

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

**Sistema Autónomo de Inspección de Campos con
Computer Vision y Alertas de Eventos en Tiempo Real**

Garcia, Ivan – LU1163832

Urruzuno, Juan Ignacio – LU1123479

Ingeniería Informática

Tutor:

Castro Alfonso, Marcelo, UADE - LU1005824

2025



**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

Resumen

La inseguridad en el ámbito rural de la Argentina es una de las problemáticas que sufren los productores agropecuarios diariamente, quienes padecen de robos de ganado (abigeato) o vandalizaciones como la faena de vacunos dentro de su propiedad.

Estos hechos representan fuertes golpes en la economía de los estancieros, y en el peor de los casos cuando son a gran escala pueden arruinar completamente la actividad. Sin embargo, pese a esto, las medidas que se toman contra la inseguridad suelen ser rudimentarias o muy tradicionales y poco efectivas.

Este proyecto propone la implementación de drones equipados con cámaras y sistemas de computer vision, que permiten el análisis, mediante inteligencia artificial, de los comportamientos tanto de los animales como de posibles intrusos, y, en caso de ser necesario, generar alertas con el objetivo de disuadir el hecho delictivo. De esta manera se busca implementar una solución tecnológica e innovadora para un problema persistente en el campo argentino.

Abstract

Insecurity is one of the main problems faced daily by agricultural producers in rural areas of Argentina, who suffer from cattle theft or acts of vandalism such as the butchering of livestock within their property.

These events dealt severe blows to the economy of landowners and, in the worst cases, when carried out on a large scale, can completely ruin their activity. However, despite the seriousness of the issue, the measures taken to address rural insecurity are often rudimentary, highly traditional, and largely ineffective.

This project proposes the implementation of drones equipped with cameras and computer vision systems capable of analyzing, through artificial intelligence, the behavior of both livestock and potential intruders. If necessary, the system can generate alerts aimed at deterring criminal activity.

In this way, the project aims to provide a technological and innovative solution to a persistent problem in the Argentine countryside.

Contenidos

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Contenidos.....	4
1. Introducción.....	8
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Alcance.....	10
2. Antecedentes.....	12
2.1 Marco Teórico.....	12
2.1.1 Teoría de actividad rutinaria.....	12
2.1.2 Innovación en el campo.....	14
2.1.3 Sector Agropecuario Argentino.....	15
2.1.4 Avances en la tecnología.....	16
2.1.4.1 Computer Vision en el Agro.....	17
2.1.4.2 Vehículos no tripulados.....	17
2.1.5 Crianza y manejo del ganado vacuno.....	18
2.1.5.1 Sistemas de ganadería.....	18
2.1.6 Limitaciones de infraestructura rural.....	19
2.1.6.1 Conectividad.....	19
2.1.6.2 Energía eléctrica.....	19
2.1.6.3 Accesibilidad Física.....	20
2.2 Estado del arte.....	20
2.2.1 Soluciones en Vigilancia.....	21
2.2.1.1 DJI Agriculture.....	21
2.2.1.2 XAG.....	21
2.2.1.3 Hikvision.....	22
2.2.1.4 Dahua Technology.....	23
2.2.2 Soluciones con Inteligencia Artificial.....	24
2.2.2.1 FlyPix AI.....	24
2.2.2.2 DeepAgro (Argentina).....	24
2.2.2.3 Kerow (Brasil).....	25
2.2.3 Drones en el Campo.....	26
2.2.3.1 Red de Drones Agropecuarios del INTA (Argentina).....	26
2.2.3.2 Drones para Localización en Zonas Rurales (i2CAT, España).....	27
2.2.3.3 Drones para Patrullaje Rural en Buenos Aires (Argentina).....	27

2.2.4 Soluciones no tecnológicas.....	28
2.2.5 Comparación.....	29
2.2.6 Océano Azul.....	30
2.2.6.1 Matriz Eric.....	30
2.2.6.2 Curva de valor.....	33
2.2.7 Análisis FODA.....	35
2.2.8 Conclusión del estado del arte.....	36
2.3 User Research.....	37
2.3.1 Conclusión.....	39
2.3.2 User Persona.....	40
3. Descripción.....	41
3.1 Requerimientos.....	43
3.1.1 Requerimientos Funcionales:.....	43
3.1.2 Requerimientos No Funcionales.....	44
3.1.3 Historias de Usuario y relación con requerimientos.....	45
3.1.4 Diagrama de Casos de Uso.....	46
3.1.5 Diagrama de Flujo Funcional.....	47
3.2 Arquitectura del Sistema.....	49
3.2.1 Sistema embebido en el dron.....	50
3.2.2 Servidor local en campo.....	51
3.2.3 Servicios en la nube.....	51
3.2.4 Interfaz de usuario.....	52
3.3 Producto.....	53
3.3.1 Ecosistema de productos complementarios.....	56
3.4 Análisis Económico.....	58
3.4.1 Business Model Canvas (BMC).....	58
3.4.1.1 Socios clave.....	59
3.4.1.2 Actividades clave.....	60
3.4.1.3 Recursos clave.....	60
3.4.1.4 Propuesta de valor.....	60
3.4.1.5 Relación con clientes.....	60
3.4.1.6 Canales.....	61
3.4.1.7 Segmentos de clientes.....	61
3.4.1.8 Estructura de costos.....	61
3.4.1.9 Fuentes de ingresos.....	62
3.4.2 Modelo de Negocio.....	62
3.4.3 Análisis Financiero.....	65

3.4.3.1	Análisis Pesimista.....	65
3.4.3.2	Análisis Neutro.....	66
3.4.3.3	Análisis Optimista.....	67
3.4.3.4	Escenarios.....	68
3.4.4	Conclusión.....	70
4.	Metodologías de desarrollo.....	70
4.1	Herramientas y tecnologías utilizadas en la metodología.....	72
4.2	Tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto.....	72
4.2.1	Computer Vision.....	73
4.2.1.1	OpenCV clásico (Haar Cascades - HOG).....	73
4.2.1.2	TensorFlow / PyTorch con modelos entrenados desde cero.....	74
4.2.1.3	YOLOv8n (Ultralytics).....	75
4.2.2	Infraestructura Cloud.....	76
4.2.2.1	Firestore (Base de datos NoSQL).....	76
4.2.2.2	Cloud Storage.....	76
4.2.2.3	Cloud Functions.....	77
4.2.2.4	Firebase Authentication.....	77
4.2.2.5	Firebase Hosting.....	77
4.2.3	Servidor local.....	78
4.2.3.1	MongoDB.....	79
4.2.3.2	Python.....	79
4.2.3.3	Comunicación serial (UART + LoRa).....	79
4.2.4	Frontend.....	80
4.2.4.1	Next.js.....	80
4.2.4.2	React.....	80
4.2.4.3	ApexCharts / Recharts.....	81
4.3	Conclusión sobre tecnologías.....	81
4.4	Desarrollo.....	82
4.4.1	Computer Vision.....	82
4.4.1.1	Entrenamiento del Algoritmo.....	84
4.4.2	BackEnd.....	87
4.4.3	FrontEnd.....	88
4.4.3.1	Inicio.....	88
4.4.3.2	Alertas.....	90
4.4.3.3	Drones.....	91
4.4.3.4	Animales.....	93
4.4.3.5	Reportes.....	94
5.	Pruebas.....	95

5.1 Pruebas de bajo nivel.....	95
5.1.1 Pruebas de integración.....	97
5.1.2 Pipeline.....	97
6. Discusión.....	97
6.1 Resultados de Pruebas.....	97
6.2 Limitaciones Encontradas.....	98
6.3 Dificultades Técnicas y Resoluciones.....	99
6.4 Diferencias entre Alcance Inicial y Final.....	99
6.5 Evaluación del Cumplimiento de Objetivos.....	100
6.6 Lecciones Aprendidas.....	100
7. Conclusión General.....	100
Bibliografía.....	103
Anexos.....	108
Anexo 1: Cronograma Seguido.....	108
Anexo 2: Entrevistas.....	110
Primera entrevista.....	110
Parte interesada.....	110
Visión y conclusiones.....	110
Transcripción Sintetizada.....	112
Segunda Entrevista.....	117
Parte interesada.....	117
Visión y conclusiones del interesado.....	117
Transcripción Sintetizada.....	119
Tercera Entrevista.....	125
Parte interesada.....	125
Visión y conclusiones del interesado.....	125
Transcripción Sintetizada.....	127

1. Introducción

Históricamente Argentina destacó en el mundo por su agricultura y ganadería, siendo de los mayores productores de materia prima como pueden ser la soja, el trigo o la carne vacuna. Tanto es así que durante el siglo XIX, el país ha sido conocido como el “Granero del Mundo”. [\[Bossini, 2008\]](#)

Por esto mismo el rol de campo en la Argentina es indispensable, es un pilar no solo para el desarrollo económico del país al generar empleo y permitir la exportación de productos tan esenciales sino que también el campo ha dejado una gran marca en la cultura de todos los argentinos.

Sin embargo, por más que sea de las principales actividades productivas, el campo sigue siendo víctima de los mismos actos delictivos que el resto del país, sufren hurtos, robos, vandalismos o intrusiones que, como cualquier otro rubro que es víctima de estos actos, padecen pérdidas económicas muy grandes. [\[Garcia, 2021\]](#) Pero el campo, a diferencia de otros rubros, es una actividad que lleva desarrollándose desde la creación del país, incluso mucho antes, por lo que las personas que se dedican a la tierra, ya sea cultivando o criando ganado, tienen raíces muy tradicionales y arraigadas, por lo que las medidas que toman son muy rudimentarias y suelen dejar al campo muy desprotegido. [\[Lago y otros, 2019\]](#)

El presente proyecto permite al campo adoptar tecnología para mejorar su seguridad y poder lidiar de mejor manera con los actos delictivos que sufren durante su operación cotidiana. La propuesta consiste en utilizar vehículos no tripulados (drones) equipados con cámaras de video y sistemas de computer vision que procesan las imágenes en tiempo real, lo que permitirá a los estancieros monitorear el comportamiento de sus animales como así también ser alertados en cuanto haya conductas anormales o incluso intrusiones. La capacidad de cobertura de los drones supera con creces a la de una persona normal, permitiendo vigilar y patrullar zonas de difícil acceso de manera más eficiente.

Esta solución permite no solo dar conocimiento de comportamientos sospechosos dentro de su propiedad por parte de individuos de manera inmediata al dueño del campo sino

que también permite activar una alarma que busque disuadir al intruso e impedir que el hecho se concrete.

Con los drones vigía se busca mejorar la seguridad en una actividad tan importante y esencial como lo es el campo de una manera más eficiente, moderna y accesible.

1.1 Objetivos

Prevenir hechos delictivos en el ámbito rural a través de la utilización de análisis de video en tiempo real con el fin de dar aviso al responsable del campo. El proyecto se enfoca en campos situados en la provincia de Buenos Aires en el año 2025.

Objetivo General:

Desarrollar un sistema de vigilancia inteligente para prevenir hechos delictivos en el ámbito rural, mediante la detección automática de intrusiones en tiempo real a partir del análisis de video, permitiendo alertar al responsable del campo de manera inmediata. El proyecto se orienta a campos ganaderos ubicados en la provincia de Buenos Aires durante el año 2025, contemplando limitaciones de conectividad y disponibilidad eléctrica propias del entorno.

Objetivos Específicos:

- Implementar un modelo de inteligencia artificial capaz de identificar personas, ganado y vehículos mediante procesamiento de video en tiempo real.
- Integrar el sistema de detección del dron con una plataforma de control remota que permita notificar a los responsables del campo mediante señales visuales o sonoras.
- Incorporar un sistema de alarma sonora a bordo del dron que actúe de forma automática ante la detección de una intrusión, con el fin de disuadir comportamientos delictivos.
- Diseñar una arquitectura de bajo consumo energético y adaptable a zonas sin conexión eléctrica estable, que garantice la autonomía del sistema.
- Validar el funcionamiento del sistema en entornos rurales reales dentro de la provincia de Buenos Aires, evaluando su precisión, cobertura y eficacia en la detección de intrusos durante el año 2025.

1.2 Alcance

El desarrollo de este producto contempla un sistema inteligente de vigilancia aérea automatizada orientado a campos ganaderos que abarca las siguientes funcionalidades:

- Reconocimiento de animales, vehículos y personas: Se utiliza un algoritmo de computer vision, entrenado con vídeos de drones sobrevolando campos y bancos de imágenes de campos ganaderos.
- Detección de amenazas: Mediante parametrizaciones específicas y el entrenamiento del sistema, es posible detectar patrones de comportamiento asociados a hechos delictivos.
- Clasificación: Es posible clasificar en tiempo real los eventos, para poder determinar si se trata de un hecho delictivo o una actividad rutinaria propia del entorno rural, como el desplazamiento de ganado o la presencia de trabajadores autorizados.
- Comunicación: Diseño de una comunicación robusta entre el dron y el centro de control, de forma que permita el envío de datos en tiempo real y la recepción de comandos desde la interfaz.
- Reportes: El sistema contempla la posibilidad de reportar en tiempo real las amenazas a un centralizador ubicado dentro del campo.
- Disuasión de Intrusos: El sistema utiliza un conjunto de alarmas para intentar desanimar la conducta del intruso.
- Desarrollo de una interfaz de usuario: El sistema muestra una interfaz intuitiva con el fin de detallar alertas y disponibilizar información de funcionamiento del sistema al usuario.

Por otro lado, se considera que las funcionalidades no escritas en la sección anterior no estarán incluidas dentro del proyecto; se detallan puntos importantes que no conforman parte del proyecto.

- Implementación física del dron: No se contempla el desarrollo, compra ni ensamblaje físico del dron. El foco está puesto exclusivamente en el diseño e implementación del
-

sistema de detección de amenazas mediante procesamiento de video en tiempo real, simulando su funcionamiento sobre un dron.

- Cobertura total del terreno: No se aborda la planificación de rutas óptimas ni la cobertura total del terreno rural mediante patrullaje automatizado. Se trabaja sobre un conjunto acotado de escenarios simulados para validar el sistema de detección.
- Integración con fuerzas de seguridad: No se realizan conexiones con sistemas de seguridad externos (como policía rural o centros de monitoreo). Las alertas están pensadas para uso privado del propietario o encargado del campo.

2. Antecedentes

2.1 Marco Teórico

En esta sección, se explican los conceptos básicos sobre situaciones de robo en campos y su posible prevención.

2.1.1 Teoría de actividad rutinaria



Figura 1: Confluencia de factores para el delito. Fuente: [Iustopía](#)

La teoría de actividad rutinaria, escrita en los años 80, sostiene que el delito ocurre cuando se acumulan los siguientes factores [[Cohen, L. E. & Felson, M., 1979](#)]

- Un objetivo adecuado
- Un infractor motivado
- Un guardián incapaz

Si se traslada a la temática de este documento es sencillo identificar los factores de manera rápida. En primer lugar, los objetivos adecuados son los animales del campo, en particular el ganado vacuno, debido a su alto valor en el mercado. No solo representan una inversión importante para los productores, sino que también son codiciados por su rentabilidad: en muchos casos, los delincuentes no solo buscan llevarse el animal entero, sino que incluso proceden a faenarlo en el lugar y comercializar de forma ilegal la carne, el cuero y otros subproductos. Esta combinación de valor y vulnerabilidad convierte al ganado en un objetivo ideal desde la perspectiva del infractor.

Por otro lado, es fácil identificar al guardián incapaz, ya que cualquier sereno o casero rural carece de la capacidad de proteger el campo de manera correcta, debido a su amplia extensión, a la limitación natural que tiene el ser humano en cuanto a alcance en escucha y vista; y a la falta de acceso a tecnología de calidad que le facilite la tarea de protección del campo. Esta vulnerabilidad refuerza la necesidad de implementar sistemas automatizados de monitoreo y disuasión, como el que se propone en este proyecto.

2.1.2 Innovación en el campo



Figura 2: Tecnología en el Agro. Fuente: [Link](#)

El sector agroindustrial argentino invierte de manera sostenida en tecnologías que resguardan y amplifican el valor de producción. Ésto puede verse en tecnologías específicas de agricultura, como modelos de inteligencia artificial que permiten anticipar cambios de clima.

Dentro del mismo concepto, los productores ganaderos invierten en sensores IoT que le brindan información sobre los animales; peso, temperatura, alimentación entre otros aspectos. La digitalización de los feedlots y campos abiertos se expande a todos los productores por un simple hecho; permite mejorar el resultado económico del negocio. *“Smart farming leverages IoT and AI to provide real-time insights into animal health and environmental conditions, thereby enhancing decision-making and resource management”* [[Wolfert et al, 2017](#)]

Bajo esta lógica de protección del capital, el inversor agroindustrial confía en la tecnología para recibir alertas precisas y oportunas, ya sea para predecir algo básico como una helada o bien para recibir alertas sobre la seguridad de sus inversiones

2.1.3 Sector Agropecuario Argentino

Para dimensionar de manera adecuada el proyecto, es de vital importancia comprender el público involucrado, en este caso el sector agropecuario argentino.

El último censo nacional agropecuario realizado en 2018 ofrece datos de alto valor que deben ser considerados en el desarrollo de este proyecto.

Escala de extensión por rangos en hectáreas							
Hasta 5	5,1 - 10	10,1 - 25	25,1 - 50	50,1 - 100	100,1 - 200	200,1 - 500	500,1 - 1.000
31.088	15.163	28.261	24.284	25.226	25.824	32.020	18.592

Figura 3: Relación entre extensión y cantidad de EAPs* según el INDEC (2018).EAP

*EAP. Unidad de explotación que se considera única mientras mantenga una dirección y administración comunes y comparta recursos productivos (maquinaria, personal, insumos).

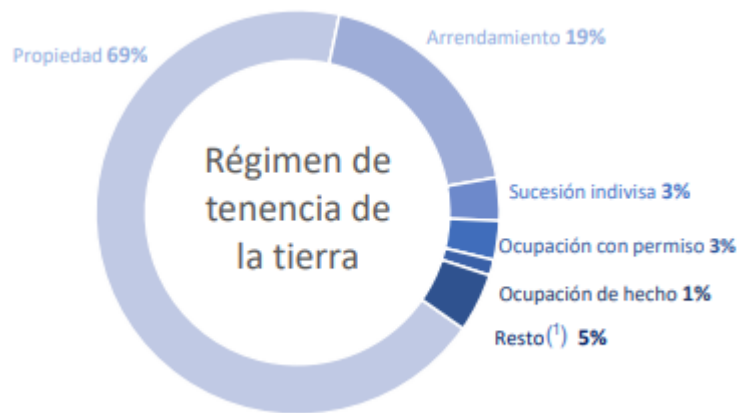


Figura 4: Régimen de tenencia según el INDEC (2018).

- Régimen de tenencia - el 69% es propietario de sus campos.
- Extensión - el 53% de los productores tienen entre 25 y 500 hectáreas
- Pequeños productores - el 15% del total de productores tiene menos de 5 hectáreas

Los datos son concluyentes; la mayoría de los estancieros tiene una cantidad de hectáreas difícil de proteger de manera tradicional, lo que tiene una relación directa con la delincuencia. Además, más de 32 mil productores tienen entre 200 y 500 hectáreas, lo que deja entrever una capacidad de inversión razonable para adoptar nuevas tecnologías.

2.1.4 Avances en la tecnología

Durante la última década, los avances en la tecnología, como puede ser la inteligencia artificial o los vehículos no tripulados permitieron simplificar la seguridad en grandes terrenos, ya que es posible recorrer en poco tiempo terrenos irregulares simplemente sobrevolándolos.

2.1.4.1 Computer Vision en el Agro

El computer vision aplica redes neuronales profundas para extraer en tiempo real la posición y la clase de cada objeto dentro de un fotograma [\[Kamilaris & Prenafeta-Boldu, 2018\]](#). En agricultura y ganadería ya se emplean para algunas finalidades como detección de malezas o de especies. Si esta tecnología se aplica en un vehículo no tripulado, sin necesidad de transmitir el video, se reduce drásticamente la velocidad de detección, ya que la clasificación de alertas se podría realizar prácticamente en tiempo real. Todo esto puede realizarse gracias a las redes neuronales, sin esta tecnología el análisis de imágenes sería extremadamente costoso computacionalmente, impidiendo procesarlo sin muchos recursos de hardware.

2.1.4.2 Vehículos no tripulados

Los vehículos no tripulados, como drones autónomos, están revolucionando la forma en que se realizan tareas de monitoreo y control en grandes superficies. Estos sistemas permiten inspeccionar extensas áreas sin la necesidad de intervención directa de operadores, lo que incrementa la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a la vigilancia y supervisión de campos. Los drones, por ejemplo, están equipados con cámaras multispectrales y sensores que recopilan datos valiosos sobre el estado de los cultivos o la presencia de animales.

El uso de estos vehículos autónomos en la agricultura y ganadería permite superar desafíos que presentan los métodos tradicionales, como el acceso limitado a zonas remotas o con difícil acceso. Además, los vehículos no tripulados pueden programarse para realizar vuelos o recorridos periódicos, garantizando una cobertura constante y actualizada del área bajo supervisión. Al integrar la tecnología de computer vision en estos vehículos, se logra no solo la detección de posibles amenazas o anomalías, sino también la clasificación y priorización automática de las alertas, contribuyendo a una respuesta más rápida y precisa.

2.1.5 Crianza y manejo del ganado vacuno

Argentina es uno de los principales países ganaderos a nivel mundial, con una población bovina que ronda las 50 a 55 millones de cabezas en los últimos años. Al cierre de 2024 se contabilizaron oficialmente 51,63 millones de bovinos lo que significó una reducción del 2,2% respecto al año anterior que se puede atribuir a la fuerte sequía de 2023.

2.1.5.1 Sistemas de ganadería

Históricamente la ganadería argentina se basa en sistemas extensivos a pasto: la mayor parte de los animales se crían en campos abiertos con alimentos naturales o cultivados. Según datos oficiales [[Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca, 2025](#)], el 64% de las unidades productivas bovinas del país corresponden a establecimientos de cría (principalmente orientados a la reproducción de terneros), concentrando alrededor del 55% del stock nacional, mientras que los sistemas mixtos de ciclo completo (cría + engorde) e invernada (engorde de ganado comprado o propio) representan conjuntamente cerca de un tercio del total.

En cambio, los sistemas intensivos son minoritarios: existen 1.121 feedlots (corrales de engorde) registrados en todo el país, lo que equivale a aproximadamente solo 1% de las unidades productivas y 3% del stock de bovinos a nivel nacional. Del mismo modo, los tambos (establecimientos lecheros) constituyen una fracción pequeña pero importante, dedicados a la producción de leche vacuna.

En conclusión, esto implica que la crianza tradicional a campo domina el manejo ganadero argentino. Los grupos de cría se manejan extensivamente: las vacas madres paren los terneros en el campo y éstos luego se destetan para ser recriados a pasto (en campos de invernada) o, en menor medida, terminados en feedlots.

2.1.6 Limitaciones de infraestructura rural

2.1.6.1 Conectividad

Un factor crítico que incide en la seguridad de los campos ganaderos es la infraestructura básica disponible en las zonas rurales. La conectividad y electrificación rural son condicionantes para poder aplicar tecnologías modernas de vigilancia (cámaras IP, sensores, alambrados inteligentes, drones, etc.) en los establecimientos agropecuarios dispersos por el interior del país.

En Argentina, lamentablemente, persiste una importante brecha entre las áreas urbanas y las rurales en cuanto a acceso a internet y otros servicios. Según un relevamiento conjunto del INTA y ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones), al año 2021 el 40,2% de los parajes rurales de la Argentina no tienen acceso a internet [\[INTA & ENACOM, 2021\]](#). Este estudio abarcó 311 parajes rurales en 21 provincias, y además mostró que si se incluyen los lugares con conexión muy deficiente o intermitente, la proporción de zonas rurales sin una conectividad adecuada asciende hasta el 80%. En otras palabras, solamente alrededor de 1 de cada 5 comunidades rurales contaba con buen acceso a internet, lo que evidencia un atraso importante. El sector más afectado por esta carencia es el de la agricultura familiar, campesina e indígena (productores de pequeña escala en áreas alejadas).

La falta de conectividad no es solo un problema técnico sino también social: impacta en las oportunidades de educación, comunicación, comercio y en general en la calidad de vida en el campo. Es decir, muchos jóvenes abandonan el campo en parte por la ausencia de conectividad y modernidad, lo que redundará en menor mano de obra e interés por actividades como la ganadería en ciertas regiones.

2.1.6.2 Energía eléctrica

Otro limitante importante es el acceso a la energía eléctrica en forma confiable. Si bien la tasa de electrificación rural ha mejorado en las últimas décadas, todavía existen miles de productores fuera del alcance de la red eléctrica pública (especialmente en regiones del norte

y zonas áridas de baja densidad poblacional). Para mitigar esto, el Estado nacional implementó el programa PERMER (Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales), que financia la instalación de paneles solares, mini redes y otras soluciones off-grid en parajes aislados. Solo en 2023 se planificó la construcción de 13 mini-redes solares para pueblos rurales sin conexión a red en provincias como Salta, Jujuy y Río Negro. En el marco de PERMER, también se distribuyeron 2.600 boyeros solares (equipos de electrificación de alambrados mediante energía solar) beneficiando a 10.000 pequeños productores rurales en 19 provincias. Estos boyeros eléctricos permiten a productores que no tienen acceso a la red eléctrica mantener alambrados electrificados para el control del ganado. [Econo Journal, 2022]

2.1.6.3 Accesibilidad Física

La accesibilidad física es otra restricción: gran parte de la infraestructura vial rural son caminos de tierra o ripio, a veces en mal estado o intransitables bajo lluvias. Estancias ganaderas extensas pueden encontrarse a decenas de kilómetros del poblado más cercano, comunicadas por caminos rurales precarios. Esto no solo complica el acceso de las fuerzas de seguridad ante un incidente (un patrullero puede demorar horas en llegar a un campo remoto), sino también la instalación y mantenimiento de tecnología de vigilancia que requiera soporte técnico frecuente.

2.2 Estado del arte

El análisis del estado del arte nos permite comprender cómo se encuentra el panorama actual de soluciones tecnológicas dirigidas al monitoreo y seguridad rural. En esta sección se analizan propuestas existentes en el mercado que buscan resolver problemáticas similares a la línea del proyecto, con el fin de establecer una base comparativa que permita identificar ventajas diferenciales.

