTablas: Para funcionalidad de tablas
- CDN Bootstrap: Para estilos CSS
- CDN Font Awesome: Para iconos

Algunas herramientas de desarrollo son:

- Compositor: gestor de dependencias PHP
- Artesano: Laravel CLI para comandos
- Mix/Vite: Compilación de assets (probablemente)
- Git: Control de versiones

**Diagrama arquitectónico**

[Usuario - Navegador]

|

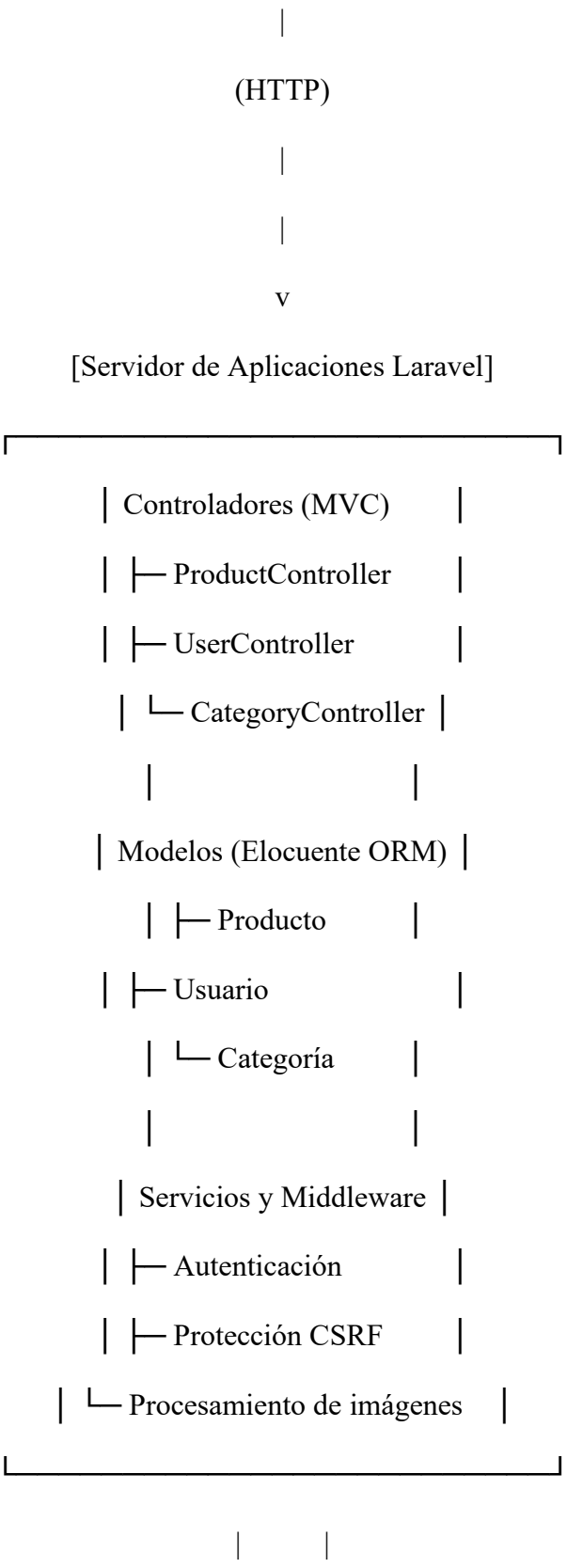
|

v

[Interfaz - Plantillas de cuchillas]

[Bootstrap + jQuery + DataTables]

|


(HTTP)
v
[Servidor de Aplicaciones Laravel]
Controladores (MVC)
ProductController
UserController
CategoryController
Modelos (Elocuente ORM)
Producto
Usuario
Categoría
Servicios y Middleware
Autenticación
Protección CSRF
Procesamiento de imágenes