2.2.1 Soluciones en Vigilancia

2.2.1.1 DJI Agriculture

DJI, es una marca que destaca por su liderazgo en la industria de los vehículos aéreos no tripulados, ha extendido su influencia hacia el sector agropecuario mediante el desarrollo de drones especializados que integran funciones de monitoreo, análisis y asistencia directa en labores agrícolas. La marca desarrolló una línea “Agras” constituye una de las principales innovaciones en este sentido, ya que permite la fertilización, fumigación y siembra autónoma a través de dispositivos altamente automatizados y precisos. Estas capacidades operativas no solo mejoran la eficiencia productiva, sino que también reducen los costos de insumos y la exposición de los operarios a productos químicos.

En paralelo, DJI también ha desarrollado drones orientados a la captura de imágenes de alta resolución y video térmico, como los modelos de la serie Mavic. Estos dispositivos son utilizados tanto para fines cinematográficos como para inspecciones técnicas, debido a la calidad de sus sensores ópticos y térmicos. Esta combinación convierte a DJI en un referente indiscutido en la vigilancia aérea, especialmente en contextos rurales donde la inspección visual y la detección temprana de anomalías resultan fundamentales para la seguridad y el control operativo de grandes extensiones de terreno. [DJI Enterprise, s.f.]

Si bien DJI no ofrece un sistema cerrado de seguridad rural como tal, su ecosistema de drones con cámaras térmicas y sensores de alta fidelidad representa una competencia tecnológica indirecta para este proyecto, en tanto proporciona las herramientas necesarias para desarrollar soluciones de vigilancia personalizadas a partir de sus plataformas modulares.

2.2.1.2 XAG

XAG, también de origen chino, constituye otro de los referentes internacionales en el desarrollo de tecnología agrícola basada en drones. Su propuesta se enfoca en la implementación de soluciones de agricultura inteligente, mediante dispositivos que automatizan procesos como la pulverización de fitosanitarios, la fertilización localizada, el

monitoreo del crecimiento de cultivos y la recopilación de imágenes aéreas. Sus plataformas combinan sensores de alta precisión con capacidades avanzadas de planificación de rutas, lo cual les permite adaptarse de manera dinámica a la topografía del terreno y a las necesidades específicas de cada parcela.

Uno de los aspectos más destacados de los drones desarrollados por XAG es su capacidad de retransmisión de vídeo en tiempo real y su compatibilidad con tecnologías de mapeo 3D. Estas características los posicionan como herramientas valiosas no solo para la supervisión agronómica, sino también para tareas de vigilancia rural, control de perímetros y detección de intrusiones. Aunque su enfoque primario está orientado a la productividad agrícola, la calidad y versatilidad de sus sistemas de visión convierten a XAG en un competidor indirecto en el ámbito de la seguridad rural automatizada. [XAG, s.f]

Al igual que DJI, XAG no desarrolla sistemas de seguridad con lógica propia para vigilancia rural, pero su oferta tecnológica constituye una alternativa factible para aquellos productores que buscan soluciones integradas mediante el ensamblaje de componentes ya existentes.

2.2.1.3 Hikvision

En el ámbito de la videovigilancia fija, Hikvision es una de las empresas líderes a nivel mundial, con una fuerte presencia en diversos sectores gracias a su oferta de cámaras inteligentes potenciadas por inteligencia artificial. Su catálogo incluye dispositivos capaces de detectar movimiento, identificar vehículos, personas y animales, y reconocer comportamientos específicos mediante algoritmos entrenados para diferentes funciones. Este enfoque permite no solo una vigilancia pasiva, sino también la generación de alertas automáticas, mejorando la eficiencia de los sistemas de seguridad.

En contextos rurales las soluciones de Hikvision resultan particularmente atractivas debido a su capacidad de operar de forma continua, con bajo mantenimiento y sin intervención humana directa. La posibilidad de integrar estos sistemas con sensores térmicos y plataformas de análisis remotas refuerza su potencial como herramienta de monitoreo para

la prevención de delitos como el abigeato o el ingreso no autorizado a predios productivos. [Hikvision Digital Technology Co., LTD., s.f.]

Aunque su enfoque está más vinculado a instalaciones fijas, Hikvision representa una competencia directa en términos de infraestructura de videovigilancia con IA, siendo una opción viable para campos que opten por una solución basada en cámaras estáticas en lugar de vehículos aéreos o móviles autónomos.

2.2.1.4 Dahua Technology

Dahua Technology, considerada la segunda empresa más relevante del sector de la videovigilancia después de Hikvision, también sacó al mercado una línea de productos inteligentes bajo la marca WizSense, los cuales incorporan algoritmos de inteligencia artificial diseñados para la detección y seguimiento de personas y vehículos. Estos son capaces de filtrar en tiempo real objetos irrelevantes como animales silvestres, ramas o sombras, lo que reduce la tasa de falsos positivos y mejorando la eficiencia.

Entre sus funcionalidades se destacan la “selección rápida”, una herramienta que permite a las cámaras identificar y seguir entidades específicas en movimiento a lo largo de su campo de visión. Esta capacidad resulta particularmente útil en entornos abiertos como los rurales, donde el seguimiento automatizado de intrusos, vehículos sospechosos o movimientos inusuales puede significar la diferencia entre una respuesta efectiva y la omisión de un incidente crítico. Dahua ha orientado sus productos hacia múltiples contextos, desde espacios urbanos hasta establecimientos agropecuarios, consolidándose como un actor clave en la provisión de soluciones de vigilancia inteligente. [Dahua Technology, s.f.]

En este sentido, Dahua representa una competencia directa con respecto al presente proyecto, en tanto ofrece soluciones accesibles de vigilancia fija con análisis inteligente de imágenes, especialmente aplicables en establecimientos rurales que buscan un sistema de monitoreo automatizado sin recurrir a tecnologías móviles como los drones.

2.2.2 Soluciones con Inteligencia Artificial

2.2.2.1 FlyPix AI

FlyPix AI es una empresa (fundada en 2023) que ha emergido como una propuesta innovadora en el campo del análisis geoespacial automatizado. Su plataforma combina imágenes satelitales y capturas de drones con algoritmos avanzados de inteligencia artificial, orientados a la detección de objetos, el monitoreo de cambios en el entorno y la identificación de patrones inusuales. Esta integración tecnológica permite generar información precisa y en tiempo real, lo cual resulta particularmente valioso en sectores como la agricultura de precisión, la construcción y la vigilancia ambiental, donde el acceso a datos visuales actualizados es crítico para la toma de decisiones operativas.

Una de las características distintivas de *FlyPix AI* es su enfoque en la adaptabilidad del sistema. La plataforma ofrece entrenamientos personalizados de modelos de IA según las necesidades específicas del cliente, además de visualizaciones avanzadas como mapas de calor y herramientas de localización georreferenciada. Esta versatilidad técnica amplía su espectro de aplicación y permite abordar múltiples problemáticas a partir de un mismo flujo de datos visuales. A su vez, la capacidad de procesamiento masivo de imágenes aéreas sitúa a *FlyPix AI* como una solución escalable para la gestión y supervisión remota de grandes extensiones de terreno. [FlyPix AI, s.f.]

Aunque su enfoque principal no está centrado específicamente en la seguridad rural ni en la vigilancia de ganado, *FlyPix AI* constituye una competencia indirecta para este proyecto, en tanto comparte el uso de vehículos aéreos no tripulados y visión artificial para el análisis de variables críticas en entornos rurales.

2.2.2.2 DeepAgro (Argentina)

DeepAgro es una empresa argentina que ha orientado su trabajo al desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial para el sector agrícola. Su principal innovación, denominada *SprAI*, consiste en un sistema de visión artificial que permite realizar

aplicaciones selectivas de herbicidas a través del reconocimiento automatizado de malezas tanto en barbecho como en estadios avanzados del cultivo. El sistema es capaz de distinguir entre las plantas indeseadas y el cultivo principal mediante el análisis de patrones morfológicos, lo que permite una intervención precisa y localizada.

Una de las principales ventajas del enfoque de *DeepAgro* radica en su capacidad de integrarse a la maquinaria agrícola convencional, como tractores y pulverizadoras, sin necesidad de recurrir a plataformas especializadas o de alto costo. Esto no solo favorece la adopción por parte de productores de distintas escalas, sino que también contribuye a una significativa reducción en el uso de agroquímicos, con el consiguiente impacto económico y ambiental positivo. La propuesta tecnológica de *DeepAgro* se inscribe en una línea de desarrollo orientada a la eficiencia de insumos y a la sostenibilidad del manejo agronómico. [[DeepAgro, s.f](#)]

Si bien el enfoque de *DeepAgro* no se orienta directamente a la vigilancia ni al monitoreo de ganado o seguridad rural, su inclusión dentro del panorama competitivo resulta pertinente, en tanto representa una aplicación avanzada de inteligencia artificial en entornos agrícolas extensivos. La empresa demuestra la viabilidad técnica y comercial de soluciones basadas en visión computarizada en el contexto productivo argentino, lo que refuerza la noción de que existe una demanda creciente de herramientas tecnológicas que respondan a problemáticas específicas del ámbito rural mediante métodos automatizados y escalables.

2.2.2.3 Kerow (Brasil)

Una de las iniciativas más relevantes en el ámbito de la innovación tecnológica aplicada al sector ganadero es Kerow, una startup de origen brasileño que ha centrado sus desarrollos en el uso de inteligencia artificial para el reconocimiento individual del ganado vacuno. Su propuesta se basa en la implementación de sistemas de visión por computadora que permiten identificar a cada animal mediante técnicas comparables al reconocimiento facial, aplicadas en este caso a bovinos. Este enfoque busca reducir la dependencia de métodos tradicionales de identificación, como el marcado físico o los chips RFID, proponiendo una solución menos invasiva y con menor margen de error.

Además del reconocimiento individual, el sistema desarrollado por Kerow está en proceso de expansión hacia otros módulos funcionales, como la estimación del peso corporal y el monitoreo de la salud del animal. Estas funciones se realizan a través del análisis automatizado de imágenes y videos capturados en el entorno de los corrales o pasillos de manejo. De este modo, la propuesta tecnológica apunta a mejorar la eficiencia de los procesos productivos al reducir la necesidad de manipulación directa del ganado, minimizando el estrés animal y los riesgos asociados para los operarios.[Kerow, s.f.]

La propuesta de Kerow busca integrar herramientas de inteligencia artificial y análisis de datos para optimizar la gestión del rodeo. Aunque su enfoque principal no se orienta a la vigilancia o la seguridad, como lo hace el presente proyecto, su desarrollo resulta relevante en tanto demuestra el potencial del computer vision aplicado a la ganadería. Además, su implementación representa una competencia indirecta en el sentido de que aborda problemáticas similares (como la identificación, el control y el seguimiento de animales) desde un enfoque complementario que prioriza el monitoreo sanitario y la trazabilidad productiva.

2.2.3 Drones en el Campo

2.2.3.1 Red de Drones Agropecuarios del INTA (Argentina)

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a través de sus programas de innovación tecnológica, puso en marcha la primera red de drones agropecuarios en América Latina. Esta iniciativa busca aprovechar el potencial de los vehículos aéreos no tripulados en tareas concretas del agro como relevamientos topográficos, conteo de ganado y plantas, y monitoreo del estado general de los cultivos. Según lo presentado en la Expo Rural 2024, esta red no solo apunta a tareas productivas, sino también a fortalecer la investigación y generar protocolos estandarizados de captura de datos.

“Esta herramienta potenciará el conocimiento adquirido a fin de vincular las experiencias locales de manera más ordenada con las tareas de integración de datos e información, así como crear protocolos institucionales de control de calidad y validación de

los distintos tipos de uso. Además, brindará la posibilidad de generar intercambios sobre modelos comunes para el pre-procesamiento y calibración de la información primaria” [Visentini, 2024]

Aunque el enfoque está más vinculado a investigación agronómica y no directamente a la seguridad rural, representa una referencia nacional en cuanto al uso de drones en el agro, y su experiencia puede servir de base para proyectos de vigilancia o monitoreo más específicos.

2.2.3.2 Drones para Localización en Zonas Rurales (i2CAT, España)

El centro de investigación i2CAT en España viene trabajando con drones enfocados a la detección y localización de personas en entornos rurales. Lo innovador del proyecto es que combinan inteligencia artificial con conectividad 5G, lo que les permite procesar la información directamente en el dispositivo (edge computing) sin necesidad de conexión constante a servidores externos. Esto les da una gran ventaja en lugares donde no hay buena cobertura de red. [I2CAT Foundation, s.f.]

Los drones desarrollados pueden detectar personas, animales o incluso ciertos eventos ambientales como focos de incendio o zonas secas. Si bien se pensaron originalmente para respuestas en emergencias o situaciones humanitarias, también tienen aplicaciones en el monitoreo de campos y predios alejados.

2.2.3.3 Drones para Patrullaje Rural en Buenos Aires (Argentina)

En 2023, el Gobierno de la provincia de Buenos Aires anunció una inversión significativa para incorporar drones en patrullajes rurales, con el objetivo de reforzar la prevención del delito en zonas donde es difícil llegar con patrulleros tradicionales. Según datos oficiales, se adquirieron drones capaces de mantener una cámara activa durante 10 horas continuas, con transmisión en vivo de hasta 100 km de alcance.

“Para poder abordar el delito en zonas rurales, necesitábamos desarrollar nuevos métodos, adquirir tecnología y formar al personal policial para dar una respuesta inmediata

pese a los largos desplazamientos y las zonas que muchas veces resultan intransitables”
[Kicillof, 2023]

La propuesta busca responder a la problemática del robo de ganado y otras amenazas rurales, funcionando como apoyo aéreo desde bases móviles (trailers del 911). Aunque el proyecto es de origen estatal y se vincula a políticas de seguridad, su implementación muestra cómo los drones pueden integrarse a estrategias de vigilancia en campo abierto, marcando un precedente importante a nivel local que puede escalarse o adaptarse a iniciativas privadas más específicas.

2.2.4 Soluciones no tecnológicas

En términos de soluciones actuales a la problemática del hurto o robo de ganado, muchos dueños de campo vienen de una cultura poco tecnológica y son más rudimentarios o tradicionales por lo que sus opciones para lidiar con dichos problemas siguen esta línea.

Es muy común que los estancieros realicen patrullas de monitoreo a pie (solos o acompañados de un grupo de acompañantes) de manera muy esporádica, a veces armados otras veces no, sin importar si esta práctica pone en riesgo su seguridad. Otros delegan esta tarea a personas denominadas serenos o caseros, pero sigue siendo en esencia lo mismo, una persona que pone en riesgo su seguridad sin nada que garantice que pueda evitar el hecho a causa de las limitaciones físicas que puede tener una persona.

También, algo que viene de la mano de dejar el cuidado de tus tierras a un encargado es que el dueño del campo debe brindarle una vivienda y garantizar todas sus necesidades básicas lo que incurre en costos de vivienda además del salario que deba pagarle.

Sumado a esto, algo que no puede pasar desapercibido, es que no cualquiera puede ser casero de una finca, el designado tiene que ser alguien en el cual el estanciero pueda tener plena confianza, ya que pueden suceder actos delictivos donde no hay testigos ni pruebas contundentes donde si no se tiene la total confianza, comienzan las sospechas y las relaciones interpersonales se pueden llegar a arruinar, pudiendo provocar que el trabajo que se realiza no se haga de la manera más óptima.

Se ha sabido de casos -mencionados en las entrevistas- donde el designado al cuidado del campo realizaba acciones ilícitas a escondidas del patrón para obtener ingresos extras, como el sub-alquilar el campo a otros estancieros, robarse follaje o incluso hacer vista gorda a los hurtos de terceros (incluso ayudándoles).

2.2.5 Comparación

Resumiendo, existen varias soluciones tecnológicas relacionadas al tópico, ya sea por la parte de innovación en tecnología de vigilancia, en la utilización de drones para seguridad y mapeos, o como en la implementación de Inteligencia Artificial en las distintas áreas. Sin embargo, ninguna abarca todos los puntos a la vez lo que es el punto diferencial del proyecto, fusionar la vigilancia, los drones y la IA en una sola solución que brinde la facilidad de monitoreo de ganado vacuno a los terratenientes que sufran de el problema de abigeato.

Esta opción integradora también resuelve muchos de los puntos flojos que tenía una solución más tradicional, ya no se tienen limitaciones físicas de acceso a los lugares donde se encuentra el ganado, ya que no se debe ir a pie o en vehículo sino que se puede acceder de manera aérea; es más seguro a la hora de no tener que hacer frente personalmente a delincuentes que pueden ir armados y es más confiable ya que no puede ser corrompido por objetivos monetarios.

Frente a los competidores analizados, el sistema propuesto se destaca por ofrecer una vigilancia activa, con capacidad de detección en tiempo real, seguimiento autónomo y respuestas disuasorias, todo integrado en una solución móvil y adaptable a campos de diversas extensiones. A diferencia de plataformas que sólo realizan monitoreo visual, análisis de cultivos o detección estática de objetos, esta propuesta pone el foco en la prevención de delitos rurales, combinando tecnología de punta con una lógica de uso sencilla pensada para productores que no necesariamente tienen formación técnica. Es una herramienta diseñada no sólo para recopilar información, sino para proteger, responder y reducir riesgos humanos, posicionándose como una solución diferencial frente al resto de las opciones del mercado.

Solución / Competidor	Enfoque principal	Cobertura geográfica	Autonomía / Eficiencia	Diferenciales positivos	Limitaciones / Riesgos
Solución Propia	Seguridad y monitoreo en tiempo real con IA	Campos rurales sin necesidad de red fija	Autónomo, IA toma decisiones y rastrea	Vigilancia activa, seguimiento, alarmas y disuasión	Requiere inversión inicial y capacitación técnica
Kerow	Identificación y control sanitario de ganado	Establos y rodeos	Automático pero limitado a imágenes fijas	Reconocimiento facial bovino, sin manipulación	No sirve para vigilancia ni respuesta
DeepAgro	Detección de malezas y uso eficiente de herbicidas	Cultivos en barbecho y sembrados	Preciso en su función pero dependiente del tractor	Ahorro agroquímicos, integración con maquinaria	Enfocado en cultivo, no sirve para seguridad
FlyPix AI	Análisis geoespacial con IA	Regiones amplias con visión satelital/dron	Procesa grandes volúmenes de datos, no interviene	Análisis multifuente, adaptable	No orientado a vigilancia, requiere interpretación
DJI Agriculture	Drones agrícolas (fumigación, siembra, térmico)	Parcelas agrícolas	Autónomos, tareas específicas	Uso múltiple, incluye cámara térmica	No diseñado para seguridad, requiere adaptación
XAG	Agricultura inteligente, mapeo 3D	Terrenos agrícolas	Rutas inteligentes, buena autonomía	Adaptación a topografía y terreno	No enfocado a vigilancia ni seguridad
Hikvision	Videovigilancia con IA en espacios fijos	Instalaciones con cámaras fijas	Permanente, pero no móvil	Filtrado de objetos, IA avanzada	No cubre grandes extensiones, fijo
Dahua Technology	Videovigilancia IA con seguimiento inteligente	Instalaciones abiertas o cerradas con cámaras	Fija con IA en tiempo real	Seguimiento de entidades específicas	No móvil, depende de ubicación fija
Soluciones Tradicionales (caseros, serenos)	Custodia humana con o sin armas	Limitada a presencia humana	Limitada, no sistemática ni segura	Relación directa, bajo costo, pero inseguro	Riesgos humanos, corrupción, fatiga

Figura 5: Cuadro comparativo de los diferentes competidores.

2.2.6 Océano Azul

La estrategia de océano azul corresponde a un análisis que se realiza para crear nuevos espacios de mercado que se encuentran sin competencia. En lugar de competir en un mercado saturado (océano rojo) donde la única manera de hacerle frente a los competidores es reduciendo los precios al público o mejorando la calidad de los servicios (lo cual es difícil sin aumentar el precio final), el mercado sin competencia (océano azul) nos permite poner tus precios y calidad libremente, pero para entrar en el mercado nuevo y sin explorar es necesario de innovación y de diferenciarse lo suficiente de la competencia. [Kim & Mauborgne, 2005]

2.2.6.1 Matriz Eric

La Matriz ERIC (Eliminar–Reducir–Incrementar–Crear) permite definir de forma estructurada las decisiones estratégicas sobre los atributos funcionales del sistema.

Los factores seleccionados provienen del análisis comparativo de las soluciones de vigilancia existentes (rondas presenciales, cámaras fijas, drones convencionales, etc.) y constituyen las variables que posteriormente darán origen a la curva de valor.



Figura 6: Matriz Eric

La matriz elaborada permite identificar de manera concreta las líneas de acción que guían la estrategia de diferenciación del proyecto dentro del marco del Océano Azul.

En el cuadrante de eliminar, se incluyen problemáticas asociadas a los métodos tradicionales de control rural, como la carga manual de datos, la dependencia de reportes escritos y la vigilancia presencial. Estas prácticas, propias de los sistemas convencionales, implican altos niveles de intervención humana, riesgo de errores y tiempos de respuesta prolongados. Al eliminar estos procesos, se busca reducir la exposición de los responsables del campo y mejorar la eficiencia operativa del monitoreo.

En segundo lugar, dentro de los factores a reducir, el foco está puesto en disminuir la supervisión humana continua y los costos operativos asociados al personal permanente en campo, como mantenimiento y logística. Al mismo tiempo, se pretende minimizar la

dependencia del juicio humano en la toma de decisiones críticas, limitando el margen de error derivado de tareas repetitivas o condiciones de fatiga. Esta reducción contribuye a un uso más eficiente de los recursos humanos y a un sistema menos vulnerable a fallas por factores externos.

En las funcionalidades a incrementar, el objetivo es potenciar la automatización del proceso de detección y clasificación, aumentar la cobertura de vigilancia aérea y mejorar la integración entre sensores, base de datos y módulos de análisis. Estas mejoras permiten ampliar el rango operativo del sistema, ofrecer información más precisa y brindar una respuesta más ágil ante eventos inusuales o situaciones de riesgo en el entorno rural.

Por último, en el cuadrante de crear, se destacan aquellas características que no se encuentran actualmente integradas en una sola solución del mercado. Entre ellas se incluyen las alertas inteligentes en tiempo real, la plataforma web de monitoreo y control remoto, y las funciones de disuasión activa, que permiten al sistema actuar de manera preventiva frente a intrusiones o incidentes. La incorporación de estas capacidades representa un salto cualitativo en el uso de inteligencia artificial aplicada a la vigilancia aérea, generando un valor diferencial en términos de autonomía, seguridad y confiabilidad.

2.2.6.2 Curva de valor

La Curva de Valor es la representación visual de las estrategias definidas en la matriz ERIC.

Permite comparar el nivel de desempeño de las distintas soluciones en torno a los mismos atributos, evidenciando los puntos donde el proyecto genera un salto de valor en relación con la competencia. En el sector actual, pueden distinguirse dos grandes grupos de soluciones.

Por un lado, las soluciones tradicionales, que comprenden los métodos de vigilancia humana directa —como rondas periódicas de personal, guardias de seguridad o supervisores rurales— y, en algunos casos, el uso complementario de cámaras fijas o alarmas básicas. Estas alternativas se caracterizan por una alta dependencia del factor humano, la carga manual de datos y reportes, una baja capacidad de cobertura en tiempo real y un tiempo de respuesta prolongado ante la detección de incidentes. Si bien ofrecen presencia física en el territorio, su eficiencia se ve limitada por los costos operativos, la posibilidad de errores humanos y la exposición al riesgo de los operarios.

Por otro lado, se encuentran las soluciones tecnológicas actuales, que incorporan cierto grado de automatización, como drones de vigilancia no autónomos, sensores perimetrales, cámaras con detección de movimiento o plataformas de gestión parcial. Estas tecnologías mejoran la cobertura y la disponibilidad de información, pero aún presentan una integración fragmentada, falta de procesamiento inteligente de datos y una dependencia significativa de operadores humanos para la toma de decisiones o el análisis de imágenes.

En contraste, AeroSentinel integra en una misma arquitectura la detección autónoma, la clasificación de eventos mediante inteligencia artificial, la sincronización con servidores locales y en la nube, y la notificación inmediata a los usuarios a través de una interfaz web de monitoreo remoto. El sistema, por tanto, reduce la carga manual y la supervisión humana, al tiempo que incrementa la automatización, la cobertura, la velocidad de respuesta y la capacidad de disuasión activa mediante alarmas o acciones automáticas.

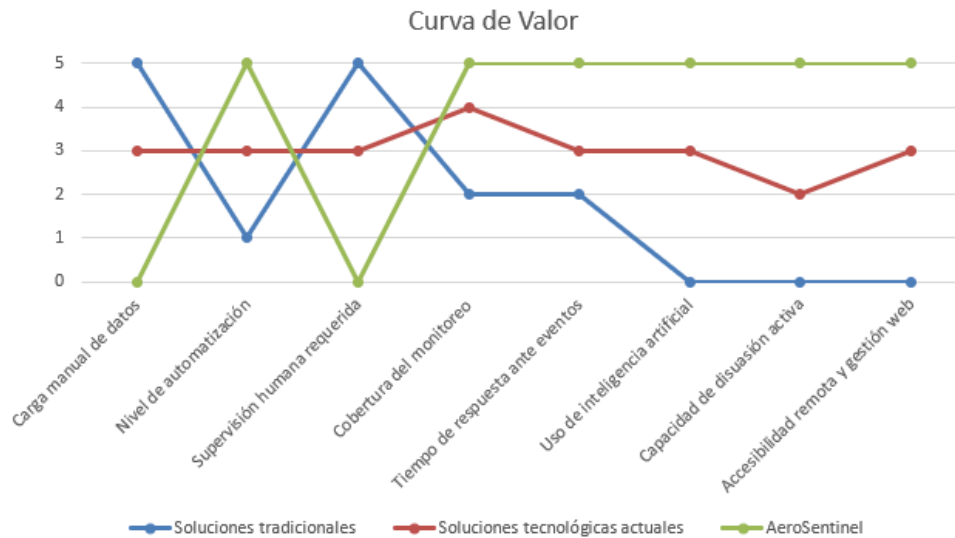


Figura 7: Curva de valor

La siguiente figura muestra comparativamente los valores asignados a cada atributo clave del mercado. En ella se observa que las soluciones tradicionales alcanzan valores elevados en aspectos vinculados a la intervención humana, pero bajos en automatización, inteligencia artificial y conectividad. Las soluciones tecnológicas actuales mejoran estos niveles, aunque sin lograr una integración completa ni funcionalidades de disuasión inteligente. Por su parte, la propuesta del sistema autónomo muestra valores significativamente más altos en los atributos asociados a la automatización, inteligencia artificial, monitoreo remoto, cobertura y capacidad de respuesta, consolidando una curva de valor claramente diferenciada y ascendente en los factores que el mercado aún no ha desarrollado plenamente.

En conjunto, esta curva ilustra cómo la aplicación del modelo del Océano Azul permite a este proyecto crear un nuevo espacio competitivo dentro del ámbito de la seguridad rural, combinando eficiencia tecnológica, reducción de la intervención humana y respuesta inmediata ante eventos críticos, generando una propuesta de valor sostenible y alineada con las demandas emergentes del sector agropecuario moderno.

2.2.7 Análisis FODA

Para completar el análisis estratégico de la solución propuesta, se procede a armar un FODA, una herramienta simple y, a la vez, potente que ayuda a identificar las oportunidades competitivas de mejora. Permite trabajar para mejorar el negocio y el equipo, preservando el liderazgo frente a las tendencias del mercado.

Fortalezas

- **Integración tecnológica única:** La solución combina drones, visión por computadora e inteligencia artificial
- **Detección en tiempo real:** Capacidad para identificar personas, ganado e intrusos en tiempo real, reduciendo el tiempo de respuesta ante incidentes.
- **Adaptabilidad a entornos rurales:** Diseño contemplado para operar en zonas con baja conectividad y limitaciones energéticas.
- **Enfoque preventivo:** Disuasión inmediata mediante alarmas acústicas o visuales, lo que puede evitar el delito antes de que ocurra.

Oportunidades

- **Creciente demanda de seguridad rural:** El aumento del abigeato y delitos rurales genera una necesidad insatisfecha en pequeños y medianos productores.
- **Interés institucional:** Posibilidad de alianzas con ministerios de seguridad, agricultura o universidades para validación e implementación.
- **Conciencia sobre pérdidas económicas:** Mayor visibilidad del impacto económico de la inseguridad rural favorece la adopción de tecnologías nuevas.

Debilidades

- **Costo inicial elevado:** Aunque competitivo, puede representar una barrera de entrada para pequeños productores sin acceso a crédito.
- **Dependencia tecnológica:** Necesidad de mantenimiento, actualizaciones y conectividad mínima para su funcionamiento efectivo.
- **Limitaciones de autonomía:** La duración de vuelo de los drones puede limitar el monitoreo en campos de gran extensión sin soluciones complementarias.

Amenazas

- **Competencia creciente:** Otros proyectos y empresas podrían lanzar soluciones similares o más económicas con alcance en el mismo nicho.
- **Vandalismo o sabotaje:** Riesgo de daño o robo del equipo por parte de los mismos intrusos.
- **Condiciones climáticas adversas:** El mal clima puede interferir con el funcionamiento del dron o dañar el hardware.
- **Resistencia cultural al cambio:** Algunos productores podrían desconfiar de soluciones tecnológicas o preferir métodos tradicionales.

2.2.8 Conclusión del estado del arte

Del relevamiento de soluciones de vigilancia fija (Hikvision, Dahua), plataformas de drones orientadas al agro (DJI, XAG) e iniciativas con IA aplicadas a imágenes aéreas y ganadería (FlyPix, DeepAgro, Kerow), se desprende que el mercado ofrece capacidades parciales pero no integradas. Predominan enfoques que resuelven bien un aspecto —captura visual, análisis inteligente o plataforma aérea—, pero sin integrarlos en una solución unificada para seguridad rural con foco específico en abigeato y monitoreo del campo.

La comparación muestra, además, dos patrones: primero, los sistemas fijos con analítica embebida resultan robustos pero están limitados por su ubicación y por la dificultad para cubrir extensiones amplias; y segundo, los drones agrícolas aportan cobertura y movilidad, pero suelen carecer de una lógica de seguridad operativa (detección en tiempo real, seguimiento y disuasión) lista para usar. En paralelo, las prácticas no tecnológicas mantienen altos costos operativos, riesgo humano y dependencia de la confianza interpersonal.

Sobre esa base, la oportunidad competitiva del proyecto radica en integrar vigilancia activa, IA de detección y una plataforma aérea/móvil en una sola solución, con tres atributos diferenciales: cobertura dinámica sobre grandes superficies; detección y seguimiento autónomos de eventos relevantes (personas, vehículos, animales) en tiempo real; y respuestas disuasorias administradas desde una interfaz simple para usuarios sin formación técnica. Este enfoque delimita, a su vez, los desafíos de diseño (autonomía energética/operativa,

conectividad intermitente, clima, y barreras de costo inicial) y justifica la estrategia de océano azul planteada: crear valor combinando tecnologías existentes pero hoy desagregadas para un problema concreto y aún poco atendido de manera integral en el ámbito rural.

2.3 User Research

Luego de realizar el análisis de la problemática por medios bibliográficos, se decidió realizar entrevistas con posibles interesados en el proyecto, para poder evaluar puntos de dolor y poder obtener información de interés que permita validar la problemática y poner en tela de juicio la solución propuesta.

Se realizaron tres encuestas en un período de dos semanas, logrando obtener información de dos interesados que administran campos o lo hicieron recientemente y un tercer interesado que tuvo una solución digital para el campo y pudo proveer su visión comercial y experiencia. La duración de cada entrevista (aproximadamente una hora) permitió explorar en detalle la problemática y obtener testimonios ricos y variados. Los entrevistados fueron seleccionados estratégicamente por su experiencia directa como dueños o su relación directa con proyectos en el campo, lo que asegura la pertinencia de sus aportes. Además que durante el análisis se observó una reiteración de temas centrales, lo que indica que es muy probable que en nuevas entrevistas los temas principales no vayan a variar.

A través de las entrevistas realizadas surge de manera recurrente la necesidad de contar con un sistema de monitoreo remoto que supere las limitaciones del control “*manual*”. En dos conversaciones, los entrevistados describen múltiples limitaciones y dificultades que enfrentan a la hora de recorrer terrenos; ya sea por su extensión o dificultades propias del terreno (pozos, caminos inaccesibles con lluvia, entre otras). Dichas limitaciones obligan a aplazar o dividir las jornadas de conteo de animales y revisión del campo, dejando lapsos de tiempo en que los animales y los recursos del campo se encuentran sin vigilancia.

La falta de visibilidad sobre indicadores básicos se traduce en pérdidas económicas significativas y falta de tranquilidad para productores ganaderos. Los entrevistados comentaron que sufrieron distintas modalidades de robo, desde robos “*hormiga*” hasta robos masivos, donde llegan a cargarse camiones jaula llenos de novillos. Para poder

dimensionar la importancia de éstos hechos, es importante destacar que el valor de un novillo ronda los mil dólares, al multiplicar esto por la cantidad de cabezas que entran en un camión se trata de montos superiores a los treinta mil dólares, lo cual puede desestabilizar la economía de la hacienda e incluso dejar sin ganancias ese trimestre al administrador.

Si se analiza en detenimiento la problemática, es mucho más amplia de lo que se cree; se subarriendan campos de manera ilegal, se detectan deshonestidades por parte de los empleados e incluso se tuvo certeza de un caso de robo con complicidad policial. Al tratarse de una problemática multicausal no alcanza con atacar un solo frente para prevenirla, por este motivo los entrevistados coincidieron en que la adopción de nuevas tecnologías podría ayudar a disminuir las pérdidas.

La idea de aplicar drones equipados con computer vision tuvo una respuesta positiva en las entrevistas, más allá de su factibilidad técnica, los productores resaltaron ventajas concretas como la posibilidad de cubrir cientos de hectáreas en cuestión de minutos, reducir drásticamente los días de inspección manual y automatizar el conteo de cabezas con precisión. Señalaron también que permitiría no sólo detectar intrusos sino también identificar a tiempo vacas en distocia, grupos de animales concentrados en puntos de agua o cambios de comportamiento indicativos de problemas de salud. De este modo, la propuesta tecnológicamente avanzada se percibe como una herramienta de gestión integral, capaz de integrarse tanto en explotaciones de gran escala como en haciendas medianas, siempre que el modelo de negocio combine hardware, mantenimiento y servicio para aliviar al productor de la carga operativa y garantizar un retorno de inversión en un tiempo razonable.

Adicionalmente, las entrevistas muestran la necesidad de diseñar una experiencia de usuario muy sencilla y centrada en el administrador de campo; las alertas deberían ser sumamente simples, evitando así la curva de aprendizaje que suele asociarse a nuevas tecnologías en personas que no son nativas digitales. En todos los casos, los entrevistados insistieron en la importancia de contar con reportes periódicos, que permitan analizar rápidamente los eventos detectados e información de la hacienda.

Por otro lado, uno de los entrevistados destacó que, si bien la solución resultaba muy atractiva desde el punto de vista técnico, el modelo de negocio necesitaba ser replanteado para

ajustarse a las realidades de medianos y pequeños productores. Esta valiosa observación se incorporó como área de mejora, impulsando un análisis más exhaustivo de la autonomía y cobertura de cada dron, de modo que la inversión pueda justificarse incluso en explotaciones de menor escala.

2.3.1 Conclusión

En síntesis, las entrevistas realizadas con administradores de campos y expertos en soluciones digitales agrarias corroboran la existencia de una problemática multicausal que genera pérdidas económicas en explotaciones ganaderas de distintas escalas. Las limitaciones propias del monitoreo manual, como la inaccesibilidad de ciertos terrenos, la dispersión de los animales y las demoras en los recorridos se traducen en vulnerabilidades que facilitan robos de diversos niveles y dificultan la detección temprana de situaciones críticas (distocia, desplazamientos anómalos u abigeato).

La recepción positiva de la propuesta de drones con computer vision, junto con la necesidad de un modelo de negocio adaptado a productores medianos y pequeños y de una interfaz de usuario simple, confirma la validez de la problemática planteada y orienta el diseño de una solución integral. Estos resultados avalan el paso siguiente en el proceso de desarrollo; la optimización del prototipo tecnológico y la profundización del análisis económico para mejorar su viabilidad y adopción en el sector agropecuario.

2.3.2 User Persona

En base a las entrevistas, se establece el perfil para un usuario potencial de la solución, identificando qué factores lo movilizan y qué atributos valora con mayor preponderancia.

Mariana Pérez

Contadora pública



Frustraciones

Las recorridas manuales consumen demasiado tiempo y dejan zonas sin supervisar.

Pérdidas económicas de hasta el 5 % del stock anual por robo o "hurto hormiga" de insumos.

Problemas laborales con los empleados pueden terminar en faltantes de stock.

Motivaciones

Adoptar tecnologías innovadoras que demuestren ROI favorable en el primer año.

Disponer de información en tiempo real (alertas de intrusos, conteos de animales, patrones de comportamiento anómalo).

Consolidar la reputación de su gestión mediante indicadores de eficiencia y seguridad.

Biografía

Mariana heredó la explotación de sus padres en la provincia de Buenos Aires. Tras especializarse en agro y finanzas, administra hoy 900 vientres de cría y 1.600 cabezas de engorde, además de 800 ha de alfalfa y maíz. Coordina un equipo de 8 empleados rurales y lleva la contabilidad y presupuestación del campo.

Objetivos

Garantizar la seguridad de la hacienda sin aumentar drásticamente el personal.

Optimizar costos operativos mediante alertas tempranas de robos o problemas de salud animal (distocia, sed).

Mejorar la precisión del recuento de cabezas y el estado de los potreros en tiempo real.

Edad

42 Años

Contexto

Gestiona 2.500 ha de ganadería mixta y cultivos forrajeros; hereda tradición familiar pero busca innovar.

Figura 8: User Perona

3. Descripción

La seguridad en áreas rurales argentinas, particularmente en la provincia de Buenos Aires, enfrenta importantes desafíos debido a la creciente problemática del robo de ganado y la intrusión no autorizada en propiedades agropecuarias. Estas situaciones suelen ser particularmente difíciles de controlar, dado que las propiedades rurales suelen abarcar grandes extensiones de terreno con limitaciones importantes de conectividad, infraestructura eléctrica y recursos humanos dedicados a tareas de vigilancia tradicional. Las rondas manuales y métodos rudimentarios comúnmente utilizados presentan baja eficiencia y altos costos operativos.

Este fenómeno se evidencia claramente en diversos incidentes recientes.

- En febrero de 2025 se reportó el robo de 33 animales en la localidad de Salto, provincia de Buenos Aires, estimándose una pérdida promedio de aproximadamente 1.000.000 pesos argentinos por animal según valores de mercado actuales, totalizando aproximadamente 33.000.00 millones de pesos argentinos (Info Campo, 2025).
- Un robo ocurrido en Eldorado, Misiones, en octubre de 2023, implicó la sustracción de 131 vacas, generando una pérdida económica superior a los 20 millones de pesos argentinos considerando un valor promedio estimado en 153.000 pesos por vaca (La Nación, 2023).
- En enero de 2025, en Cuchillo Có, La Pampa, se registró la sustracción temporal de 23 vacunos, valorados en aproximadamente 1.740.000 pesos argentinos cada uno, totalizando cerca de 40 millones de pesos (La Arena, 2025).

Estos incidentes subrayan la vulnerabilidad de las propiedades rurales frente a robos y la urgencia de contar con mecanismos eficientes de vigilancia.

El segmento de mercado afectado por esta problemática está conformado principalmente por pequeños y medianos productores rurales, quienes representan aproximadamente el 74% de los establecimientos ganaderos en Argentina. Esta estimación se basa en datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, que señalan que la mayoría de las explotaciones poseen hasta 250 cabezas de ganado, concentrando apenas el 22% del stock

total (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021). Este grupo enfrenta mayores desafíos debido a sus limitaciones económicas y tecnológicas, lo que dificulta la adopción de soluciones avanzadas, actualmente orientadas en su mayoría a contextos urbanos o industriales. Por ello, la solución propuesta se dirige específicamente a este segmento, que constituye una oportunidad significativa para implementar tecnologías efectivas, accesibles y adaptadas al entorno rural.

Para abordar esta problemática, el presente proyecto propone el desarrollo de un sistema inteligente de vigilancia aérea automatizada mediante drones equipados con algoritmos avanzados de inteligencia artificial y visión por computadora. Esta solución tecnológica permitirá la detección y clasificación en tiempo real de personas, ganado y vehículos, ofreciendo alertas inmediatas al responsable del campo a través de una interfaz de usuario intuitiva, además de integrar alarmas sonoras de disuasión. Este sistema está diseñado específicamente para operar en las condiciones típicas del entorno rural bonaerense, caracterizado por la limitada conectividad y la ausencia frecuente de redes eléctricas estables.

La potencial adopción de tecnologías avanzadas en el sector agropecuario argentino es significativa. Un relevamiento realizado por el proyecto Agricultura de Precisión del INTA, dependiente del Ministerio de Agricultura de la Nación, demostró que el 92% de los consultados utiliza aplicaciones y plataformas en alguna etapa de la producción. (Argentina Gob., 2022).

Estos datos reflejan una creciente conciencia y disposición entre los productores agropecuarios argentinos para adoptar tecnologías que mejoren la eficiencia y seguridad en sus operaciones. No obstante, es importante señalar que la adopción efectiva de estas tecnologías puede variar según factores como el tamaño de la explotación, el acceso a recursos financieros y la disponibilidad de infraestructura adecuada.

En este contexto, el desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles y adaptadas a las condiciones específicas del ámbito rural argentino resulta fundamental para facilitar su adopción y contribuir a mejorar la seguridad y productividad en el sector agropecuario.

En el primer lanzamiento del producto, se espera implementar un algoritmo efectivo de detección y clasificación de eventos en tiempo real, una interfaz amigable para el

monitoreo continuo y alertas, y un sistema simulado de comunicación robusta entre los drones y la central de control. El proyecto será validado inicialmente en escenarios simulados acotados que reflejan distintos contextos climáticos y geográficos.

Para etapas posteriores, que no se encuentran incluidas en el alcance de este proyecto, se prevé la integración física real del sistema con drones comerciales, la expansión del sistema para cubrir mayores extensiones mediante rutas automatizadas y, potencialmente, la conexión opcional con fuerzas de seguridad externas para una respuesta aún más efectiva. De esta manera, se busca contribuir significativamente a la prevención de delitos rurales, ofreciendo una solución tecnológica adaptada, accesible y eficaz para los productores ganaderos de la provincia de Buenos Aires.

3.1 Requerimientos

Los requerimientos de un sistema son la descripción de lo que el sistema tiene que ser capaz de realizar con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios que lo utilizan [Universidad del Sur, 2013]

Para los requerimientos que tiene que cumplir la solución se destacan una serie de requerimientos funcionales que para definirlos se usaron como base las entrevistas llevadas a cabo con anterioridad.

3.1.1 Requerimientos Funcionales:

Entre los principales requerimientos funcionales del sistema se encuentran:

- RF1: El sistema debe permitir la detección y clasificación de objetos en tiempo real (personas, ganado, vehículos, intrusos).
 - RF2: El sistema debe generar alertas inmediatas en caso de actividad sospechosa.
 - RF3: El sistema debe ofrecer una interfaz de usuario accesible (web/app) con panel de monitoreo en tiempo real.
 - RF4: El sistema debe registrar eventos detectados con fecha, hora, ubicación y categoría.
 - RF5: El sistema debe permitir la activación automática de alarmas sonoras disuasorias.
-

-
- RF6: El sistema debe gestionar usuarios mediante autenticación segura.
 - RF7: El sistema debe asegurar la comunicación entre el dron y la central de control, incluso en modalidad simulada durante la etapa inicial.

3.1.2 Requerimientos No Funcionales

Además de las funcionalidades, se identificaron requisitos de calidad que orientan el desarrollo:

- El sistema debe ser robusto frente a condiciones de conectividad limitada, almacenando los datos localmente hasta sincronizarlos con la nube.
- La interfaz debe ser intuitiva y de bajo nivel de complejidad, pensada para usuarios con escaso conocimiento tecnológico.
- El tiempo de respuesta entre la detección y la notificación de una alerta no debe superar el minuto.
- El sistema debe ser escalable, permitiendo la incorporación de nuevos drones sin reestructuración de la arquitectura.
- El acceso a la información debe estar protegido por mecanismos de seguridad y autenticación confiables.

3.1.3 Historias de Usuario y relación con requerimientos

A continuación, se presentan algunas historias de usuario obtenidas a partir de entrevistas, junto con el requerimiento funcional que las satisface:

Requerimiento	Historia de Usuario
RF1: Detección y clasificación de objetos en tiempo real (personas, ganado, vehículos, intrusos).	<i>Como productor quiero que el sistema detecte automáticamente personas, ganado y vehículos en tiempo real, para no depender de rondas manuales de vigilancia.</i>
RF2: Generación de alertas inmediatas en caso de actividad sospechosa.	<i>Como productor quiero recibir una alerta en mi celular o PC cuando se detecta un intruso, para poder reaccionar rápidamente.</i>
RF3: Visualización en interfaz de usuario (web/app) con panel de monitoreo en tiempo real.	<i>Como administrador quiero tener un panel donde pueda ver lo que ocurre en tiempo real, para controlar fácilmente la seguridad de mi campo.</i>
RF4: Registro de eventos detectados, con fecha, hora, ubicación y categoría.	<i>Como usuario quiero que cada detección quede registrada con datos básicos (fecha, hora, lugar), para disponer de evidencia en caso de incidentes.</i>
RF5: Reproducción de alarmas sonoras disuasorias activadas automáticamente.	<i>Como productor quiero que el sistema active una alarma fuerte al detectar un intruso, para disuadir y proteger a mi ganado.</i>

Requerimiento	Historia de Usuario
RF6: Gestión de usuarios con autenticación.	<i>Como administrador quiero poder iniciar sesión con usuario y contraseña, para que solo personas autorizadas accedan al sistema.</i>
RF7: Comunicación entre dron y central de control	<i>Como productor quiero que el dron envíe datos a la central aun en baja conectividad, para garantizar el monitoreo continuo.</i>

Figura 9: Cuadro que vincula el requerimiento funcional con la Historia de Usuario

3.1.4 Diagrama de Casos de Uso

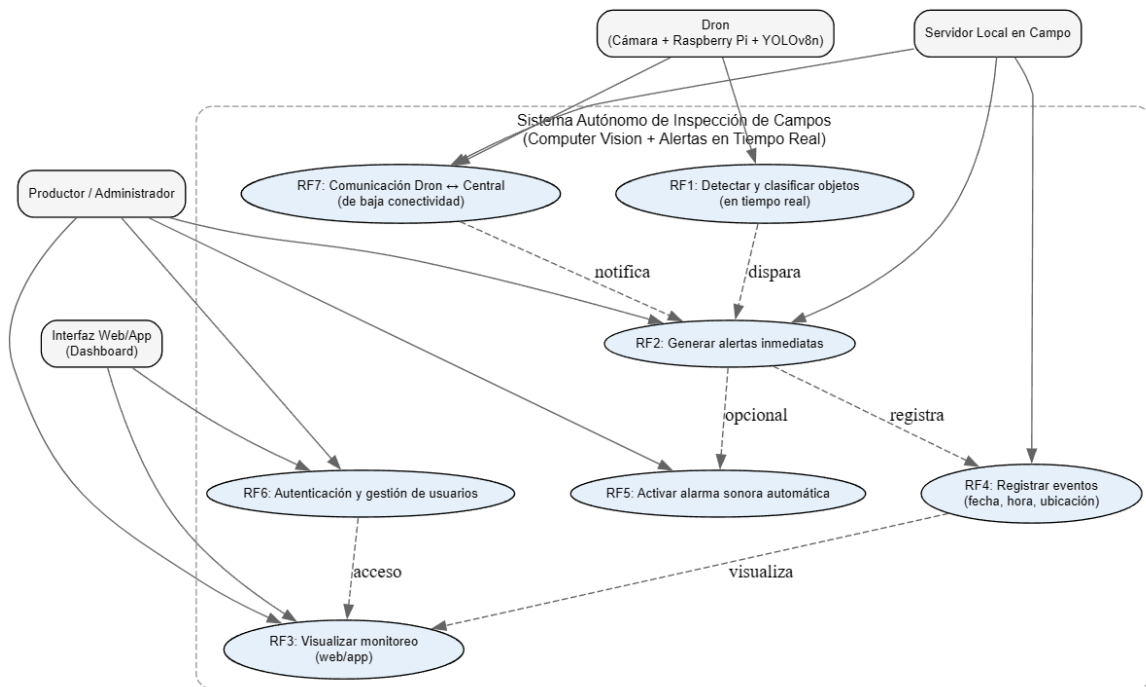


Figura 10: Diagrama de Casos de Uso del sistema (RF1–RF7).

El diagrama representa las principales interacciones funcionales de AeroSentinel. En él se visualizan los actores externos —el Productor o Administrador, el Dron con módulo de procesamiento embebido, el Servidor local en campo y la Interfaz Web o Dashboard— junto con los casos de uso definidos a partir de los requerimientos funcionales RF1 a RF7.

El flujo describe cómo el dron realiza la detección y clasificación de objetos (RF1) en el borde mediante un modelo de visión computacional, y cómo esta acción dispara la generación de alertas (RF2), el registro de eventos (RF4) y la activación de alarmas sonoras (RF5).

El servidor local se encarga del procesamiento intermedio y la sincronización con la red central, mientras que el dashboard permite al usuario visualizar el monitoreo (RF3), autenticarse y gestionar accesos (RF6).

Finalmente, el sistema contempla la comunicación entre el dron y la central de control aun en condiciones de baja conectividad (RF7), garantizando continuidad operativa y trazabilidad de los eventos registrados.

3.1.5 Diagrama de Flujo Funcional

El siguiente diagrama ilustra el recorrido completo de la información dentro del AeroSentinel, desde la captura inicial hasta la acción final del usuario.

El flujo comienza con la adquisición de video por parte del dron, seguido del preprocesamiento y detección de objetos mediante visión computacional (YOLOv8n). Si la detección supera el umbral de confianza y corresponde a una clase relevante, el sistema serializa el evento y lo transmite al servidor local, encargado de procesar las reglas y umbrales definidos, además de persistir la información en una base local para su funcionamiento offline.

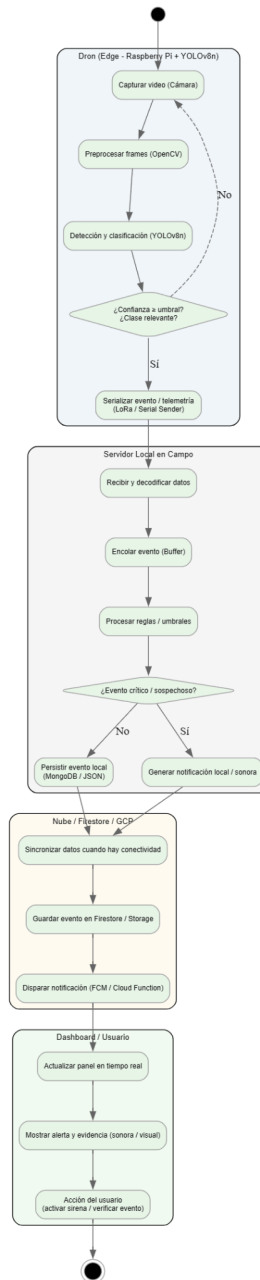


Figura 11: Diagrama de actividades del flujo funcional end-to-end.

Cuando existe conectividad, los datos se sincronizan con la nube (Firestore / GCP), donde se almacenan y se dispara una notificación automática mediante Cloud Functions o Firebase Cloud Messaging. Finalmente, el dashboard del usuario se actualiza en tiempo real,

mostrando la alerta, las evidencias capturadas y las opciones de acción remota, como activar una alarma o verificar el evento detectado.