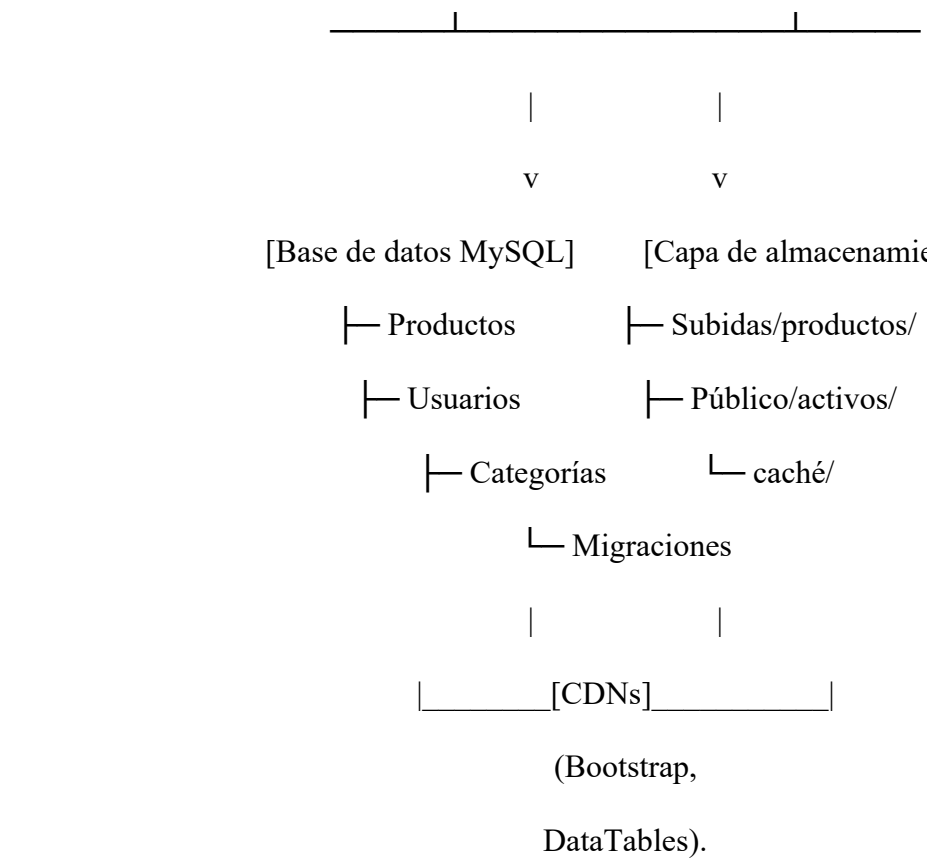
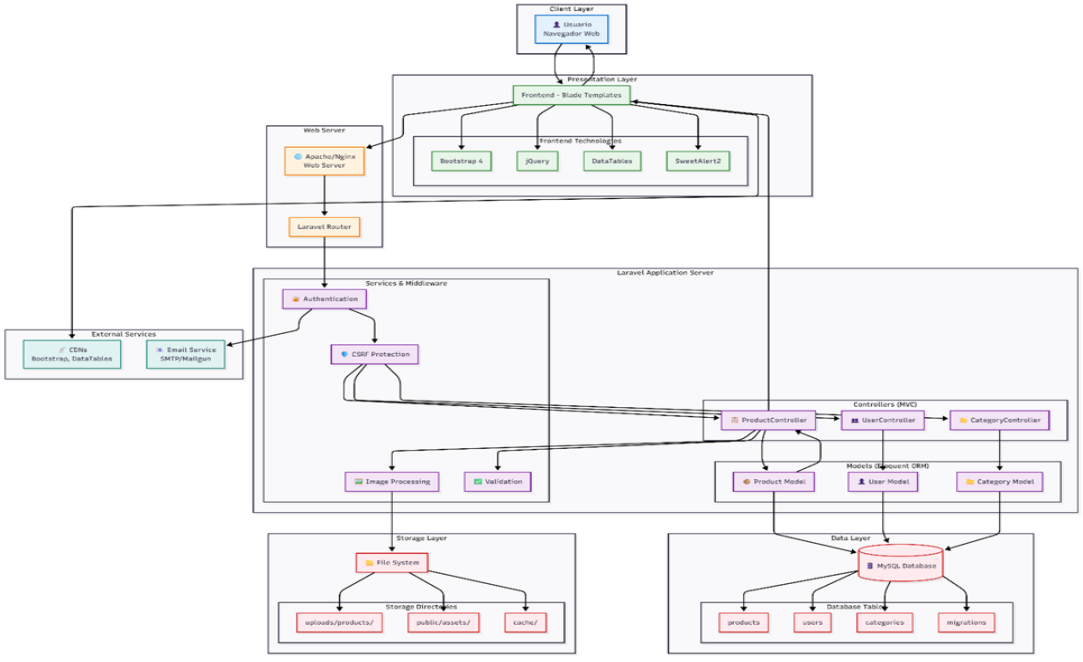



**Figura 26.**

*diagrama arquitectónico en lucidchart.*



*Nota:* Tomado de elaboración propia.

Esto se utiliza porque el modelo MVC separa el código en tres partes: la vista (lo que ve el usuario), el controlador (la lógica que decide qué hacer) y el modelo (que maneja los datos). De este modo, cuando sea necesario hacer cambios en el proyecto, por ejemplo, cómo se ven las tablas de productos, solo hay que tocar una parte sin romper el resto. Es mucho más práctico porque varios desarrolladores pueden trabajar sin afectar el trabajo de los demás, es más fácil encontrar errores y, sobre todo, evita que el código se convierta en un "desastre de espaguetis" donde nadie entiende nada a medida que el proyecto crece.