Este esquema permite visualizar la secuencia funcional de los procesos críticos y el rol de cada componente del sistema (dron, servidor local, nube y dashboard), destacando la capacidad de operación autónoma y resiliente frente a la conectividad intermitente del entorno rural.

3.2 Arquitectura del Sistema

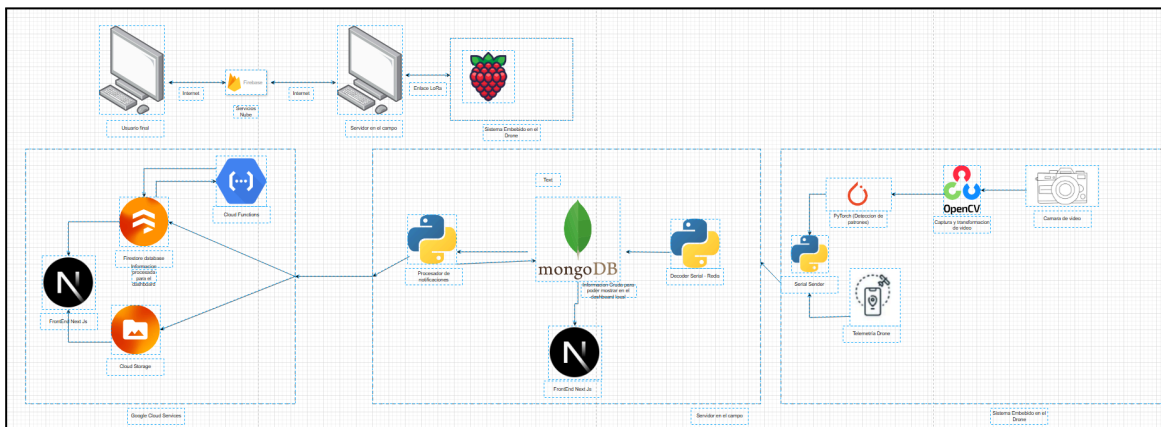


Figura 12: Modelo de arquitectura conceptual híbrida (edge computing + cloud services)

La arquitectura propuesta la solución se diseñó bajo un enfoque híbrido que combina procesamiento en el borde (edge computing) y servicios en la nube (cloud services), con el objetivo de garantizar tanto la autonomía en entornos con baja conectividad como la centralización de datos y visualización a nivel global.

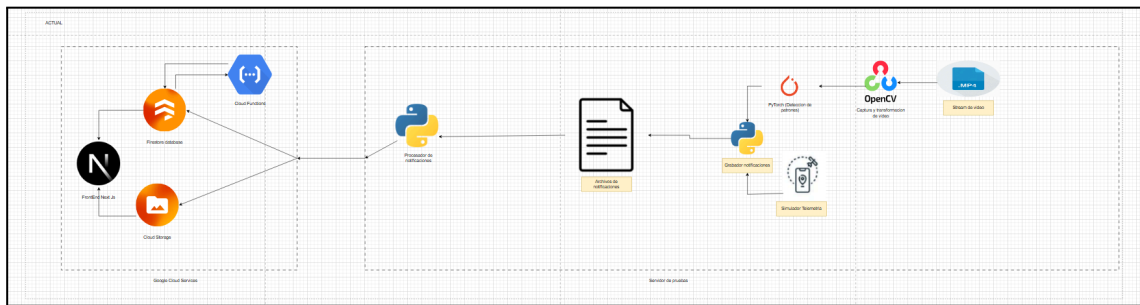


Figura 13: Modelo de arquitectura implementado actualmente con simulación de Dron

El sistema se organiza en cuatro bloques principales, que interactúan de manera modular y complementaria:

3.2.1 Sistema embebido en el dron

El dron es el primer eslabón de la solución y se encarga de la captura de imágenes y videos en tiempo real mediante una cámara integrada.

A bordo del dron se encuentra un Raspberry Pi que realiza la captura y preprocesamiento de video con OpenCV y ejecuta el modelo YOLOv8n (runtime PyTorch) para detección y clasificación en tiempo real (personas, ganado, vehículos).

El Pi empaqueta metadatos (clase, confianza, bounding boxes, timestamp) y, opcionalmente, frames/snapshots relevantes. La telemetría y los datos se envían al servidor de campo mediante un enlace de bajo ancho de banda (LoRa +/- canal serial). Un módulo “*Serial Sender*” gestiona la serialización y envío confiable desde el dron.

3.2.2 Servidor local en campo

En el establecimiento se dispone de un servidor local, implementado sobre una PC o mini-server con arquitectura x86 o ARM, que actúa como nodo receptor y procesador intermedio.

Este servidor tiene la función de recibir y decodificar los paquetes enviados por el dron a través de un módulo de comunicación serial, para lo cual se emplea un componente de tipo *Decoder Serial*. A fin de desacoplar el proceso de ingestión de los datos del procesamiento posterior, se utiliza un buffer o cola intermedia (basada en Redis), lo que permite manejar los flujos de información de manera eficiente. Una vez decodificados, los eventos son procesados por servicios desarrollados en Python que aplican reglas, umbrales y correlaciones básicas, con el objetivo de identificar situaciones relevantes y generar notificaciones oportunas. Toda la información procesada se persiste en una base de datos MongoDB, lo que asegura tolerancia frente a posibles desconexiones y permite consultas locales sin depender de la conectividad a internet.

Además, el servidor expone un dashboard mínimo de uso local, pensado para brindar al productor visibilidad de los eventos en tiempo real aun cuando no haya conexión con la nube. Finalmente, cuando la conectividad se restablece, el servidor sincroniza la información almacenada con la infraestructura en la nube, garantizando así la continuidad del sistema y la centralización de datos.

3.2.3 Servicios en la nube

La capa de servicios en la nube se implementa sobre la infraestructura de Google Cloud Platform (GCP) y Firebase, con el objetivo de centralizar el almacenamiento, procesamiento y gestión de la información proveniente de los drones y del servidor local. En este esquema, Firestore, una base de datos NoSQL, se emplea para guardar de manera estructurada los registros de detecciones, así como los logs y métricas generados en cada vuelo o sesión de monitoreo. Paralelamente, Cloud Storage se utiliza para almacenar las imágenes y evidencia multimedia recolectadas, lo que permite su consulta posterior y la

posibilidad de utilizarlas como datasets en etapas futuras de entrenamiento de modelos más avanzados.

Para el procesamiento de lógica de negocio se incorporan Cloud Functions, programadas en Node.js o Python, que permiten ejecutar de forma automática la consolidación de estadísticas y el despacho de alertas en tiempo real sin necesidad de mantener servidores dedicados.

En cuanto a la seguridad, el acceso al sistema está controlado mediante Firebase Authentication, que garantiza que solo usuarios autorizados puedan acceder al panel de gestión y la información crítica. Finalmente, el frontend del sistema se despliega a través de Firebase Hosting, lo que asegura un acceso confiable, rápido y escalable para los usuarios finales. De esta manera, la nube funciona como centro de control global, complementando la autonomía de los módulos locales con servicios de almacenamiento, análisis y visualización centralizados.

3.2.4 Interfaz de usuario

El dashboard web constituye la puerta de entrada principal para los usuarios al sistema. Desarrollado sobre Next.js y React, y diseñado con componentes de Material UI (MUI), ofrece una experiencia intuitiva, moderna y totalmente responsive, adaptada a distintos dispositivos.

Desde este panel, los usuarios pueden realizar el monitoreo en tiempo real de los drones en operación, acceder a la revisión histórica de eventos registrados y consultar de forma organizada las métricas de detección por zona o unidad desplegada. Para facilitar el análisis, el sistema incorpora gráficos interactivos construidos con ApexCharts y Recharts, que permiten visualizar tendencias, comparar frecuencias de detección y generar reportes dinámicos según las necesidades del productor.

Además, el dashboard integra la gestión de alertas en tiempo real, brindando la posibilidad de visualizar y confirmar incidentes, así como acceder a la evidencia asociada a cada evento. El diseño de la interfaz prioriza la simplicidad de uso, considerando que muchos usuarios pueden no estar familiarizados con sistemas tecnológicos complejos, y busca reducir

la curva de aprendizaje al mínimo. Así, la interfaz no solo funciona como un visor de datos, sino como un verdadero centro de control operativo que conecta al productor con la totalidad de los componentes del sistema.

3.3 Producto

El desarrollo de AeroSentinel no se limita al aspecto técnico, sino que busca consolidarse como un producto con identidad, misión y propuesta de valor alineada con las necesidades reales de los productores rurales.

El nombre AeroSentinel se seleccionó buscando transmitir, de manera clara y memorable, la esencia y propósito del sistema. El prefijo Aero- hace referencia al componente aéreo de la solución, destacando que los drones constituyen la base tecnológica sobre la cual se construye la propuesta. Por su parte, Sentinel proviene del inglés y significa “*centinela*” o “*guardia*”, evocando la idea de vigilancia, protección y alerta constante. La combinación de ambos términos genera un concepto fuerte y distintivo que asocia tecnología de vanguardia con seguridad confiable. Desde el punto de vista del branding, el uso de un nombre corto, sonoro y fácilmente pronunciable facilita su recordación y posicionamiento en el mercado, siguiendo recomendaciones de autores como Ries y Trout (Positioning: The Battle for Your Mind, 2001), quienes destacan que la simplicidad y la coherencia entre nombre y función aumentan la capacidad de una marca para consolidarse en la mente del usuario. En este sentido, AeroSentinel logra reflejar con precisión el objetivo del producto: ser un centinela aéreo al servicio de la seguridad rural.

En AeroSentinel la misión es ofrecer una herramienta confiable y accesible que incremente la seguridad de los campos mediante drones autónomos e inteligencia artificial. Y la visión es convertirse en un referente en seguridad agropecuaria inteligente en Argentina y Latinoamérica, integrando tecnologías de visión por computadora, comunicación IoT y servicios en la nube.

La propuesta de valor se sustenta en cuatro ejes: prevención en tiempo real, accesibilidad para pequeños y medianos productores (que representan el 74% del sector ganadero argentino, según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021),

resiliencia en contextos de baja conectividad y facilidad de uso. Esta combinación responde a un diagnóstico claro: el productor necesita una solución tecnológica avanzada, pero que al mismo tiempo sea simple de implementar y operar en entornos rurales con limitaciones estructurales.

La identidad visual también se trabajó con criterios de comunicación fundamentados. El logotipo combina la figura de un dron con la de un escudo, reforzando la asociación entre tecnología y protección. La elección de los colores responde a: el azul oscuro transmite confianza y seguridad, siendo un color frecuentemente asociado a instituciones serias y a la estabilidad en contextos tecnológicos ([Eiseman, Pantone Guide to Communicating with Color, 2000]); el gris se vincula con la sobriedad y el profesionalismo ([Morton, Color Voodoo: Color Psychology and Color Therapy, 1998]); mientras que los colores de alerta (verde, amarillo y rojo) siguen la lógica del semáforo universal, un sistema de señalización visual utilizado para simplificar la interpretación rápida de estados críticos ([ISO 3864-1:2011, Graphical symbols – Safety colours and safety signs]).



Figura 14. Logo de Aero Sentinel

Palette

♡ 1 ▾

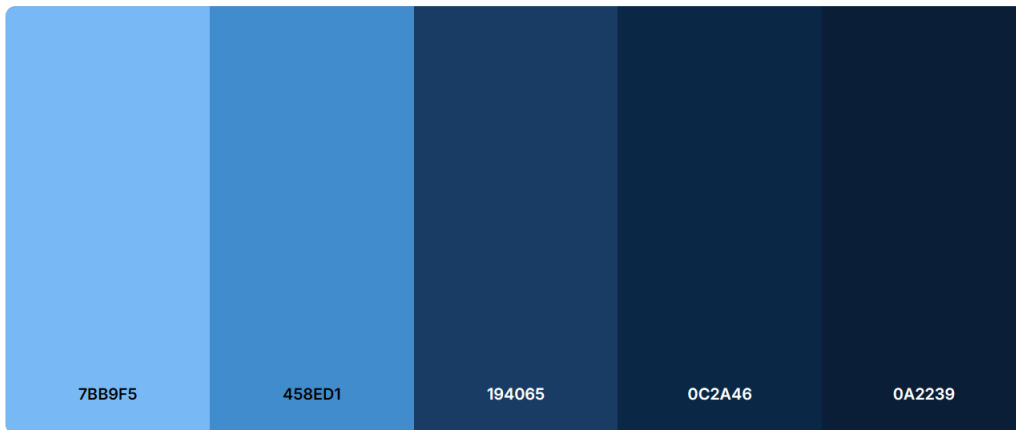


Figura 15. Paleta de Azules (Color Principal)

Silver Lining

♡ 5,142 ▾

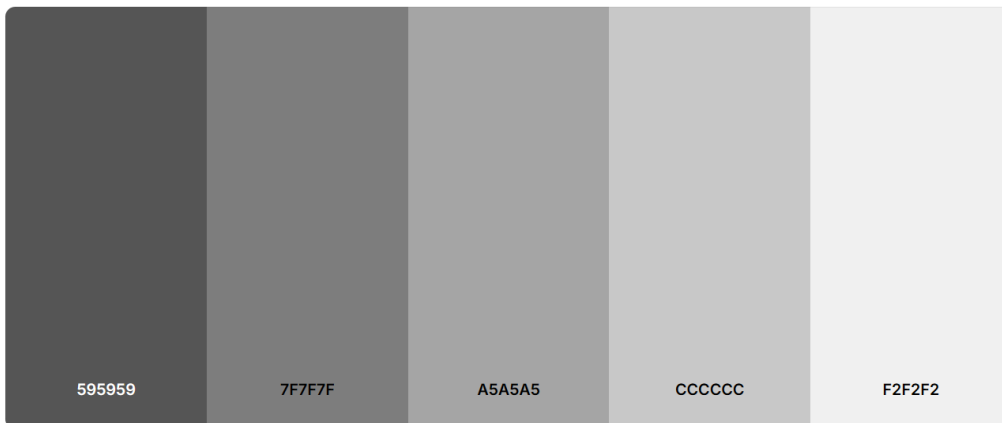


Figura 16. Paleta de Grises (Color Secundario)

En cuanto a las interfaces, se adoptó un estilo minimalista y funcional inspirado en las recomendaciones de usabilidad propuestas por Jakob Nielsen y Rolf Molich en sus heurísticas

de diseño (1990). El objetivo fue reducir la carga cognitiva del usuario rural y facilitar la lectura progresiva de la información. Por eso, las pantallas presentan primero métricas globales, luego detalles visuales y finalmente información contextual en mapas o listas, siguiendo la lógica de ofrecer un panorama general antes de descender al detalle. Este enfoque está alineado con principios de diseño de dashboards, donde se recomienda jerarquizar los datos para optimizar la toma de decisiones ([Few, Information Dashboard Design, 2013]).

Cada pantalla fue diseñada con un propósito específico: la sección de Alertas organiza los eventos según criticidad y ubicación, lo que permite priorizar la respuesta; la sección de Drones integra un mapa interactivo con el estado técnico de cada dispositivo; mientras que la sección de Animales combina evidencia visual y georreferenciación para asegurar el control de la hacienda. En todos los casos, el diseño mantiene consistencia visual y semántica, lo que contribuye a la coherencia de la marca. (Ver Figuras 24 a 28)

De este modo, AeroSentinel se presenta como un producto integral: combina hardware (drones), software (IA y dashboard web) y una identidad visual sólida, apoyada en fundamentos de diseño y comunicación. Esta construcción permite posicionarlo como una solución innovadora, escalable y confiable, adaptada a las condiciones reales del ámbito rural bonaerense.

3.3.1 Ecosistema de productos complementarios

En el marco de la identidad integral de AeroSentinel, se desarrollan además tres componentes físicos complementarios que conforman un ecosistema coherente y funcional: Dronus, Domus y Servus. Estos módulos refuerzan la identidad del producto, aportando un sentido lúdico y de cohesión visual, además de facilitar la comprensión de la arquitectura del sistema por parte del usuario.

Dronus es el módulo embarcado en el dron que alberga el hardware principal —una Raspberry Pi integrada dentro de una carcasa compacta impresa en 3D—. Su diseño se concibe como un cubo liviano y resistente, adaptado a las vibraciones del vuelo, que concentra el procesamiento de video y la ejecución del algoritmo de detección basado en

visión por computadora. Dronus actúa como el “*cerebro en vuelo*” del sistema, enviando información en tiempo real hacia la base terrestre.

Domus es el receptor físico encargado de recibir los datos transmitidos por Dronus y canalizarlos hacia el centro de comando. Su forma de pequeño domo impreso en 3D simboliza su rol como enlace entre el aire y la tierra: es el punto de convergencia de las señales captadas por el dron. Se conecta directamente al servidor mediante un puerto físico y garantiza la estabilidad de la comunicación incluso en contextos de baja conectividad.

Finalmente, Servus representa el centro de comando o servidor local, el núcleo donde se procesan, almacenan y visualizan los datos provenientes de Domus. Desde Servus se administran las alertas, se actualizan los modelos de detección y se gestionan las comunicaciones con la plataforma web. Su denominación alude a la idea de servicio y asistencia —en latín, *servus* significa “*sirviente*” o “*asistente*”—, reforzando la noción de que el sistema está al servicio del productor y su campo.



Figura 17: Imagen ilustrativa de Domus, Dronus y Servus

La creación de estos tres módulos no responde únicamente a una necesidad técnica, sino también a una estrategia de diseño y comunicación que busca dotar al producto de una identidad tangible, modular y reconocible. Al convertir cada componente en un elemento con nombre, forma y función definidos, AeroSentinel se posiciona como un ecosistema integral de seguridad rural, donde hardware y software conviven bajo una misma narrativa visual y conceptual.

3.4 Análisis Económico

En esta sección se propone un análisis económico profundo con el fin de deducir la viabilidad de proyecto en el mercado agropecuario.

3.4.1 Business Model Canvas (BMC)

El Business Model Canvas (BMC), propuesto por Alexander Osterwalder y Yves Pigneur en *Business Model Generation* (2010), constituye una herramienta visual ampliamente utilizada para diseñar y analizar modelos de negocio. Su objetivo es representar, en un solo esquema, la lógica con la cual una organización crea, entrega y captura valor en el mercado. Este enfoque permite integrar tanto los aspectos estratégicos (clientes, propuesta de valor, canales) como los operativos (recursos, actividades, socios) y financieros (ingresos y costos).

En el caso de AeroSentinel, el BMC se aplica para estudiar la viabilidad comercial de un sistema tecnológico orientado a la seguridad rural mediante drones e inteligencia artificial. La herramienta resulta especialmente útil porque permite alinear la solución técnica con las necesidades reales de los productores agropecuarios, segmento que, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021), está compuesto en un 74% por explotaciones de pequeños y medianos productores con hasta 250 cabezas de ganado. Estos establecimientos constituyen el grupo más vulnerable frente al abigeato y a la intrusión en campos, y al mismo tiempo presentan mayores dificultades de acceso a tecnologías avanzadas.

De este modo, el BMC se convierte en un marco adecuado para mostrar cómo AeroSentinel no solo resuelve un problema técnico, sino que también plantea un modelo de negocio sostenible y adaptado al contexto socioeconómico del agro argentino.

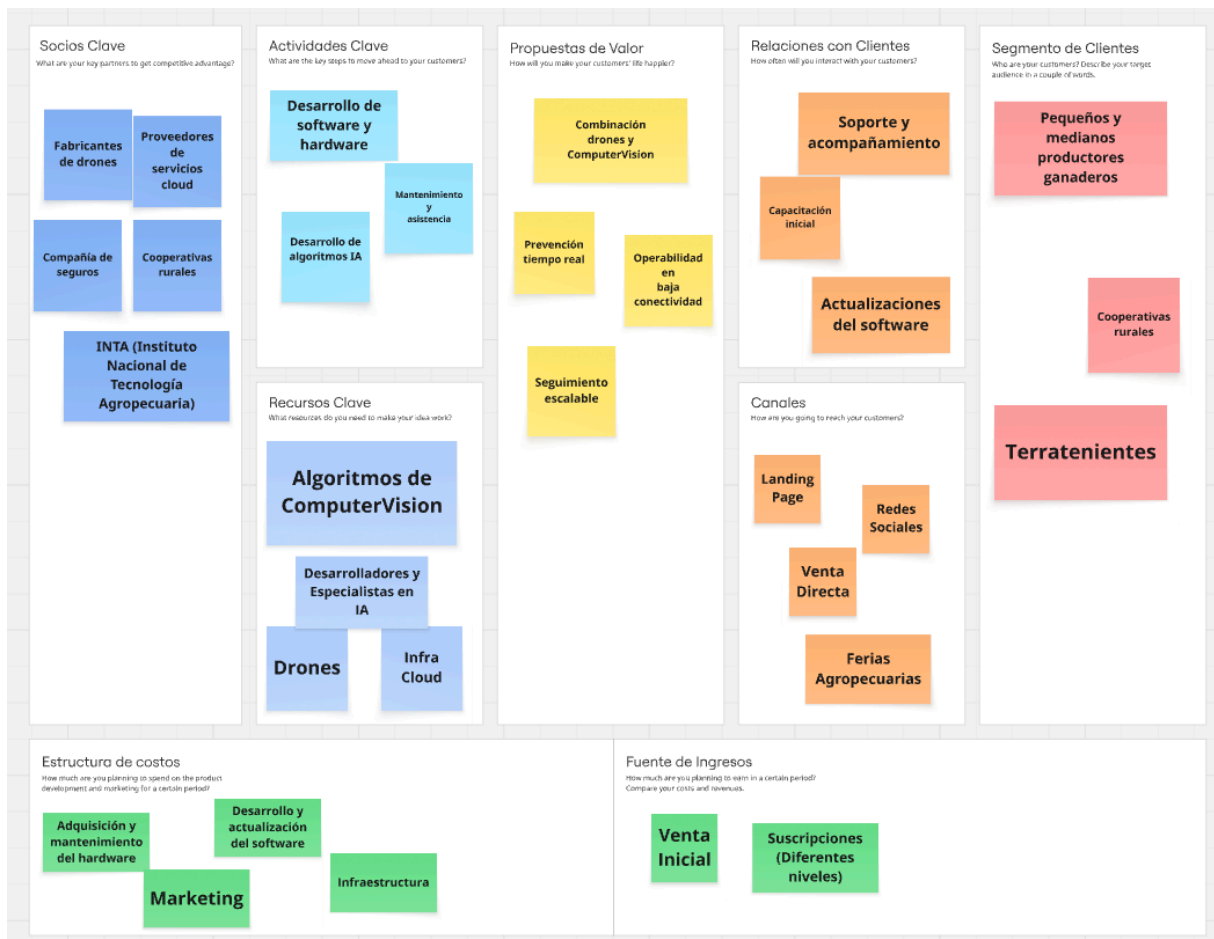


Figura 18. BMC (Business Model Canvas)

3.4.1.1 Socios clave

Los socios clave son aquellos actores que potencian la propuesta. Entre ellos, los fabricantes de drones (como DJI o Parrot), que aseguran el suministro del hardware; los proveedores de servicios en la nube (Google Cloud/Firebase), que garantizan escalabilidad y seguridad; y las cooperativas rurales y el INTA, que funcionan como validadores y

promotores en el ámbito agropecuario. Asimismo, las aseguradoras aparecen como socios estratégicos al integrar AeroSentinel en sus mecanismos de gestión de riesgo.

3.4.1.2 Actividades clave

Las actividades fundamentales para entregar valor son el desarrollo y mejora continua del software, la integración de hardware y algoritmos IA, el mantenimiento de la infraestructura cloud y servidores locales, y la asistencia técnica a los clientes. A estas se suman las actividades de difusión comercial y alianzas estratégicas, necesarias para posicionar el producto en un sector que tradicionalmente adopta nuevas tecnologías de manera gradual.

3.4.1.3 Recursos clave

Los recursos clave incluyen tanto componentes tecnológicos como humanos. En el plano técnico, se destacan los drones comerciales adaptados, los algoritmos de visión por computadora (YOLOv8), la infraestructura cloud en Google Cloud/Firebase, y los servidores locales que aseguran la operación en condiciones de baja conectividad. A nivel humano, el equipo de desarrollo de software, especialistas en IA y técnicos de soporte constituyen el recurso esencial para la implementación y mantenimiento del sistema.

3.4.1.4 Propuesta de valor

La propuesta de valor de AeroSentinel se centra en ofrecer una solución tecnológica accesible, confiable y adaptada al contexto rural. A diferencia de los sistemas de videovigilancia urbana, que dependen de infraestructura eléctrica y conectividad constante, este producto combina drones con algoritmos de visión por computadora (YOLOv8) y comunicación de largo alcance (LoRa), lo que le permite operar en entornos de baja conectividad. La clave está en la prevención en tiempo real, con detección de intrusos, alertas inmediatas y evidencia registrada. Además, el sistema se presenta como escalable y simple de usar, lo que facilita su adopción por productores con bajo perfil tecnológico.

3.4.1.5 Relación con clientes

La relación con los clientes está pensada en términos de acompañamiento y soporte. El sistema no se limita a la venta del producto, sino que incluye capacitaciones iniciales, soporte remoto para resolver incidencias y actualizaciones de software automáticas, que garantizan que el sistema evolucione sin costos adicionales de infraestructura. De esta manera, se fomenta la confianza y la permanencia del cliente, generando relaciones duraderas basadas en la fiabilidad y el servicio posventa.

3.4.1.6 Canales

La estrategia de distribución contempla tanto canales directos como indirectos. En primer lugar, se plantea la venta directa a productores mediante contacto en cooperativas rurales y asociaciones de productores, donde el vínculo personal sigue siendo fundamental para la adopción tecnológica. En segundo lugar, se prevé la presencia en ferias agropecuarias (ejemplo: Expoagro), que son espacios tradicionales de difusión e innovación en el sector. Finalmente, los canales digitales (plataforma web y redes sociales) actúan como soporte informativo y punto de contacto permanente.

3.4.1.7 Segmentos de clientes

El segmento principal al que se dirige AeroSentinel son los pequeños y medianos productores ganaderos de la provincia de Buenos Aires y otras regiones del país, quienes representan la mayor parte de los establecimientos (74%) pero concentran solo el 22% del stock bovino total (MAGyP, 2021). Esto los convierte en actores altamente vulnerables frente a pérdidas económicas por robo de ganado. A ellos se suman como clientes secundarios las cooperativas rurales, que agrupan a productores para compartir recursos, y las aseguradoras, interesadas en sistemas de monitoreo que reduzcan el riesgo de siniestros.

3.4.1.8 Estructura de costos

La estructura de costos se compone principalmente de la adquisición y mantenimiento de hardware (drones, sensores, servidores), el desarrollo y actualización de software, los gastos de infraestructura cloud, y las acciones de marketing y soporte técnico. En fases

iniciales, el desarrollo de la plataforma y el entrenamiento de algoritmos representan los costos más altos, mientras que a largo plazo el sostenimiento se concentra en servicios cloud y soporte al cliente.

3.4.1.9 Fuentes de ingresos

El modelo de ingresos combina un esquema mixto: por un lado, la venta inicial del sistema (hardware + instalación de software), y por otro, un modelo de suscripción mensual (SaaS) que garantiza acceso al dashboard en la nube, mantenimiento y actualizaciones. Esta lógica responde a tendencias actuales en servicios tecnológicos (CB Insights, 2022) y permite equilibrar ingresos por instalación con flujo recurrente. A futuro, se prevén ingresos adicionales derivados de la integración con aseguradoras, quienes podrían ofrecer descuentos en pólizas a productores que utilicen AeroSentinel como sistema preventivo.

3.4.2 Modelo de Negocio

El cliente objetivo de este proyecto son todos los establecimientos agrícolas que requieren monitorear sus establecimientos mediante apoyo tecnológico. Se trata de más de 250.000 estancias que se dedican a la explotación de ganado [INDEC, 2018].

AeroSentinel propone un modelo de negocio en el que cada cliente debe comprar un kit inicial compuesto por dos drones y un servidor local, el cual se entregará configurado y listo para usarse. Luego de la compra de este kit el cliente tiene dos opciones; usarlo de manera local viendo la información únicamente dentro del campo, o bien se pueden suscribir a un plan mensual correspondiente a la extensión de su campo.

El plan mensual consta de varios adicionales que se consideran de gran valor para el cliente; soporte técnico en el lugar, actualizaciones de software OTA (*Over the air*) y acceso a la plataforma de datos en la nube. El factor principal del abono mensual consta de la extensión del campo, contemplando éstos factores los tiers quedan configurados de la siguiente forma:

- *Tier Flat* - 100 dólares, donde la extensión máxima permitida es de 200 hectáreas e incluye acceso al panel de alertas de manera local en el campo, sin contar con réplica nube.
- *Tier Pro* - 250 dólares, donde la extensión máxima alcanza las 500 hectáreas, abarca los beneficios del Flat pero agrega el panel de alertas en su presentación nube, además, incluye una visita mensual por mantenimiento.
- *Tier Business* - 400 dólares, donde la extensión máxima excede las 500 hectáreas, abarca los beneficios del Pro pero agrega visitas a demanda e integración con sistemas existentes. Éste *tier* está orientado a grandes extensiones de campo.

En cuanto a la compra inicial, el kit incluye un servidor + dos drones listos para funcionar, teniendo una cobertura efectiva de 200 ha, en el caso de querer exceder dicha dimensión se deberá contar con un dron adicional por cada 100 ha con un costo de 200 dólares.

Este modelo combina ingresos iniciales por la venta de hardware e ingresos recurrentes por las suscripciones, lo cual permitirá financiar el proyecto de manera sustentable a lo largo del tiempo. Para beneficio del cliente, el margen de ganancia sobre el kit inicial es mínimo y se propone como objetivo simplemente posicionar el producto, contemplando un precio final del kit que ronda los 1000 dólares, teniendo una ganancia de solo 180 dólares por kit.



Figura 19: Kit Básico para 200 hectáreas

3.4.3 Análisis Financiero

Para poder iniciar el proyecto se necesita de capital inicial que se invertirá en equipos para tener en stock y en el equipo que desarrolla la solución, donde se estima un costo de 20 dólares por hora de desarrollo y aproximadamente 9 meses de desarrollo para 2 personas, lo que da un total de 57.600 dólares a invertir en el año cero, además, se debe contabilizar la compra de los 138 kits (104 *Tier Flat*, 28 *Tier Pro*, 6 *Tier Business*), monto que asciende a 114.000 dólares contemplando la compra de un servidor (500 dólares) y dos drones por kit (160 dólares por unidad), agregando 3 drones en el *Tier Pro* y 6 drones en el *Tier Business*. Esta inversión inicial inmoviliza capital en inventario que luego será recuperado a medida que se venden los kits a partir del año 1.

Para tener un panorama general del proyecto, es necesario tener en cuenta los costos operativos del proyecto, los cuales se componen de gastos fijos y variables. Además, se analizan posibles escenarios de conversión.

- **Pesimista:** Conversión del 0,10%
- **Neutro:** Conversión del 0,20%
- **Optimista:** Conversión del 0,50%

En todos los casos planteados se asume que los clientes adquiridos durante el primer año se mantienen en la plataforma y dichas suscripciones aumentan solo el 10% anual

3.4.3.1 Análisis Pesimista

- **Capital Humano:** Un equipo de 9 empleados dedicados al desarrollo, mantenimiento y operaciones diarias contempla un presupuesto de \$ 2.000.000 por empleado, al cambio actual (~1460\$) sumaría un total de 151.200 dólares anuales [Dolar Hoy, 2025]
- **Infraestructura Nube:** Se incluye como un costo variable, donde la plataforma cloud se encuentra bien optimizada y consumirá cerca de 3 USD mensuales, por cliente, incluyendo el uso de la base de datos, frontend y el guardado de imágenes [Firebase, 2025]

- Gastos no considerados: Se agrega un presupuesto anual del 1% sobre las ventas totales para gastos no contemplados que puedan surgir.
- Campaña de marketing: Como en todo rubro, se trata de una inversión primordial, en éste caso ascendería a 20.000 dólares anuales.

3.4.3.2 Análisis Neutro

- Capital Humano: Un equipo de 18 empleados dedicados al desarrollo, mantenimiento y operaciones diarias contempla un presupuesto de \$ 2.000.000 por empleado, al cambio actual (~1460\$) sumaría un total de 302.400 dólares anuales [Dolar Hoy, 2025]
- Infraestructura Nube: Se incluye como un costo variable, donde la plataforma cloud se encuentra bien optimizada y consumirá cerca de 3 USD mensuales, por cliente, incluyendo el uso de la base de datos, frontend y el guardado de imágenes [Firebase, 2025]
- Gastos no considerados: Se agrega un presupuesto anual del 1% sobre las ventas totales para gastos no contemplados que puedan surgir.
- Campaña de marketing: Como en todo rubro, se trata de una inversión primordial, en éste caso ascendería a 40.000 dólares anuales.

3.4.3.3 Análisis Optimista

- Capital Humano: Un equipo de 40 empleados dedicados al desarrollo, mantenimiento y operaciones diarias contempla un presupuesto de \$ 2.000.000 por empleado, al cambio actual (~1460\$) sumaría un total de 672.000 dólares anuales [Dolar Hoy, 2025]
- Infraestructura Nube: Se incluye como un costo variable, donde la plataforma cloud se encuentra bien optimizada y consumirá cerca de 3 USD mensuales, por cliente, incluyendo el uso de la base de datos, frontend y el guardado de imágenes [Firebase, 2025]
- Gastos no considerados: Se agrega un presupuesto anual del 1% sobre las ventas totales para gastos no contemplados que puedan surgir.
- Campaña de marketing: Como en todo rubro, se trata de una inversión primordial, en éste caso ascendería a 80.000 dólares anuales.

Teniendo esto en cuenta, la estructura refleja un alto costo para iniciar el proyecto, sin embargo, los costos fijos y variables son realmente bajos si se los compara contra los ingresos por suscripciones. Si se logra alcanzar una buena base de clientes se superará el punto de equilibrio y se empezará a ganar dinero en menos de un año.

Para poder evaluar si el proyecto es rentable, se realiza un análisis en un periodo de 3 años, donde se cargan datos de entrada como ingresos, egresos y la tasa de descuento anual para obtener como resultado 3 variables de vital importancia:

- VAN (Valor actual neto, capitales futuros descontados al día de hoy)
- TIR (Tasa interna de retorno)
- Payback (Plazo de recupero de la inversión)

Previo a continuar el análisis, se procede a definir la tasa de descuento a utilizar en el proyecto. En este caso, se tendrá en cuenta el valor del S&P 500 y NASDAQ como indicadores de inversiones “*Seguras*” donde el dinero invertido experimenta poco riesgo y

representa el costo del dinero a lo largo del tiempo, simplemente por que es una inversión segura que da un retorno entre el 11,3% y el 16,4% anual [Investopedia, 2025]

3.4.3.4 Escenarios

Escenario Pesimista - 0,1% Conversion				
Suscripciones - Tier FLAT	104	114	126	
Costo por suscripcion - Tier FLAT	\$100.00	\$100.00	\$100.00	
Ingresos Tier FLAT	\$10,400.00	\$11,440.00	\$12,584.00	
Suscripciones - Tier PRO	28	31	34	
Costo por suscripcion - Tier PRO	\$250.00	\$250.00	\$250.00	
Ingresos Tier PRO	\$7,000.00	\$7,700.00	\$8,470.00	
Suscripciones - Tier Business	8	7	7	Se estima una suscripcion reducida a este plan, mas alla del % de conversion
Costo por suscripcion - Tier Business	\$400.00	\$400.00	\$400.00	
Ingresos Tier Business	\$2,400.00	\$2,840.00	\$2,894.00	
Ingresos por venta de Kits	\$162,000.00	\$16,200.00	\$16,200.00	
Ingresos Totales Mensuales	\$19,800.00	\$21,780.00	\$23,658.00	

Componente	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Referencia
Desarrollo de Software	\$57,800.00				20 dolares por hora, dos empleados por 9 meses
Compra de Hardware	\$114,800.00	\$11,480.00	\$11,480.00	\$11,480.00	Compra de los kits para cubrir la demanda. Se calcula \$20 costo basico + 160 por dron. Luego del primer año solamente se compra el 10%
Mantenimiento Firebase		\$4,968.00	\$5,464.80	\$6,011.28	Cantidad de suscripciones por 3USD mensual
Mantenimiento de Software & Operaciones		\$151,200.00	\$151,200.00	\$151,200.00	9 empleados desarrollo, mantenimiento y operaciones. luego un crecimiento del 10 % anual
Campaña de marketing		\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	Se contempla una inversión generosa para alcanzar todos los segmentos posibles
Gastos adicionales		\$3,998.00	\$2,775.80	\$3,038.96	Gastos no contemplados - 1% Ventas Totales
Egresos totales	\$172,200.00	\$187,628.00	\$188,124.80	\$188,671.28	
Ingresos por ventas	\$0.00	\$98,800.00	\$277,580.00	\$303,608.00	
Flujo Neto	-\$172,200.00	\$207,078.00	\$88,859.80	\$111,887.76	
Flujo acumulado	-\$172,200.00	\$35,778.00	\$122,438.80	\$234,423.36	

Tasa de descuento	13.00%
VAN	\$139,229.97
TIR	72%
Payback	1 < Año

Figura 20: Análisis Financiero pesimista

Tal como se observa en el cuadro, incluso siendo conservadores con la cantidad de suscripciones a lo largo de 3 años, el VAN es positivo y por lo tanto, el proyecto podría realizarse.

Escenario Realista - 0,2% Conversion				
Suscripciones - Tier FLAT	280	288	315	
Costo por suscripcion - Tier FLAT	\$100.00	\$100.00	\$100.00	
Ingresos Tier FLAT	\$28,000.00	\$28,800.00	\$31,480.00	
Suscripciones - Tier PRO	114	125	138	
Costo por suscripcion - Tier PRO	\$250.00	\$250.00	\$250.00	
Ingresos Tier PRO	\$28,500.00	\$31,350.00	\$34,485.00	
Suscripciones - Tier Business	80	88	73	Se estima una suscripcion reducida a este plan, mas alla del % de conversion
Costo por suscripcion - Tier Business	\$400.00	\$400.00	\$400.00	
Ingresos Tier Business	\$24,000.00	\$28,400.00	\$20,040.00	
Ingresos por venta de Kits	\$574,400.00	\$16,200.00	\$16,200.00	
Ingresos Totales Mensuales	\$78,500.00	\$89,350.00	\$94,885.00	

Componente	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Referencia
Desarrollo de Software	\$57,800.00				20 dolares por hora, dos empleados por 9 meses
Compra de Hardware	\$357,320.00	\$35,732.00	\$35,732.00	\$35,732.00	Compra de los kits para cubrir la demanda. Se calcula 820 costo basico + 180 por dron. Luego del primer año solamente se compra el 10%
Mantenimiento Firebase		\$15,824.00	\$17,188.40	\$18,905.04	Cantidad de suscripciones por 3USD mensual
Mantenimiento de Software & Operaciones		\$302,400.00	\$302,400.00	\$302,400.00	18 empleados desarrollo, mantenimiento y operaciones, luego un crecimiento del 10 % anual
Campaña de marketing		\$40,000.00	\$40,000.00	\$40,000.00	Se contempla una inversión generosa para alcanzar todos los segmentos posibles
Gastos adicionales		\$9,420.00	\$10,382.00	\$11,388.20	Gastos no contemplados - 1% Ventas Totales
Egresos totales	\$414,920.00	\$353,756.00	\$355,318.40	\$357,037.04	
Ingresos por ventas	\$0.00	\$942,000.00	\$1,036,200.00	\$1,139,820.00	
Flujo Neto	-\$414,920.00	\$538,244.00	\$630,519.60	\$731,384.76	
Flujo acumulado	-\$414,920.00	\$123,904.00	\$754,423.60	\$1,485,808.36	

Tasa de descuento	13.00%
VAN	\$940,348.07
TIR	130%
Payback	< 8 meses

Figura 21: Análisis Financiero promedio

Considerando el escenario promedio, el tiempo de payback es muy cercano, por este mismo motivo el proyecto tiene una alta probabilidad de éxito desde el punto de vista financiero.

Escenario Optimista - 0,5% Conversion				
Suscripciones - Tier FLAT	650	715	787	
Costo por suscripcion - Tier FLAT	\$100.00	\$100.00	\$100.00	
Ingresos Tier FLAT	\$65,000.00	\$71,500.00	\$78,650.00	
Suscripciones - Tier PRO	285	314	345	
Costo por suscripcion - Tier PRO	\$250.00	\$250.00	\$250.00	
Ingresos Tier PRO	\$71,250.00	\$78,375.00	\$86,212.50	
Suscripciones - Tier Business	150	165	182	Se estima una suscripcion reducida a este plan, mas alla del % de conversion
Costo por suscripcion - Tier Business	\$400.00	\$400.00	\$400.00	
Ingresos Tier Business	\$60,000.00	\$66,000.00	\$72,600.00	
Ingresos por venta de Kits	\$1,438,000.00	\$16,200.00	\$16,200.00	
Ingresos Totales Mensuales	\$198,250.00	\$215,875.00	\$237,462.50	

Componente	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Referencia
Desarrollo de Software	\$57,800.00				20 dolares por hora, dos empleados por 9 meses
Compra de Hardware	\$891,140.00	\$89,114.00	\$89,114.00	\$89,114.00	Compra de los kits para cubrir la demanda. Se calcula 820 costo basico + 180 por dron. Luego del primer año solamente se compra el 10%
Mantenimiento Firebase		\$39,080.00	\$42,968.00	\$47,262.80	Cantidad de suscripciones por 3USD mensual
Mantenimiento de Software & Operaciones		\$672,000.00	\$672,000.00	\$672,000.00	40 empleados desarrollo, mantenimiento y operaciones, luego un crecimiento del 10 % anual
Campaña de marketing		\$80,000.00	\$80,000.00	\$80,000.00	Se contempla una inversión generosa para alcanzar todos los segmentos posibles
Gastos adicionales		\$23,550.00	\$25,905.00	\$28,495.50	Gastos no contemplados - 1% Ventas Totales
Egresos totales	\$948,740.00	\$800,174.00	\$804,080.00	\$808,376.80	
Ingresos por ventas	\$0.00	\$2,355,000.00	\$2,590,500.00	\$2,849,550.00	
Flujo Neto	-\$948,740.00	\$1,451,276.00	\$1,880,515.00	\$1,932,677.90	
Flujo acumulado	-\$948,740.00	\$502,536.00	\$2,183,051.00	\$4,115,728.90	

Tasa de descuento	13.00%
VAN	\$2,645,097.81
TIR	154%
Payback	< 8 meses

Figura 22: Análisis Financiero optimista

En el escenario ideal de este proyecto las ganancias empezarán a verse pronto; la inversión se recupera en aproximadamente 8 meses lo que lo convierte en una gran inversión.

3.4.4 Conclusión

El análisis económico-financiero realizado muestra que AeroSentinel tiene una alta probabilidad de éxito desde la perspectiva financiera, se demuestra viabilidad en casos pesimistas y un alto rendimiento en casos optimistas, el hecho de tener una suscripción mensual razonable permite sostener la operación a lo largo del tiempo y escalar de manera rentable.

En conclusión, la solución se posiciona como una iniciativa financiera no solamente sustentable, sino también atractiva. El factor crítico de éxito radica en alcanzar una base sólida de clientes durante los primeros tres años a partir de distintos recursos de marketing.

Para más detalles, visitar el análisis financiero en [spreadsheets](#)

4. Metodologías de desarrollo

El proceso de desarrollo de AeroSentinel se llevó a cabo mediante un enfoque ágil de carácter evolutivo, combinando principios del marco de trabajo Scrum con una metodología incremental orientada a la mejora continua del sistema. Este enfoque se sustenta en las metodologías ágiles propuestas en el Manifiesto Ágil (Beck et al., 2001), que promueven la adaptabilidad, la colaboración y la entrega continua de valor. Dentro de este paradigma, el marco Scrum, desarrollado por Schwaber y Sutherland (2017), se centra en la organización iterativa e incremental del trabajo a través de ciclos breves denominados sprints, donde se establecen metas claras, revisiones constantes y retroalimentación continua.

El desarrollo de AeroSentinel se planificó siguiendo los hitos establecidos en el cronograma de entregas preliminares, lo que permitió dividir el trabajo en etapas concretas con objetivos verificables. Cada hito estuvo compuesto por varios sprints donde se abordaron tareas específicas y se validaron los avances obtenidos.

En el primer hito, el objetivo fue construir el algoritmo de detección de animales en video, base fundamental del sistema. Este se desarrolló a lo largo de tres sprints: en el primero se implementó el algoritmo de detección, en el segundo se diseñó la interfaz de usuario

(front-end), y en el tercero se completó la conexión entre el front-end, la nube y el algoritmo, integrando el flujo completo de datos.

El segundo hito se enfocó en establecer la comunicación entre la Raspberry Pi y el centro de comando, elemento clave para la transmisión de eventos en tiempo real. También se trabajó en tres sprints: el primero destinado a la configuración del hardware, el segundo a la implementación de la comunicación entre dispositivos, y el tercero a la prueba integral del flujo de datos desde la captura hasta la visualización.

Finalmente, el último hito tuvo como propósito el perfeccionamiento del sistema y la optimización final de los procesos de detección y alerta. Esta etapa constó de dos sprints: uno orientado a mejorar la precisión del algoritmo y otro centrado en el pulido del sistema de generación de alertas y en la estabilidad de la comunicación en tiempo real.

El desarrollo se apoyó en un proceso de revisión continua entre los integrantes del equipo, aplicando reuniones de seguimiento y retrospectivas al finalizar cada sprint, lo que facilitó la identificación temprana de mejoras y el mantenimiento de un ritmo de avance sostenido. Tal como plantean Highsmith (2002) y Abrahamsson et al. (2017), este tipo de estructura iterativa fomenta la adaptabilidad, la colaboración y la entrega de incrementos funcionales en cada ciclo de trabajo.

El enfoque evolutivo e incremental aplicado en AeroSentinel permitió que cada versión del sistema incorpore mejoras tanto en el rendimiento del algoritmo como en la arquitectura general, garantizando un producto final más robusto, escalable y alineado con los objetivos definidos. Según Boehm (1988) y Pressman y Maxim (2020), este tipo de modelos resulta especialmente eficaz en desarrollos de innovación tecnológica, donde los requerimientos y funcionalidades evolucionan junto con el propio sistema.

4.1 Herramientas y tecnologías utilizadas en la metodología

Para la implementación de la metodología ágil se emplearon diversas herramientas de colaboración, gestión y documentación, que permitieron mantener una comunicación fluida, asignar tareas de manera organizada y realizar un seguimiento constante del progreso.

Las reuniones de planificación y revisión de sprints se llevaron a cabo de manera virtual mediante Microsoft Teams, lo que facilitó la coordinación del grupo y la toma de decisiones conjuntas. El seguimiento de tareas y asignación de responsabilidades se gestionó a través de Microsoft Planner, donde cada miembro podía registrar el estado de sus actividades, adjuntar avances y marcar los entregables completados en cada iteración.

Durante las etapas de diseño de interfaz y flujo del sistema, se utilizaron Figma para el prototipado del dashboard y Miro para la elaboración de esquemas conceptuales, flujos de datos y diagramas de interacción. Estas herramientas colaborativas permiten mantener una visión compartida del sistema y agilizar las correcciones visuales o de funcionalidad.

Para la documentación técnica y control de versiones, se emplearon repositorios en GitHub, donde se gestionaron las distintas ramas de desarrollo del algoritmo y del front-end, asegurando trazabilidad y orden en los cambios de código. Asimismo, se utilizó Google Drive para compartir informes, pruebas y registros de avances, centralizando los documentos del proyecto en un único entorno de acceso compartido.

Finalmente, se llevaron a cabo pruebas integrales y sesiones de validación cruzada entre los integrantes del equipo al cierre de cada sprint, con el fin de garantizar que los entregables cumplieran con los requerimientos funcionales definidos. Esta dinámica de trabajo, apoyada en herramientas digitales de comunicación y gestión, permitió mantener una estructura ágil, colaborativa y eficiente a lo largo de todo el proceso de desarrollo.

4.2 Tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto

La elección de tecnologías fue el resultado de un análisis comparativo entre distintas alternativas, con el objetivo de lograr un balance entre precisión, rendimiento, escalabilidad y facilidad de adopción en un entorno rural.

4.2.1 Computer Vision

Durante el desarrollo se evaluaron distintos enfoques para la detección de personas, animales y vehículos:

4.2.1.1 OpenCV clásico (Haar Cascades - HOG)

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es una librería de visión por computadora ampliamente utilizada que provee más de 2.500 algoritmos optimizados para tareas como detección de objetos, reconocimiento facial, seguimiento de movimiento y procesamiento 3D, entre otros. [Medium, 2025]

Haar Cascades

Los Haar Cascades (“*cascada de Haar*”) constituyen un método de detección de objetos introducido por Viola y Jones en 2001. Consiste en entrenar un clasificador mediante ejemplos positivos y negativos. Cada característica Haar se calcula como la diferencia entre sumas de píxeles en regiones rectangulares—esto se optimiza mediante el uso de imágenes integrales que permiten cálculos muy rápidos[OpenCvOrg, 2025]. Luego, los clasificadores se organizan en cascadas: bloques sucesivos que descartan rápidamente regiones que no corresponden al objeto buscado, permitiendo una detección eficiente en tiempo real [RapidInnovation, 2025]

A pesar de su eficiencia computacional, estas técnicas tienen limitaciones importantes: generan falsos positivos, requieren calibración cuidadosa de parámetros y suelen ser menos robustas que métodos modernos en entornos complejos como los rurales [Rosebrock, 2021].

HOG (Histogram of Oriented Gradients)

El HOG, o Histograma de Gradientes Orientados, es un descriptor de características usado frecuentemente para la detección de personas, aunque también se ha aplicado a animales y vehículos. La idea es dividir la imagen en pequeñas celdas, calcular el gradiente de intensidad (dirección y magnitud) para cada píxel, y crear histogramas de orientaciones dentro

de cada celda. Luego se agrupan y normalizan en bloques mayores para robustecer contra cambios de iluminación.

Este descriptor se usa comúnmente en combinación con un clasificador —por ejemplo, una SVM— para detectar objetos en imágenes estáticas o en vídeo. Aunque ofrece más precisión que Haar en ciertos contextos, sigue siendo más lento que los métodos basados en redes neuronales modernas, y su rendimiento decae en escenarios con múltiples objetos, fondos complejos o variabilidad visual elevada.

4.2.1.2 TensorFlow / PyTorch con modelos entrenados desde cero

TensorFlow, desarrollado originalmente por Google, permite representar los modelos como gráficos de flujo de datos que pueden ser ejecutados eficientemente en CPUs, GPUs y TPU —esto lo hace escalable y flexible para uso tanto en investigación como en producción. [Roboflow, 2025] Dentro del ecosistema de TensorFlow, el Object Detection API proporciona un entorno estructurado para entrenar modelos especializados en detección, incluyendo arquitecturas pre-entrenadas (como EfficientDet, SSD, Faster R-CNN), configuración de pipelines, anotación de datasets, y despliegue. [TensorFlow, 2025]

PyTorch, por su parte, destaca por su sintaxis más directa y estar pensada para Python, lo que facilita su adopción en entornos académicos y de desarrollo rápido. Permite definir y entrenar modelos desde cero o adaptar arquitecturas existentes de manera ágil.

Entrenar un modelo desde cero utilizando estas librerías implica varias etapas: adquisición y etiquetado de un dataset balanceado, definición de la arquitectura, ajuste de hiperparámetros, entrenamiento (idealmente con GPU), evaluación y ajustes iterativos. Esta flexibilidad permite adaptar completamente el modelo al dominio específico (por ejemplo, vacas o entornos rurales), pero requiere grandes volúmenes de datos etiquetados y recursos computacionales (como GPUs), lo cual puede exceder rápidamente el alcance de un MVP. [NeptuneAi, 2025]

4.2.1.3 YOLOv8n (Ultralytics)

La serie YOLO ("*You Only Look Once*") introdujo un paradigma revolucionario en detección de objetos en 2015, al tratar la detección como un problema de regresión único en una sola pasada por la imagen, lo que lo hace extremadamente rápido. Desde entonces, las versiones han evolucionado significativamente, y YOLOv8, lanzada en enero de 2023 por Ultralytics, representa un salto en rendimiento, modularidad y facilidad de uso.

YOLOv8 incorpora una arquitectura moderna que elimina el uso de "*anchor boxes*" (anchor-free), simplificando la predicción de bounding boxes y mejorando la eficiencia del Non-Maximum Suppression (técnica para filtrar detecciones redundantes). Además, ofrece una librería unificada que permite tareas de detección, segmentación, clasificación y estimación de pose, todas accesibles mediante una interfaz CLI y una API Python muy amigable. [Roboflow, 2025]

Entre sus variantes, YOLOv8n (nano) es especialmente ligera —de apenas unos megabytes— y está diseñada para correr eficientemente en CPU, lo que la hace ideal para hardware con recursos limitados como un Raspberry Pi. [HuggingFace, 2025] A pesar de su tamaño compacto, mantiene una precisión competitiva en benchmarks como COCO o Roboflow 100, y su diseño escalable permite, en el futuro, cambiar a versiones más grandes (s, m, l, x) si los recursos lo permiten.

En conclusión, todas las opciones evaluadas presentan fortalezas: OpenCV clásico destaca por su sencillez y velocidad en tiempo real, PyTorch ofrece un nivel alto de personalización para entrenar modelos específicos, y TensorFlow se caracteriza por su capacidad de optimización y escalabilidad en entornos con recursos de cómputo más robustos. Sin embargo, en el contexto del proyecto —centrado en la vigilancia de campos rurales con limitaciones de conectividad y hardware embebido— resultaba fundamental priorizar la eficiencia en el uso de recursos sin sacrificar la precisión necesaria para la detección confiable. Por ello, se optó por YOLOv8 implementado en PyTorch por Ultralytics, que al ser liviano y rápido permite ejecutarse de manera fluida en un Raspberry Pi a bordo del dron, garantizando la operación en tiempo real sin comprometer el rendimiento del sistema.

Además, su diseño modular y escalable brinda la posibilidad de migrar a versiones más potentes de la misma familia (s, m, l, x) en el futuro, lo que asegura la continuidad tecnológica y la adaptabilidad de la solución ante escenarios más exigentes.

4.2.2 Infraestructura Cloud

4.2.2.1 Firestore (Base de datos NoSQL)

Cloud Firestore es la base de datos NoSQL en tiempo real de Google Firebase, diseñada para manejar datos estructurados y semiestructurados mediante colecciones y documentos en formato JSON. A diferencia de las bases relacionales tradicionales, Firestore está optimizada para consultas rápidas, sincronización en tiempo real y escalabilidad automática, sin necesidad de administrar servidores o índices manualmente [Firebase, 2025].

En el proyecto, Firestore se convierte en el repositorio central para los eventos detectados por los drones, asegurando persistencia confiable y sincronización inmediata con la interfaz de usuario.

4.2.2.2 Cloud Storage

Cloud Storage for Firebase es un servicio de almacenamiento de objetos (archivos binarios) que permite guardar y servir imágenes, videos y otros contenidos de gran tamaño de forma segura y escalable. Está diseñado para integrarse nativamente con Firebase Authentication y Firestore, permitiendo controlar permisos de acceso a nivel de usuario. En este proyecto se utiliza para almacenar evidencia multimedia de las detecciones (fotogramas de video, imágenes críticas), posibilitando tanto la validación por parte del productor como la futura reutilización de datos para entrenar nuevos modelos de visión por computadora. [Firebase, 2025]

4.2.2.3 Cloud Functions

Cloud Functions es la solución serverless de Google Cloud que permite ejecutar lógica backend en respuesta a eventos sin necesidad de gestionar servidores o instancias de cómputo. Su funcionamiento se basa en disparadores asociados a cambios en Firestore, cargas en Cloud Storage o solicitudes HTTP, tras lo cual se ejecuta automáticamente el código definido en Node.js o Python.

En el proyecto, Cloud Functions cumple un rol central: procesa los resultados enviados por los drones, consolida estadísticas de detección, dispara notificaciones hacia los usuarios y mantiene actualizadas las métricas en Firestore. Esta capacidad de procesamiento automático asegura la escalabilidad y simplifica la administración, ya que no requiere infraestructura dedicada (GoogleCloud, 2025).

4.2.2.4 Firebase Authentication

Firebase Authentication es un servicio gestionado de autenticación que permite registrar, autenticar y administrar usuarios mediante email/contraseña, proveedores sociales (Google, Facebook, etc.) o integración con sistemas propios. Ofrece un SDK sencillo para integrarse tanto en aplicaciones web como móviles, gestionando de manera segura la creación de sesiones y el control de acceso a los recursos. (firebase.google.com)

En este proyecto se utiliza para garantizar que solo usuarios autorizados (productores o administradores del sistema) accedan al dashboard, protegiendo así la información sensible asociada a las detecciones.

4.2.2.5 Firebase Hosting

Firebase Hosting es un servicio de despliegue web gestionado, pensado para alojar aplicaciones web estáticas o dinámicas con alta disponibilidad y distribución global mediante CDN. Permite publicar sitios basados en frameworks como React o Next.js con un solo comando, integrando además HTTPS automático y control de versiones. En el sistema desarrollado, Firebase Hosting aloja el frontend del dashboard, garantizando que los

productores rurales puedan acceder de manera rápida y segura desde cualquier dispositivo con conexión a internet, sin preocuparse por configuraciones de servidores o dominios. [Firebase, 2025].

Las tecnologías seleccionadas de Google Cloud y Firebase ofrecen un ecosistema altamente integrado, escalable y de bajo mantenimiento, ideal para proyectos que requieren despliegue rápido y confiabilidad en entornos con usuarios no técnicos. Firestore se encarga de los registros estructurados en tiempo real, Cloud Storage permite gestionar grandes volúmenes de evidencia multimedia, Cloud Functions automatiza el procesamiento y las notificaciones, Firebase Authentication garantiza la seguridad de acceso y Firebase Hosting asegura la distribución global del dashboard con mínima complejidad operativa.

La combinación de estos servicios evita la necesidad de mantener servidores dedicados, reduce costos de administración y asegura una escalabilidad progresiva, adaptándose tanto al MVP inicial como a un despliegue futuro en explotaciones rurales de mayor tamaño. Esta decisión tecnológica prioriza la simplicidad para el equipo de desarrollo y la robustez de la solución final, asegurando continuidad y crecimiento sin que el productor deba lidiar con configuraciones técnicas complejas.

4.2.3 Servidor local

El servidor local constituye el nodo intermedio entre el dron y la infraestructura en la nube. Se optó por implementarlo sobre un mini-PC con arquitectura ARM o x86, lo que asegura mayor capacidad de procesamiento que un sistema embebido como el Raspberry Pi a bordo. Su función principal es recibir los paquetes de datos enviados desde el dron, decodificarlos y procesarlos antes de almacenarlos o reenviarlos a la nube. Este componente actúa como buffer de resiliencia: garantiza que, incluso en ausencia de internet, la información crítica se almacene y procese localmente, manteniendo operativo el sistema en escenarios rurales.

4.2.3.1 MongoDB

MongoDB es una base de datos NoSQL orientada a documentos, diseñada para manejar datos semi-estructurados en formato BSON/JSON. Se caracteriza por su flexibilidad de esquemas y escalabilidad horizontal, lo que permite almacenar registros heterogéneos sin necesidad de estructuras fijas. En el proyecto se utiliza para persistir localmente eventos y detecciones recibidas del dron, asegurando que la información no se pierda ante desconexiones. Además, MongoDB permite consultas rápidas y soporta replicación, lo que lo convierte en una herramienta robusta para operar en entornos donde la conectividad con la nube puede ser intermitente. [MongoDb, 2025]

4.2.3.2 Python

Python es el lenguaje principal utilizado para la lógica de procesamiento en el servidor local, debido a su amplio ecosistema de librerías para manejo de datos, comunicación con dispositivos y servicios web. En este sistema, scripts en Python se encargan de decodificar los paquetes seriales recibidos, aplicar reglas y umbrales para filtrar eventos relevantes, y generar notificaciones que luego se integran con el dashboard. Además, su facilidad de integración con MongoDB y su compatibilidad con librerías de mensajería lo hacen especialmente adecuado para orquestar procesos en tiempo real con bajo overhead de desarrollo. [Python, 2025]

4.2.3.3 Comunicación serial (UART + LoRa)

La comunicación entre el dron y el servidor local se realiza a través de paquetes seriales enviados por módulos de radiofrecuencia LoRa. La capa UART/serial se encarga de la codificación básica y transmisión punto a punto, mientras que LoRa aporta el alcance de largo rango con bajo consumo energético. En el servidor, un módulo *Decoder Serial* recibe estos paquetes y los transforma en datos estructurados que luego son procesados por los servicios

en Python. Esta combinación de tecnologías permite mantener un canal de comunicación robusto y de bajo costo, adecuado para campos de gran extensión. [LoRa Alliance, 2025]

La infraestructura de servidor local se diseñó para ser un punto de resiliencia y continuidad en el flujo de datos. Mientras el dron se centra en la detección, el servidor garantiza que los eventos se reciban, filtren, almacenen y persistan incluso en condiciones de mala conectividad. MongoDB aporta flexibilidad y persistencia, Python provee la lógica de procesamiento, y Redis/colas aseguran robustez en el manejo de flujos. Finalmente, la combinación de serial + LoRa garantiza comunicación confiable de largo alcance entre el dron y el nodo terrestre.

Estas elecciones responden al objetivo central del proyecto: ofrecer una solución eficiente, tolerante a fallas y adaptada a las condiciones del entorno rural bonaerense, sin sacrificar escalabilidad futura hacia la nube.

4.2.4 Frontend

4.2.4.1 Next.js

Next.js es un framework de desarrollo web basado en React que facilita la construcción de aplicaciones modernas con renderizado híbrido (del lado del servidor y del cliente), generación estática y enrutamiento optimizado. Su principal ventaja es que combina la flexibilidad de React con herramientas listas para producción, como soporte integrado para API Routes, optimización de imágenes, internacionalización y despliegue simplificado en plataformas como Vercel o Firebase Hosting. [Nextjs.org, 2025]

4.2.4.2 React

React es una biblioteca de JavaScript desarrollada por Meta para la construcción de interfaces de usuario interactivas y reutilizables mediante un enfoque basado en componentes (react.dev). Su modelo de programación declarativa y el uso del Virtual DOM facilitan la actualización eficiente de vistas cuando cambian los datos.

Constituye la base de la interfaz del dashboard, lo que permite organizar la UI en módulos reutilizables como tablas, paneles de métricas, gráficos y formularios, garantizando mantenibilidad y flexibilidad en el tiempo.

4.2.4.3 ApexCharts / Recharts

ApexCharts y Recharts son librerías de visualización de datos en React que permiten generar gráficos interactivos y responsivos. Se utilizan para representar métricas de detección por dron y por zona, mostrando tendencias, frecuencias de eventos y resúmenes estadísticos. Su integración con React facilita que los gráficos se actualicen automáticamente en tiempo real a medida que cambian los datos en Firestore, ofreciendo a los productores una forma clara y visual de interpretar la información. [Apexcharts ,2025]

El stack de frontend elegido responde a la necesidad de contar con una interfaz intuitiva, rápida y adaptable a distintos dispositivos. React brinda la base modular para construir componentes reutilizables, Next.js agrega optimización de rendimiento y despliegue sencillo, mientras que ApexCharts y Recharts permiten transmitir la información de manera clara y dinámica. Esta elección tecnológica prioriza la simplicidad de uso, mantenibilidad y escalabilidad, asegurando que la solución pueda evolucionar sin perder facilidad de adopción por parte de usuarios con bajo perfil tecnológico.

4.3 Conclusión sobre tecnologías

El proceso de selección tecnológica buscó garantizar un MVP funcional, capaz de operar en condiciones reales de campo con recursos limitados, pero al mismo tiempo escalable a futuro. Por ello, se descartaron enfoques muy pesados (TensorFlow/PyTorch entrenados desde cero) y métodos poco precisos (OpenCV clásico), en favor de YOLOv8n como motor de visión + HOG para identificar personas, junto con una infraestructura basada en Firebase y GCP que simplifica la integración de servicios.

De esta manera, el sistema combina procesamiento distribuido (dron + servidor local) con computación en la nube (almacenamiento, análisis y visualización), lo que permite

adaptarse a la realidad del sector agropecuario argentino: entornos con limitaciones de conectividad, necesidad de costos controlados y simplicidad de uso para productores rurales.

4.4 Desarrollo

Contemplando el desarrollo técnico, este proyecto cuenta con al menos 3 etapas de software; procesamiento en el borde (Algoritmo de inteligencia artificial ejecutándose en el Drone), un enlace de bajo consumo y larga distancia (Permitirá conectar el dron con el servidor central) y por último, el procesamiento en el servidor en sí mismo, el servidor será el encargado de procesar las notificaciones y mostrarlas en un tablero local, y también será el responsable de subir toda la información a la nube para poder consumirla desde cualquier parte del mundo.

4.4.1 Computer Vision

Durante el proceso de desarrollo se probaron diversas opciones de algoritmos que permiten procesar imágenes, como puede ser OpenCV con su procesamiento nativo, o bien Tensor Flow con un entrenamiento específico. Donde ambos mostraban defectos distintos, por su parte, OpenCV era demasiado simple y no permitía contar animales de manera inequívoca, lo cual provocaba un recuento de animales en exceso y un post procesamiento más lento y caro computacionalmente, para poder descartar los repetidos.

En el lado opuesto, se decidió probar Tensor Flow con un dataset de imágenes de ganado bovino obtenido de internet, contaba con muy buena efectividad pero una velocidad de procesamiento demasiado baja, en este punto, es de vital importancia recordar que la capacidad de procesamiento a bordo del dron será limitada en recursos y sin GPU, lo cual condiciona el algoritmo a un procesamiento con CPU y a su vez dependiente de la memoria RAM disponible.

Teniendo en cuenta los defectos de los algoritmos anteriores se investigó por otras opciones, optando por algoritmos YOLO. Estos algoritmos no desperdician tiempo en el análisis de imágenes, simplemente pasan la imagen una sola vez por la red neuronal que los compone y trata de detectar objetos y clasificarlos en clases. Para poder medir la efectividad del algoritmo éste cuenta con 2 métricas, confianza y probabilidad de la clase, donde la confianza muestra la probabilidad de que haya algo en la caja marcada y la probabilidad

remarca que tan probable es que sea de la clase sugeridas (Vaca, oveja, persona, etc). Esto permite tener un algoritmo liviano y confiable, con un procesamiento por cuadro de alta velocidad, lo que permite tener un procesamiento cercano al “*en tiempo real*” (NRT, por sus siglas en inglés - Near Real Time). Para poder realizar el proceso de detección de personas de manera eficiente, se combinó con un algoritmo de histogramas para casos de mucho sol, donde el contraste no le permite a YOLO reconocer personas.

Luego de seleccionar el algoritmo, se personalizó a medida para poder afrontar la problemática en varios aspectos

- Se ajustó la resolución máxima de video a utilizar (mayor tamaño de imagen, mayor costo computacional),
- Se diseñó una cola donde se guardan los id de los animales, lo cual permite configurar la cantidad de fotogramas en los que apareció un animal para confirmar su existencia.
- Se agregó una capa de seguimiento de los animales, en base a su posición en la imagen (Se calcula el centroide del recuadro que encierra el animal), lo que permite identificarlos de manera única en una sucesión de imágenes
- Se agregó una capa de post procesamiento liviana que compara histogramas de los animales detectados para no estar repitiendo ejemplares en el conteo.
- Se agregó una función que permite detectar cercanía entre distintas clases, en este caso, animales y personas, lo cual permite ajustar de manera precisa una distancia para considerar que es una situación de riesgo para el animal.
- Se implementó una función que guarda una imagen del animal para poder identificarlos más tarde en el frontend

Por último, y no menos importante, se desarrolló el algoritmo para que permita procesar el video en hilos, subdividiendo fotogramas en hasta 12 procesos diferentes, lo cual permite acelerar el procesamiento y aprovechar las cualidades propias de un CPU con más de un núcleo.

4.4.1.1 Entrenamiento del Algoritmo

El entrenamiento del algoritmo constituyó una de las etapas más críticas dentro del desarrollo, ya que de este proceso depende en gran medida la capacidad del sistema de detectar y clasificar correctamente los objetos presentes en el entorno. Para alcanzar un modelo robusto se diseñó un flujo de trabajo dividido en tres fases principales: recolección de datasets, preparación y limpieza de datos mediante técnicas de ETL, y entrenamiento iterativo del modelo con sucesivos ajustes de hiperparámetros.

Obtención de datasets

La primera fase se enfocó en la conformación de un conjunto de datos lo suficientemente diverso para representar los escenarios reales a los que se enfrentará el dron en campo abierto. Se recurrió principalmente a la plataforma Kaggle [Kaggle.com, 2025], donde se encuentran disponibles datasets públicos de ganado bovino, ovino y animales de granja, así como de personas y vehículos en entornos rurales. La elección de esta fuente respondió a la necesidad de contar con un repositorio de gran volumen y variabilidad, con imágenes capturadas bajo distintas condiciones de luz, ángulos de visión y resoluciones. Adicionalmente, se incorporaron imágenes complementarias provenientes de búsquedas abiertas y de repositorios de research papers, lo que permitió enriquecer el dataset con situaciones más cercanas al uso esperado. Este enfoque evitó un sesgo hacia condiciones ideales de captura y favoreció la generalización del modelo.

Limpieza y preparación de datos (ETL)

Una vez consolidada la base de imágenes, se procedió a un proceso de depuración aplicando técnicas ETL (Extract, Transform, Load). En la etapa de extract se centralizaron todas las imágenes en un único repositorio estructurado, permitiendo un control uniforme de las fuentes. La fase de transform implicó diversas operaciones: eliminación de duplicados y de imágenes irrelevantes (por ejemplo, animales parcialmente visibles, imágenes animadas/dibujo, o no claramente visibles) y normalización de tamaños y resoluciones para garantizar la homogeneidad en la entrada al modelo. Finalmente, en la etapa de load se organizó el dataset en subconjuntos de entrenamiento (aproximadamente el 70% del total),

validación (20%) y prueba (10%), garantizando que la distribución de clases fuese balanceada y evitando la sobre-representación de ciertos objetos.

Entrenamiento y ajustes iterativos

Con el dataset limpio y estructurado se inició el proceso de entrenamiento del algoritmo basado en la arquitectura YOLO, seleccionada previamente por su capacidad de procesamiento en tiempo cercano al real. El entrenamiento se llevó a cabo en múltiples ciclos o epochs, ajustando los hiperparámetros de manera progresiva para mejorar la performance del modelo. Entre los parámetros más relevantes se destacan:

- El umbral de confianza (confidence threshold), que se calibró para minimizar falsos positivos sin comprometer la sensibilidad del detector.
- La tasa de aprendizaje (learning rate), ajustada de forma decreciente a lo largo de las iteraciones para estabilizar la convergencia.
- La cantidad de epochs, que se incrementó gradualmente hasta lograr una relación estable entre las métricas de entrenamiento y validación, evitando fenómenos de sobreajuste.
- La implementación de técnicas de regularización, como dropout y batch normalization, que contribuyeron a mejorar la generalización del modelo frente a datos no vistos.

Durante cada iteración se monitorearon métricas específicas de desempeño, tales como precisión, recall y el promedio de exactitud por clase (mAP – mean Average Precision), además de las curvas de pérdida y exactitud para los conjuntos de entrenamiento y validación. Este análisis permitió detectar rápidamente desviaciones que pudieran indicar problemas de sobreajuste o subajuste. A partir de dichas observaciones, se realizaron sucesivos refinamientos en la configuración del modelo, tales como la modificación del tamaño de los batches de entrenamiento, el ajuste en la tolerancia de las funciones de pérdida, y la redefinición de las proporciones en la división de datasets.

En conjunto, este proceso iterativo permitió obtener un modelo capaz de detectar y clasificar animales, personas y vehículos en escenarios rurales con una relación óptima entre velocidad de inferencia y precisión. El resultado final fue un algoritmo entrenado de manera robusta, preparado para operar sobre hardware limitado en recursos, como el que se encuentra

disponible a bordo del dron, sin comprometer la capacidad de detección en tiempo cercano al real.

4.4.2 BackEnd

El BackEnd actúa en este caso como un procesador de mensajes, donde recibe información del dron y la guarda de manera local en una base no relacional MongoDB, a su vez, esta información es subida a la nube para poder consumirse desde tableros expuestos a internet. La implementación del algoritmo no presenta mayores dificultades, simplemente lee notificaciones guardadas en una carpeta, las procesa y las pasa a otra carpeta de notificaciones procesadas. Para poder trabajar de manera modular se realizaron varios algoritmos de prueba que permiten verificar el correcto funcionamiento de distintas funcionalidades; Carga de imágenes en Cloud Storage, carga de notificaciones en Firestore, carga de métricas de dashboard, entre otras funcionalidades que pueden probarse de manera simple invocando directamente el servicio sin tener que ejecutar todo el proceso de inferencia en el dron.

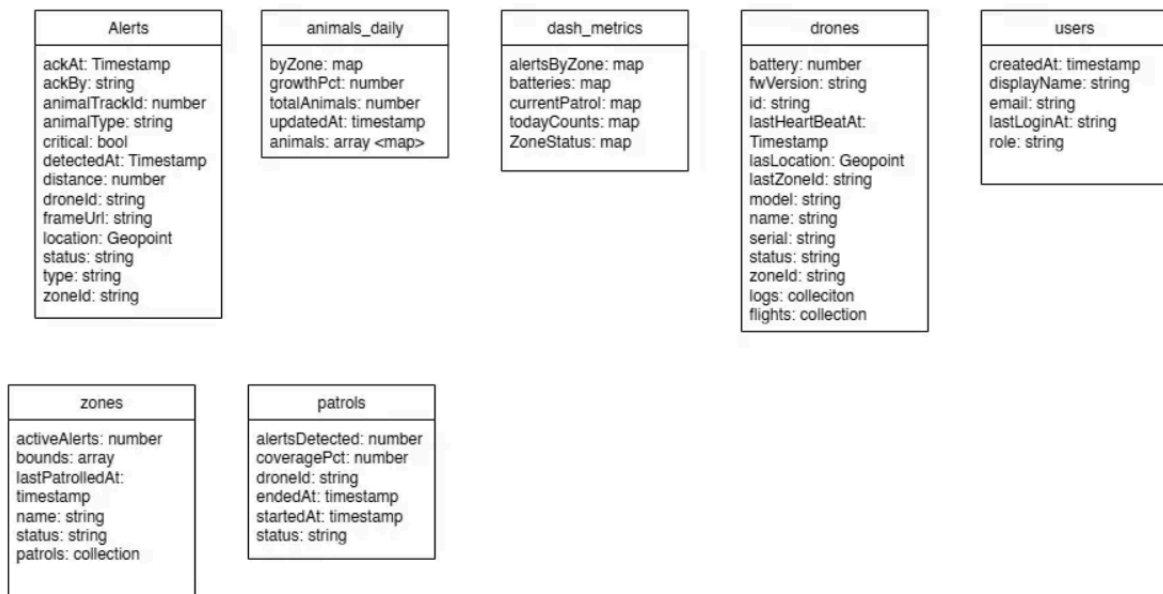


Figura 23: Diagrama de la Arquitectura de la Base de Datos no relacional

4.4.3 FrontEnd

El desarrollo del frontend se centró en diseñar una interfaz clara e intuitiva que permita a los productores rurales acceder de manera rápida a la información crítica del sistema. Cada pantalla fue concebida para priorizar la simplicidad y la acción inmediata, reduciendo la carga cognitiva y facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

4.4.3.1 Inicio

La pantalla de “*Inicio*” constituye el punto central del dashboard y fue diseñada para ofrecer al usuario una visión general del estado actual del sistema y de los drones en operación. El objetivo es que, de un solo vistazo, el usuario pueda conocer los indicadores clave de seguridad y funcionamiento.

En primer lugar, se decidió ubicar en la parte superior un conjunto de tarjetas globales, que condensan indicadores clave como el número de animales detectados, recorridos realizados en el día, cantidad de alertas activas y la zona actual del dron. Esta disposición permite que el usuario tenga en segundos una noción de cómo se encuentra el campo bajo vigilancia.

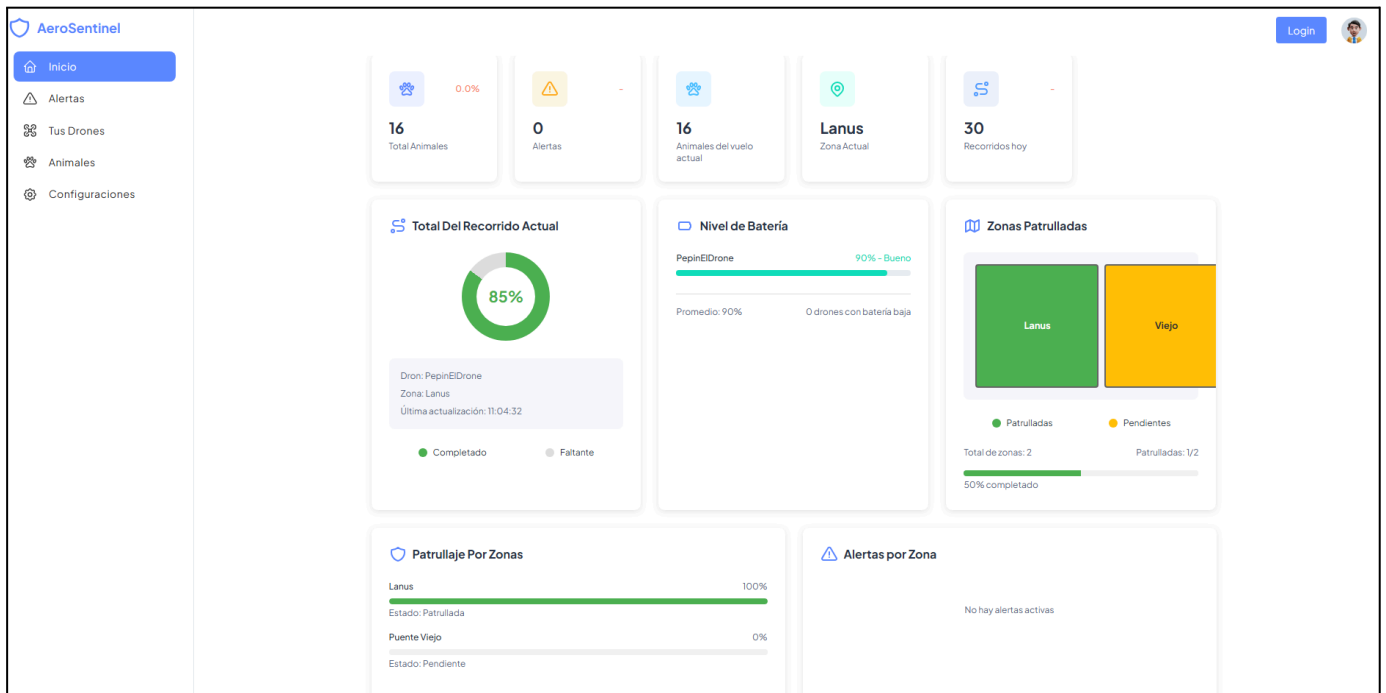


Figura 24: Pantalla de “Inicio” en modo escritorio

En la sección media, se prioriza la inclusión de dashboards gráficos que permitan comprender de forma visual el progreso de las operaciones. Entre ellos, el gráfico circular de “*Total del Recorrido Actual*” refleja en tiempo real el avance del dron, lo que facilita entender si el viaje del dron se encuentra comenzado o ya próximo a terminar. Del mismo modo, el widget de “*Nivel de batería*” ocupa un lugar destacado, ya que la autonomía de los drones constituye un factor crítico para la continuidad de las patrullas: un dron sin batería no sólo interrumpe el monitoreo, sino que también puede perderse información valiosa.

Por otro lado, el módulo de “*Zonas patrulladas*” se diseña con un esquema de colores intuitivo (verde para completadas, amarillo para pendientes), de manera que el usuario pueda reconocer rápidamente qué áreas se encuentran cubiertas y cuáles requieren atención. Finalmente, la sección inferior integra el resumen de “*alertas por zona*”, que centraliza los eventos críticos detectados. La ubicación de este componente responde al hecho de que, si bien las alertas son un punto de acción inmediata, se busca que primero el usuario tenga una visión global del estado y luego descienda a las particularidades de cada evento.

4.4.3.2 Alertas

La pantalla de Alertas se diseñó bajo la premisa de que este módulo debía ser el centro de control de eventos críticos dentro del sistema. En contextos rurales, donde los recursos humanos y tecnológicos son limitados, es fundamental que la información sobre incidentes llegue al usuario de forma ordenada, priorizada y con posibilidad de acción inmediata.

Por esa razón, en la parte izquierda se ubicó la sección “*Zonas con alertas*”, que agrupa las notificaciones según la localización. La lógica detrás de esta decisión es que el productor suele pensar primero en qué zona del campo está comprometida antes de profundizar en el detalle del evento. Así, se facilita una lectura territorial: el usuario sabe rápidamente dónde mirar o actuar.

En la parte derecha se encuentra la “*Lista de alertas*”, que funciona como un historial filtrable. Aquí la información está jerarquizada por criticidad y estado, distinguiendo con etiquetas de color si se trata de un evento “*Crítico*”, “*No Crítico*” o “*Nuevo*”, “*Reconocido*” y “*Cerrado*”. Esta segmentación evita la saturación de información y ayuda al usuario a priorizar su atención, enfocándose primero en lo más urgente.

La sección “*Última alerta*” en la parte inferior izquierda resalta el incidente más reciente, mostrando datos claves como tipo de evento, ubicación, fecha, hora y estado de gestión. Este componente fue elegido para dar un punto focal inmediato: el usuario no necesita revisar toda la lista para saber cuál fue el último suceso reportado.

Finalmente, el apartado “*Zona con Alertas*” sintetiza en formato resumido la distribución espacial de los incidentes. Su objetivo es aportar una vista complementaria de carácter más estratégico, mostrando no solo qué alertas hay, sino también cómo se concentran en el territorio.

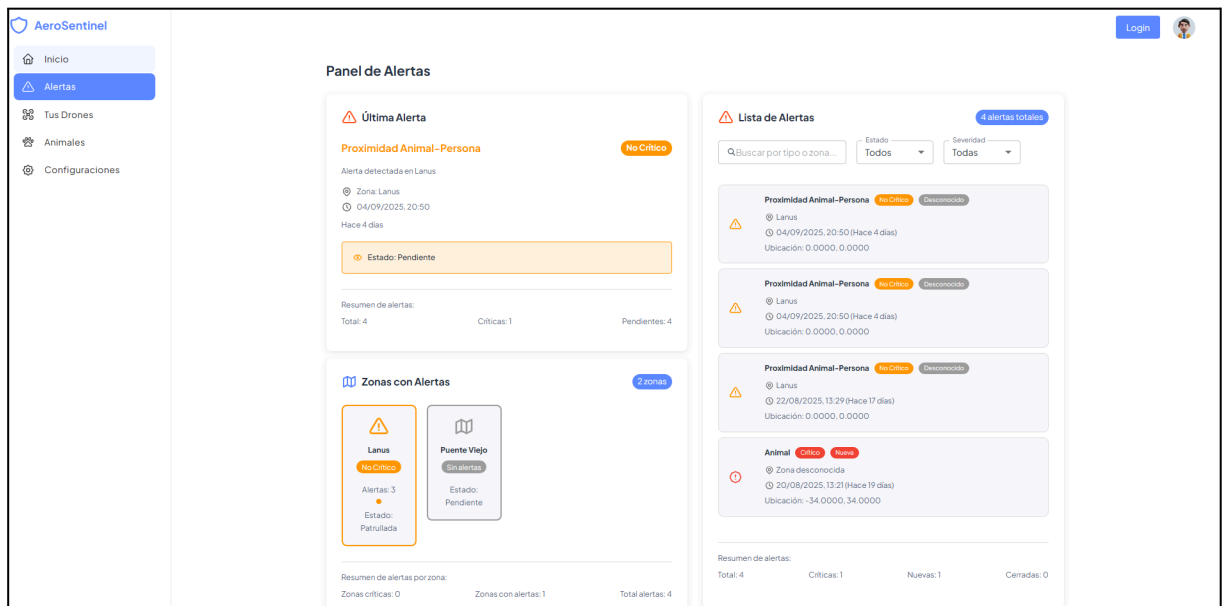


Figura 25: Pantalla de Alertas en modo escritorio

4.4.3.3 Drones

La pantalla “*Tus Drones*” fue diseñada con el objetivo de centralizar toda la información operativa sobre los dispositivos desplegados en el campo, priorizando dos aspectos clave: ubicación en tiempo real y estado técnico de cada dron. Se decidió diseñarlo de esta manera para que el usuario pueda tener un control preciso sobre su flota, minimizando el riesgo de pérdida o fallos inesperados.

En la parte superior se incluyen tarjetas globales que muestran el total de drones registrados, cuántos se encuentran activos, cuántos en línea y el nivel promedio de batería. Estos indicadores permiten al usuario obtener un estado consolidado de la flota en segundos, sin necesidad de revisar uno por uno los dispositivos.

El componente central de la pantalla es el módulo de “*Ubicación de drones*”, desplegado en un mapa interactivo. La decisión de ubicar este mapa en el área principal responde a que la localización espacial es la información más crítica en la operación: la certeza de saber dónde está cada dron, en qué zona está patrullando y detectar posibles

desvíos o incidentes. Además, la representación visual sobre mapa facilita que el productor relacione la información con su propio terreno, mejorando la interpretación de los datos.

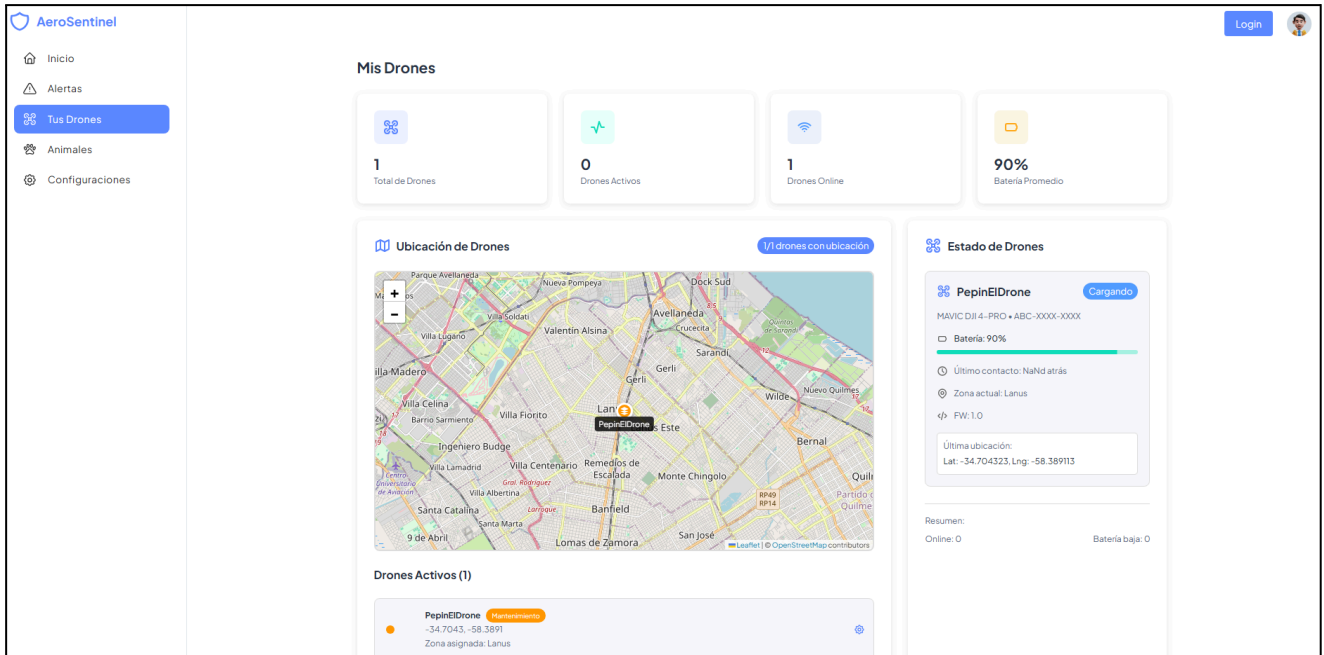


Figura 26: Pantalla de “Tus Drones” en modo escritorio

A la derecha, se encuentra el panel de “Estado de drones”, que presenta información detallada de cada dispositivo: modelo, batería, última comunicación, zona actual, versión de firmware y ubicación exacta (latitud/longitud). Este módulo cumple la función de ficha técnica individual, pensada para la gestión de mantenimiento y control del hardware. Se eligió este formato porque, si bien el mapa entrega una visión global, el productor también necesita tener datos específicos cuando detecta irregularidades en un dron particular.

Finalmente, en la parte inferior se añade un listado de drones activos, que actúa como acceso rápido para identificar qué dispositivos están en operación, cuál es su estado actual y qué zona tienen asignada. Esta organización permite alternar entre vista global (mapa y tarjetas) y vista detallada (estado individual) sin perder consistencia.

4.4.3.4 Animales

La pantalla de Animales se diseñó con el objetivo de ofrecer al usuario un control directo sobre el ganado detectado por el sistema. La decisión de organizar la interfaz en métricas globales, listado visual y mapa responde a la necesidad de que el productor pueda responder rápidamente a tres preguntas clave: ¿cuántos animales hay?, ¿qué tipo de animales son? y ¿dónde están ubicados?.

En la parte superior se ubican las tarjetas de indicadores globales (total de animales, cantidad de vacas, cantidad de ovejas y zonas activas). Estas métricas actúan como un “resumen ejecutivo” del estado actual del campo, pensado para dar un panorama rápido antes de entrar al detalle.

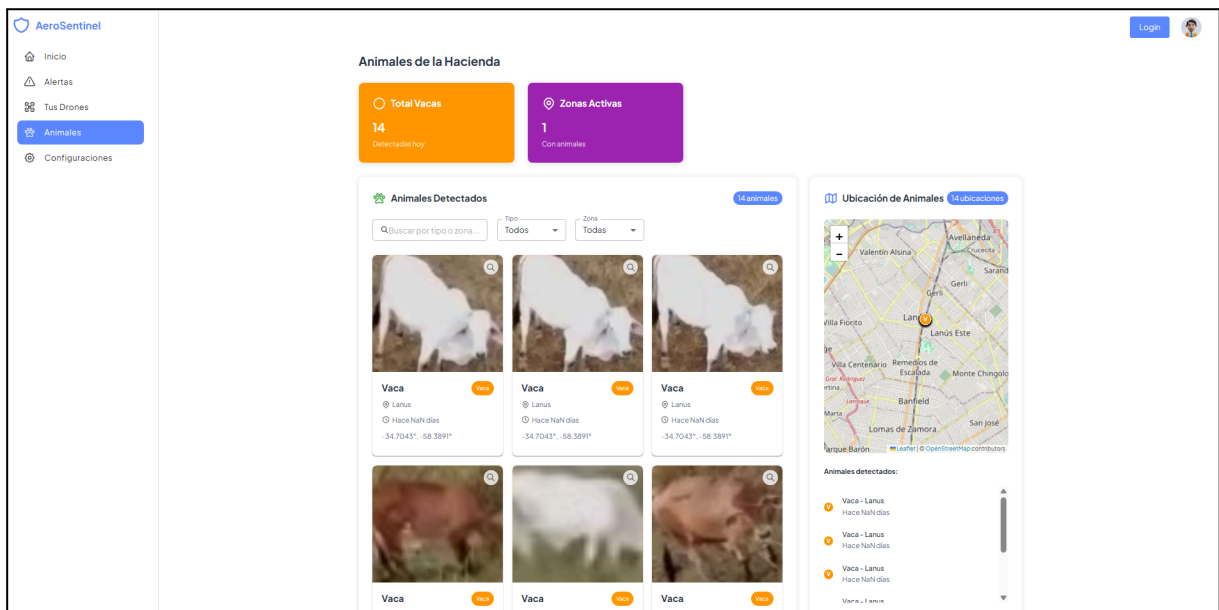


Figura 27: Pantalla de “Animales” en modo escritorio

Debajo se dispuso un listado de animales detectados con evidencia visual, acompañado de filtros por especie y zona. La decisión de utilizar tarjetas con imágenes en lugar de simples registros de texto responde a la importancia de la verificación visual: el productor puede confirmar inmediatamente si la detección fue correcta y asociarla con un contexto espacial o temporal.

A la derecha se incorporó un mapa de ubicaciones, que complementa el listado mostrando la distribución territorial de los animales. La lógica de incluirlo en esta pantalla es que, en el entorno rural, la localización espacial es tan relevante como el conteo: no alcanza con saber “*cuántos*” hay, sino también dónde están concentrados.

Finalmente, en la parte inferior, un listado cronológico compacto resume las últimas detecciones, pensado para dar seguimiento a la actividad reciente sin necesidad de recorrer todo el historial.

4.4.3.5 Reportes

La pantalla de Reportes se diseñó con la finalidad de ofrecer a los usuarios un acceso sencillo a los logs históricos de los drones, priorizando la trazabilidad y la transparencia operativa del sistema. Esta sección parte de la necesidad de que el productor rural o el administrador puedan descargar y analizar registros para auditar recorridos, evaluar incidentes y disponer de evidencia documental frente a aseguradoras o autoridades.

En la parte superior se incluyen filtros básicos (rango de fechas, tamaño de log y dron asociado) que permiten acotar rápidamente los registros disponibles. La tabla central presenta cada reporte en formato tabular, con columnas para autor, fecha, tamaño del log y opción de descarga. Este formato fue elegido porque facilita la lectura comparativa y la organización masiva de múltiples registros, a diferencia de un diseño con tarjetas que resultaría menos eficiente cuando la lista es extensa.

Por último, se incorpora un sistema de paginación inferior, pensado para mantener la interfaz ligera y evitar tiempos de carga prolongados cuando se acumulan grandes volúmenes de logs. De esta forma, la pantalla se adapta tanto a escenarios de bajo uso (pocos registros) como a contextos de alta frecuencia de patrullajes. De este modo, la sección de reportes no solo funciona como repositorio técnico, sino también como un mecanismo de validación y respaldo operativo dentro del sistema de vigilancia.

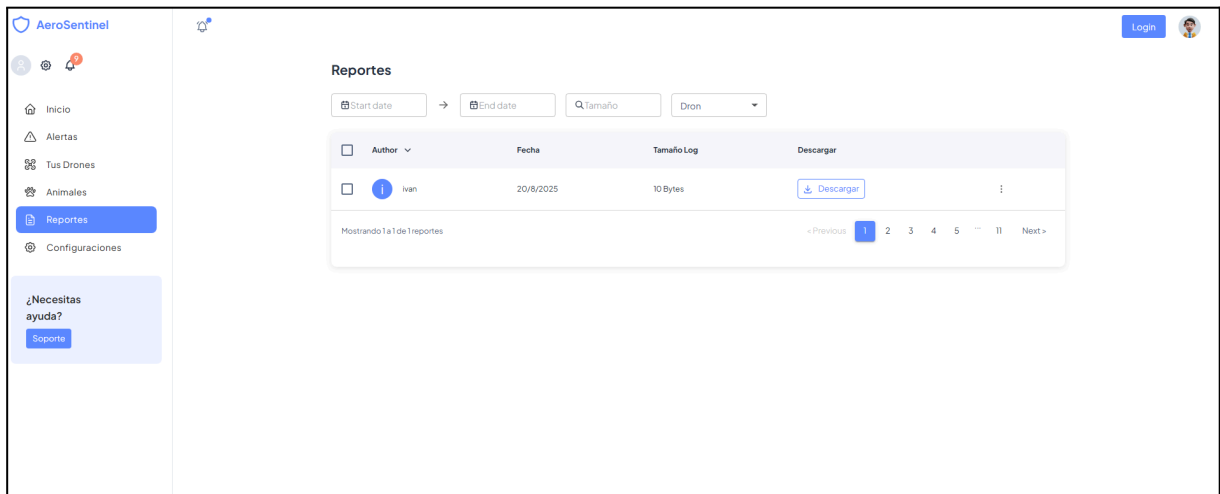


Figura 28: Pantalla de “Reportes” en modo escritorio

5. Pruebas

En proyectos de gran envergadura, como es el caso de AeroSentinel, se proponen distintos escenarios de pruebas, desde pruebas funcionales, hasta pruebas de bajo nivel (código), donde se verifica funcionalidad por funcionalidad el correcto funcionamiento. Este enfoque integral asegura que todas las funcionalidades operen conforme a los requerimientos establecidos, minimizando el riesgo de fallos y contribuyendo a mantener la continuidad operativa y la eficiencia del negocio.

5.1 Pruebas de bajo nivel

Para el caso de pruebas de código, se contemplan al menos tres tipos de pruebas; unitarias, de performance y de integración, donde la combinación de todas permite asegurar el correcto funcionamiento de una versión de acuerdo a parámetros esperados de salida, para una entrada dada.

Se buscó que éste esquema de pruebas pudiera ejecutarse de manera automatizada en los pipelines de integración continua configurados en GitHub, con un umbral de cobertura mínimo establecido para habilitar los despliegues. Para poder realizarlo de manera adecuada, se organizó la estructura del proyecto de pruebas en un directorio independiente que contiene

pruebas unitarias, de integración y de rendimiento, además de un espacio dedicado a fixtures con datos y mocks. Esta organización permitió mantener un aislamiento adecuado entre los distintos tipos de validación y garantizar la semejanza a la realidad de los escenarios. Adicionalmente, se definieron archivos de configuración específicos para pytest, así como un script personalizado de ejecución que facilita la integración con los pipelines de CI/CD de GitHub.

Las pruebas unitarias fueron las más importantes, se concentraron en los módulos principales del sistema, como el DataWriter (Encargada de escribir la información capturada por el algoritmo en archivos que persisten a bordo del drone), el FirebaseService (Encargado de la réplica del servidor con la nube), el DataProcessor (Encargado de enviar la información a través del enlace LoRa) y las funciones de procesamiento de imagen central. Cada uno de estos componentes fue sometido a validaciones relacionadas con inicialización, gestión de datos, manejo de errores, concurrencia y rendimiento en condiciones de carga simulada.

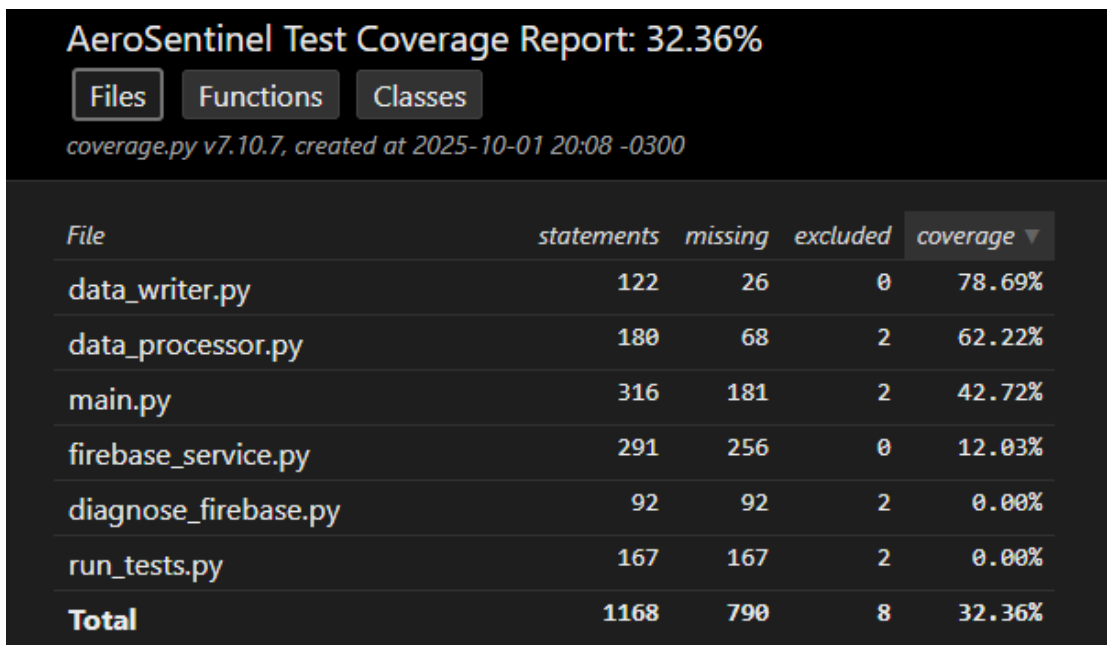


Figura 29: Reporte de cobertura para el proyecto.

5.1.1 Pruebas de integración

En paralelo se desarrollaron pruebas de integración que permitieron comprobar el correcto flujo de información entre componentes, especialmente entre el DataWriter y el DataProcessor, así como la persistencia de los datos procesados en condiciones controladas. A esto se sumaron pruebas de rendimiento orientadas al procesamiento de video y a la ejecución de operaciones con volúmenes significativos de información. Estas pruebas demostraron la capacidad del sistema para responder en tiempos aceptables y sin bloqueos de hilos, gracias a la implementación de concurrencia y manejo de errores.

5.1.2 Pipeline

El pipeline de GitHub Actions implementado en el proyecto automatiza el proceso de integración y entrega continua del sistema (CI/CD). Cada vez que se realiza un cambio en el repositorio, el pipeline ejecuta de forma secuencial las etapas de prueba, análisis de seguridad, verificación de estilo de código, construcción y despliegue. Esto permite la detección temprana de errores, manteniendo la calidad del código y asegurando que solo las versiones que superan todas las validaciones sean puestas en producción.

6. Discusión

6.1 Resultados de Pruebas

Durante la etapa de pruebas se valida el correcto funcionamiento del sistema AeroSentinel en sus diferentes módulos, comprobando la estabilidad de la comunicación, la respuesta del procesamiento y la efectividad del modelo de detección. El modelo YOLOv8, reforzado con el algoritmo HOG (Histogram of Oriented Gradients), alcanza un resultado confiable y con una variación menor al 5% en el recuento de animales, durante pruebas repetitivas. Este comportamiento evidencia una mejora significativa respecto de las primeras pruebas, especialmente en la detección de personas, que representa uno de los mayores desafíos del sistema.

El número de falsos positivos también muestra un progreso notorio, reduciéndose del 18% al 8% luego de incorporar una etapa de postprocesamiento en tres capas parametrizables, orientada a filtrar detecciones redundantes y validar la coherencia espacial y temporal de los objetos reconocidos.

En cuanto al módulo de comunicaciones, el Dronus, basado en tecnología LoRa SX1278/SX1276, demuestra una sincronización robusta de los eventos con el servidor Servus, confirmando la robustez del enlace incluso en condiciones simuladas de baja cobertura. Si bien el sistema todavía no se prueba en vuelo con drones reales, la simulación de trayectorias y comunicación aérea permite estimar una cobertura operativa de 15 a 30 hectáreas por ciclo de batería, dependiendo de la densidad de la zona monitoreada y del consumo de energía del módulo embebido.

6.2 Limitaciones Encontradas

Entre las principales limitaciones identificadas se destaca la imposibilidad de realizar pruebas con drones reales, una restricción prevista desde la fase de planificación debido a los tiempos de desarrollo y los costos asociados a la integración con aeronaves certificadas. Aun así, los ensayos en entorno controlado permiten validar de forma precisa los componentes electrónicos y la lógica de comunicación, lo que garantiza la escalabilidad del sistema hacia futuras pruebas en campo.

En términos técnicos, las limitaciones de hardware condicionan el rendimiento inicial del sistema. El primer módulo LoRa utilizado (modelo SX1278) presenta una potencia de transmisión reducida y un alcance efectivo inferior a 500 metros. Posteriormente, se reemplaza por el LoRa SX1276 con ESP32 y antena externa, que incorpora mayor sensibilidad de recepción, conectividad WiFi y Bluetooth, y una pantalla OLED integrada para monitoreo directo. Este cambio mejora sustancialmente el rango, la estabilidad de la conexión y el consumo energético, alcanzando un desempeño acorde a los requerimientos del proyecto.

También se presentan desafíos vinculados a la infraestructura rural, tales como la disponibilidad de energía eléctrica y la accesibilidad física a los puntos de prueba,

condiciones que en un entorno real pueden requerir soluciones adicionales de alimentación autónoma o módulos de respaldo energético.

6.3 Dificultades Técnicas y Resoluciones

El desarrollo del sistema implica la integración de múltiples tecnologías que deben comunicarse de manera eficiente y estable. En un comienzo, las diferencias de protocolos entre los módulos de procesamiento y comunicación generan incompatibilidades, las cuales se resuelven mediante la implementación de una capa de abstracción basada en estructuras JSON, que permite uniformar el intercambio de datos. Otro obstáculo surge de la necesidad de mantener la sincronización de los eventos en entornos con conectividad intermitente. Para ello, se diseña un sistema de colas de mensajes con marcas temporales (timestamps) que garantiza la continuidad de la secuencia de eventos y evita la pérdida de información durante las pruebas sin conexión constante.

En lo referente al procesamiento visual, el modelo YOLO muestra limitaciones en la detección de personas en entornos rurales, donde las condiciones de luz, distancia y oclusión afectan su precisión. Para resolverlo, se integra el algoritmo HOG como sistema de apoyo especializado en la detección de formas humanas mediante gradientes de orientación, lo que incrementa la efectividad del sistema y reduce los falsos negativos. Con esta combinación, se logra un equilibrio adecuado entre precisión y velocidad de inferencia, manteniendo tiempos de procesamiento predecibles y constantes.

6.4 Diferencias entre Alcance Inicial y Final

El alcance final del proyecto se mantiene plenamente alineado con los objetivos planteados en la planificación inicial. Desde el comienzo se define un marco de acción realista, centrado en la validación modular del sistema sin dependencia de un dron físico, lo que permite cumplir con cada una de las metas propuestas. El desarrollo de los módulos Domus, Dronus y Servus se concreta según las especificaciones, integrando exitosamente las funciones de detección, comunicación y procesamiento distribuidos. De este modo, no se

producen diferencias significativas entre el alcance previsto y el alcanzado, lo cual refleja una planificación adecuada y una ejecución coherente con los objetivos definidos.

6.5 Evaluación del Cumplimiento de Objetivos

El proyecto AeroSentinel logra cumplir con su objetivo general, que consiste en diseñar y desarrollar un sistema de vigilancia inteligente basado en visión por computadora y comunicación de largo alcance. Se implementan con éxito los tres módulos fundamentales: Dronus, como unidad de procesamiento en el borde y transmisión; Servus, como base de control y visualización; y Domus, como receptor inalámbrico de alto alcance y baja latencia. Asimismo, se cumplen los objetivos específicos relacionados con el diseño de una arquitectura modular, la implementación de un modelo de detección adaptado al entorno rural y la validación funcional del sistema.

6.6 Lecciones Aprendidas

El proceso de desarrollo del sistema permite adquirir conocimientos valiosos tanto a nivel técnico como metodológico. Una de las lecciones más significativas es comprender la importancia de validar las soluciones con usuarios finales del sector agropecuario, lo cual permite orientar mejor las funcionalidades hacia necesidades reales. También se evidencia la necesidad de equilibrar la precisión del modelo con los recursos computacionales disponibles, priorizando la eficiencia sin comprometer la detección en tiempo real.

Finalmente, el trabajo demuestra que la conectividad es un factor crítico en la viabilidad de soluciones tecnológicas rurales, por lo que resulta fundamental diseñar sistemas autónomos capaces de operar sin dependencia de infraestructura de red.

7. Conclusión General

El presente trabajo abordó la problemática de la vigilancia y seguridad en entornos rurales, donde las extensas dimensiones del territorio, la baja conectividad y la limitada disponibilidad de recursos humanos dificultan una supervisión continua y eficaz. A partir de un análisis integral que combinó fundamentos teóricos, revisión de soluciones existentes y

etapas prácticas de desarrollo, se pudo comprobar la necesidad de herramientas tecnológicas autónomas que brinden soporte a la protección del ganado y los recursos productivos mediante monitoreo inteligente y en tiempo real.

La propuesta de AeroSentinel se consolida como una alternativa eficiente, adaptable e innovadora, orientada a reducir la intervención humana y optimizar los procesos de detección en campo. Mediante la integración de visión por computadora, inteligencia artificial y comunicación de largo alcance, el sistema logra identificar, clasificar y reportar eventos relevantes de manera automática, manteniendo la operación incluso en contextos con conectividad limitada. Las pruebas funcionales y simulaciones realizadas demuestran la viabilidad técnica del modelo y su capacidad para responder a condiciones rurales reales, posicionando a AeroSentinel como una herramienta que combina autonomía, precisión y confiabilidad.

El análisis comparativo del mercado evidencia que las soluciones actualmente disponibles se centran en esquemas de monitoreo parcial o dependen de la supervisión manual, lo que restringe su escalabilidad y efectividad. Frente a ello, AeroSentinel propone un enfoque integral, donde el dron actúa como nodo de detección inteligente, el servidor local gestiona los datos y la interfaz web ofrece visualización y trazabilidad de los eventos. Este diseño modular y evolutivo permite incorporar nuevas funcionalidades, como la detección de incendios, seguimiento de fauna o análisis de patrones de movimiento, potenciando su aplicabilidad en distintos ámbitos del agro y la seguridad ambiental.

Desde el punto de vista técnico, operativo y económico, el desarrollo de AeroSentinel demuestra ser viable, sostenible y escalable. La automatización de tareas críticas reduce significativamente los costos de operación y los riesgos asociados al trabajo humano, al mismo tiempo que incrementa la capacidad de respuesta ante incidentes. Su implementación no solo representa una mejora en la gestión de la seguridad rural, sino también un paso hacia la transformación digital del sector agropecuario, impulsando la incorporación de inteligencia artificial en el monitoreo territorial.

En conclusión, AeroSentinel constituye una solución tecnológica disruptiva para la vigilancia rural, que combina autonomía, análisis inteligente y conectividad en una misma

plataforma. Su potencial de expansión hacia nuevos escenarios, como la protección ambiental o el control de incendios forestales, refuerza su relevancia como un aporte concreto a la modernización tecnológica del campo argentino y a la consolidación de ecosistemas productivos más seguros y eficientes.

Bibliografía

APEXCHARTS. JavaScript Charting Library [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <http://apexcharts.com>

ARGENTINA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Caracterización y movimientos de hacienda: Informe provincial 2023 [en línea]. Buenos Aires: MAGyP, 2023 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar>

ARGENTINA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Informe cierre de existencias bovinas al 31-12-2024 [en línea]. Buenos Aires: MAGyP, 2025 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar>

ARGENTINA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Crean la primera red de drones agropecuarios de Latinoamérica [en línea]. En: Argentina.gob.ar .[Buenos Aires]: Gobierno de la Nación Argentina, 2021 [consulta: 29 de mayo 2025]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/crean-la-primera-red-de-drones-agropecuarios-de-latino-america-0>

ARGENTINA. Secretaría de Energía de la Nación. Energía federal: Más de 110.000 argentinos con acceso a la energía en zonas rurales [en línea]. 2023 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar>

AUTOR DESCONOCIDO. El 40% de los parajes rurales no tiene acceso a internet [en línea]. En: *Ámbito*. 2022 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.ambito.com>

BOSSINI, L. A. La exportación en la Argentina: del granero del mundo a la crisis del campo [en línea]. Documento inédito. Buenos Aires: Facultad de Derecho, Universidad Católica Argentina, 2008 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/contribuciones/exportacion-argentina-granero-mundo.pdf>

BUENOS AIRES (Provincia). Subsecretaría de Comunicación Pública. Se presentaron los nuevos drones que fortalecerán la seguridad en el ámbito rural [en línea]. En: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. La Plata: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2023

[consulta: 8 junio 2025]. Disponible en:

https://www.gba.gob.ar/comunicacion_publica/gacetillas/se_presentaron_los_nuevos_drones_que_fortalecer%C3%A1n_la_seguridad_en

COHEN, L. E. y FELSON, M. Social change and crime rate trends: A routine activity approach. En: American Sociological Review. 1979.

DAHUA TECHNOLOGY. WizSense [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.dahuasecurity.com/la/Products/keyTechnologies/722>

DEEPAGRO. SprAiI: Aplicación selectiva de herbicidas con inteligencia artificial [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.deepagro.com.ar>

DJI ENTERPRISE. Agras & Mavic Series [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://ag.dji.com>

ECONO JOURNAL. PERMER comenzó en Santiago del Estero la entrega de boyeros solares para pequeños productores rurales [en línea]. 2022 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.econojournal.com.ar>

FIREBASE. Plataforma Firebase [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://firebase.google.com>

FIREBASE. Firebase pricing [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://firebase.google.com/pricing?hl=es-419>

FLYPIX AI. Plataforma de análisis geoespacial impulsada por IA [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.flypix.ai>

GARCÍA, X. Proyecto Declarion [en línea]. Buenos Aires: Cámara de Diputados de la Nación Argentina, 2021 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2021/PDF2021/TP2021/2914-D-2021.pdf>

GOOGLE CLOUD. Google Cloud Platform [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://cloud.google.com>

HIKVISION DIGITAL TECHNOLOGY CO., LTD. Hikvision en la Agricultura [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.hikvision.com/es/solutions/solutions-by-scenario/farming/>

HUGGING FACE. YOLOv8n – STMICROELECTRONICS [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://huggingface.co/STMicroelectronics/yolov8n>

I2CAT FOUNDATION. Drones and 5G for emergency locations [en línea]. En: i2CAT. Barcelona: i2CAT Foundation, [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.i2cat.net/project/drones-and-5g-for-emergency-locations/>

INDEC. Resultados preliminares del Censo Nacional Agropecuario 2018 – Ganadería [en línea]. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2019 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_preliminares_ganaderia.pdf

INTA y ENACOM. Informe sobre conectividad y comunicación en parajes rurales de Argentina [en línea]. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2021 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: inta.gov.ar

INVESTOPEDIA. Rendimientos históricos: Nasdaq y S&P 500 [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.investopedia.com/>

KAGGLE. Datasets [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.kaggle.com/datasets>

KAMILARIS, Andreas y PRENAFETA-BOLDÚ, Francesc X. Deep learning in agriculture: A survey [en línea]. En: Science Direct. 2018 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/>

KEROW. Soluções com IA para reconhecimento de bovinos [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.kerow.com.br>

LAGO, H. R., BARTOLOMEI BASSO, G. y GEYMONAT, J. M. Abigeato en la provincia de Córdoba y su implicancia en los sistemas de información [en línea]. En: Práctica Integral Córdoba ERREPAR (PIC). Córdoba: ERREPAR, 2019 [consulta: 1 junio 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341105684_Abigeato_en_la_Provincia_de_Cordoba_y_su_implicancia_en_los_sistemas_de_informacion#pf4

LORA ALLIANCE. LoRa Alliance – The standard for LPWAN [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <http://lora-alliance.org>

MONGODB. MongoDB Documentation [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.mongodb.com/docs/>

MY GREAT LEARNING. Object detection using TensorFlow [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.mygreatlearning.com/blog/object-detection-using-tensorflow>

NEPTUNE.AI. How to train your own object detector using TensorFlow Object Detection API [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://neptune.ai/blog/how-to-train-your-own-object-detector-using-tensorflow-object-detection-api>

OMARZAI, Fraidoon. OpenCV in Depth [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://medium.com/@fraidoonomarzai99/opencv-in-depth-431a7b0d3e9c>

OPENCV. Cascade Classifier Tutorial [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: https://docs.opencv.org/3.4/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html

OSTERWALDER, Alexander y PIGNEUR, Yves. Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. Hoboken: Wiley, 2010

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python.org [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://www.python.org/>

RAPID INNOVATION. Home [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <http://rapidinnovation.io>

ROBOFLOW. What is YOLOv8? [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://blog.roboflow.com/what-is-yolov8>

ROSEBROCK, Adrian. OpenCV Haar cascades [en línea]. 12 abril 2021 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://pyimagesearch.com/2021/04/12/opencv-haar-cascades>

TENSORFLOW. TensorFlow Object Detection API Tutorial [en línea]. [s.f.] [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://tensorflow-object-detection-api-tutorial.readthedocs.io>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR. Ingeniería de Requerimientos I [en línea]. Bahía Blanca: UNS, 2013 [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: https://cs.uns.edu.ar/~td/ayds2013/downloads/Teoria/ADyS_2013_04%20-%20Ingenieria_de_Requerimientos_I.pdf

WOLFERT, S., GE, L., VERDOUW, C. y BOGAARDT, M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. En: Agricultural Systems. 2017 [en línea]. [consulta: 8 junio 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

XAG. XAG Agricultural drones [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.xa.com/en>

XAG. XAG Atlas Series [en línea]. [s.f.] [consulta: 29 mayo 2025]. Disponible en: <https://www.xagatlas.com>

Anexos

Anexo 1: Cronograma Seguido

Gantt general con todas las etapas

Tesis Vigilancia rural con Computer Vision

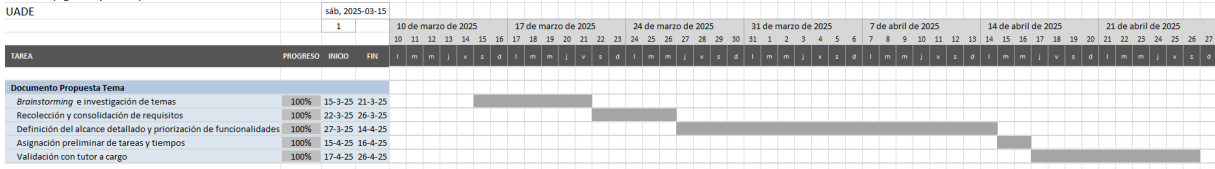
Urruzuno, Ignacio y Garcia, Ivan



Gantt de la etapa 1

Tesis Vigilancia rural con Computer Vision

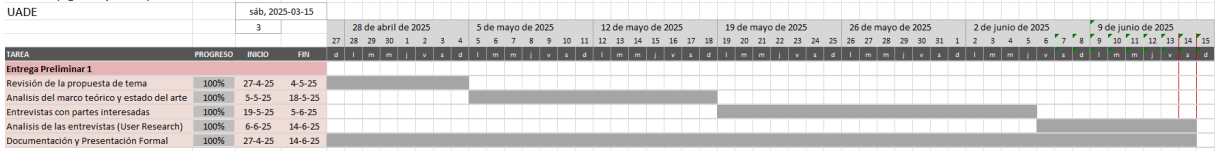
Urruzuno, Ignacio y Garcia, Ivan



Gantt de la etapa 2

Tesis Vigilancia rural con Computer Vision

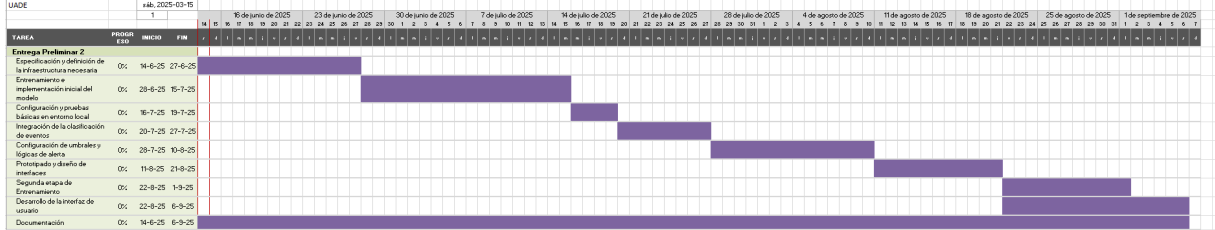
Urruzuno, Ignacio y Garcia, Ivan



Gantt de la etapa 3

Tesis Vigilancia rural con Computer Vision

Urruzuno, Ignacio y Garcia, Ivan



Anexo 2: Entrevistas

En esta sección se presentan con el mayor detalle posible las entrevistas realizadas con partes interesadas para poder evaluar la problemática y decidir si es viable la solución propuesta.

Primera entrevista

Parte interesada

Verónica Villagra, contadora pública especializada en agro, con amplia experiencia administrativa en grandes explotaciones ganaderas (hasta 100 000 ha y más de 22 000 cabezas) y en campos experimentales.

Visión y conclusiones

1. Dimensión del desafío

- En explotaciones masivas (Chaco–Formosa: 100 000 ha; 17 ha en La Rioja), los recorridos terrestres toman 5-6 días para cubrir todos los lotes, lo que hace inviable el control manual de la hacienda.
- Aun con buen alambrado, hay invasiones de asentamientos indígenas, subarrendamientos no autorizados y robos sistemáticos.

2. Formas de hurto y sus consecuencias

- Robos con camión-jaula, a veces con complicidad de autoridades o puestos policiales, que operan “como un camión de Hacienda” con guía y tara
-

falsificadas.

- “Robo hormiga” de rollos de forraje y subarrendamientos de lotes enteros.
- Impacto económico significativo: pérdidas de decenas de miles de cabezas en un lapso de 10 años, con disminución de la hacienda de 22.000 a 6.000 cabezas en el holding.

3. Limitaciones del enfoque tradicional

- Herramientas básicas: alambrado eléctrico perimetral, escopetas, inspecciones a caballo y conteos manuales desde la manga.
- La Policía de Abigeato sólo actúa tras el delito, sin prevención efectiva en zonas remotas.

4. Visión sobre la tecnología

- Favorable en cuanto a soluciones basadas en drones y análisis de imagen para monitorización remota de lotes inaccesibles (monte, pasturas), también para el recuento de cabezas de ganado y detección temprana de intrusos o comportamientos anormales.
- Valora chips de identificación electrónica en animales para seguimiento individualizado (gestación, nutrición, trazabilidad).
- Considera que la inversión en tecnología de vigilancia (sensores perimetrales, cámaras estratégicas) se amortiza con la reducción de robos y el mejor control

de inventario.

5. Recomendaciones clave

- Implementar sensores de movimiento en los accesos y drones de patrulla para vigilancia continua.
- Integrar identificación electrónica (chips, lectores de código de barras) para cruces de datos en tiempo real.
- Priorizar el análisis costo-beneficio, pues la falta de control provoca pérdidas cuantificables en la presupuestación agraria.

En conclusión, Verónica ve la adopción de tecnologías de visión y telecomunicaciones como la vía más efectiva para transformar radicalmente la seguridad y gestión de explotaciones ganaderas de gran escala.

Transcripción Sintetizada

Entrevistador (Iván): Vero, ya te contamos brevemente sobre el proyecto y la tesis. Para empezar, ¿cuál es tu relación con el agro? ¿Administrás campos? ¿De cuántas hectáreas? ¿Ganadería, agricultura, o ambos?

Entrevistada (Verónica): Gracias por contactarme. Les hablo desde mi experiencia profesional. Soy contadora pública y hace años me especializo en agro. Trabajé primero para un holding muy grande de un empresario conocido de Argentina. Ahí administrábamos un campo de 100.000 hectáreas en el noreste (Chaco y Formosa) y un campo experimental de 17 hectáreas en La Rioja por el tipo de cultivo. Además del costeo agrícola, me ocupé de la administración de una hacienda de 22.000 cabezas, mayormente Brangus (cruza

Angus–Braford), una raza muy resistente para esa zona árida. A diferencia de las Aberdeen Angus típicas de Buenos Aires, estas resisten mejor lo climático; tienen la jiba característica por acumulación de grasa.

Entrevistador (Iván): ¿Esa raza es cara, económica, intermedia?

Entrevistada (Verónica): Más que cara o barata, es fuerte y resistente, ideal para ese entorno.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Cómo se organizaban en un territorio tan grande?

Entrevistada (Verónica): Teníamos los animales identificados por raza y por lote, pero con lotes muy distantes se perdía el rastro. Había desde lotes cerrados y controlados con aguadas y pasturas, hasta lotes grandes a pastura natural, y otros a monte (supervivencia con pastura intraboscosa). Eso funcionó a medias. Con la tecnología de entonces era muy difícil acceder a los lotes más alejados: recorrer todos los campos de Chaco y Formosa llevaba 5–6 días. 100.000 hectáreas no son controlables vía terrestre.

Entrevistador (Iván): ¿La policía intervenía cuando había robos?

Entrevistada (Verónica): En la periferia había asentamientos indígenas y, a veces, se metían dentro del campo; incluso detectamos subarrendamientos internos. Eran situaciones complejas y peligrosas (gente armada). La policía tenía limitaciones similares a las nuestras: escopetas, camionetas; pocos elementos para prevenir. Con solo alambrado perimetral no alcanza, y en superficies así no hay forma humana de control continuo. Hoy la tecnología sería clave.

Entrevistador (Iván): ¿Pasaba algo parecido con los cultivos?

Entrevistada (Verónica): Sí. En algodón teníamos áreas explotadas y encontrábamos familias wichí cosechando para autoabastecerse y también con fines comerciales. Eso se reflejaba en la tara del proceso de desmote: nuestras mermas eran exageradas por estos robos.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Cómo cuantificaban las pérdidas?

Entrevistada (Verónica): Yo hacía los costeos. No recuerdo los valores exactos, pero era un importe considerable a contemplar en presupuestación. No definía por sí solo el resultado del año, pero había que controlarlo de cerca.

Entrevistador (Iván): Además del robo, ¿qué otros riesgos operativos tenían en ganadería?

Entrevistada (Verónica): En superficies grandes es difícil asegurar que la hacienda esté siempre con agua y pastura. Malos manejos locales (por ejemplo, trancas cerradas) dejaban animales sin acceso a aguadas; encontramos lotes con vacas deshidratadas. Con drones hoy podrías ver el estado sin entrar físicamente: te parás en un punto y relevás toda la situación; hasta recuento por imágenes. Antes, contar 22.000 cabezas podía llevar dos meses, y en ese tiempo la hacienda cambia.

Entrevistador (Iván): ¿Qué tecnología tenían?

Entrevistada (Verónica): En ese campo, salvo equipos de riego con sistema de comandos, casi nada digital. La hacienda se manejaba con caravanas y recuento vía manga y contador manual. Hoy hay chips que informan estado, nutrientes, hidratación, preñez, celo, etc. Y drones de fumigación, siembra y mapeo son comunes; en ganadería falta más procesamiento de imagen con alertas automáticas, que es lo que ustedes proponen.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Cuánta gente manejaba esa operación?

Entrevistada (Verónica): Un plantel de ~150 personas: alrededor de 100 entre nuestro administrativos y cultivos, y 50 dedicadas a cabaña, porque manteníamos línea sanguínea (hacienda PP). En 2006, nuestro toro Ciruelo ganó Gran Campeón Brangus en La Rural; desde ahí vendíamos genética. Un toro gran campeón puede valer varios millones de pesos (dos o hasta tres cifras de millones). En promedio, una vaca ronda \$500.000–\$900.000; con ternero al pie vale el doble; los terneros entre \$300.000–\$500.000. Para valuar se usa BNR (valor neto de realización): precio de mercado menos gastos de venta (fletes, ~6%).

Entrevistador (Iván): ¿Hubo problemas internos además de los externos?

Entrevistada (Verónica): Sí. Detectamos subarrendamientos e incluso robos hormiga de rollos de pastura: el encargado mejoró súbitamente su nivel de vida y, al relevar, faltaban rollos; lo advertimos por los manchones amarillos en el piso donde habían estado. También vimos vacas ajenas (Hereford) en nuestros lotes: lo pudimos detectar gracias a trabajar con una única raza. La falta de controles y no invertir en tecnología pega fuerte: de 22.000 cabezas terminaron en ~6.000.

Entrevistador (Iván): ¿Y en campos más chicos?

Entrevistada (Verónica): En Buenos Aires, con campos en Ayacucho y Lobería (cuenca del Salado), manejamos ~3.300 cabezas. Se aplican los mismos criterios pero a otra escala. Ahí hay interés por no perder hacienda: trabaja Abigeato (policía rural), alambrado eléctrico (disuasivo), y buen trato con fuerzas para rondas. Los cuatreritos suelen ser organizados, con camionetas y armas; a veces actúan como cazadores furtivos. Por eso no se recomienda enfrentar: debe intervenir la policía.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Cámaras sirven?

Entrevistada (Verónica): Para el casco sí (cámaras y sensores perimetrales). Pero los cuatreritos no entran por el camino principal: rompen alambrados y entran por puntos no obvios. En campos medianos, una barrera perimetral de sensores podría ayudar, pero es inversión importante. Aun así, paga si reduce pérdidas: donde no se invirtió, se perdió más de la mitad de la hacienda.

Entrevistador (Iván): ¿Modus operandi?

Entrevistada (Verónica): Varios. Uno común: rompen alambrado, pasan vacas y cargan camiones jaula en la vía pública, muchas veces con complicidades (necesitas guías con cabezas, peso, tara, etc.). Otros casos: grupos armados que roban en el casco o matan in situ (dejan vísceras y cuero). El descubrimiento puede tardar hasta el recuento anual de

vacunación (marzo), donde cada animal se pincha y se concilia contra nacimientos, compras y ventas. En zonas de monte el acceso es peligroso y la detección se demora.

Entrevistador (Iván): ¿Cómo ven la adopción tecnológica hoy?

Entrevistada (Verónica): El productor agradece lo que mejora rindes. El agro argentino sigue siendo básico en muchas prácticas; por eso una solución con impacto claro es bien recibida, sin importar el tamaño del proveedor. El error es sobredimensionar infraestructura sin retorno. Si ustedes demuestran beneficio concreto y tratan al productor con humildad y claridad, van a tener puertas abiertas. Cuando tengan la tesis, mándenla: puedo acercarla a contactos interesados.

Entrevistador (Iván): Pensando en la interfaz: ¿el administrador de campo se adaptaría a un sistema de alertas del dron?

Entrevistada (Verónica): Sí, totalmente. El que no tiene alarmas se entera tarde. Cualquier sistema que prevenga será bienvenido. La clave es que sea claro y accionable.

Entrevistador (Iván): Gracias, Vero. ¿Algo más para cerrar?

Entrevistada (Verónica): Solo remarcar que en superficies grandes la tecnología es imprescindible: drones, procesamiento de imagen, sensores, chips, y buena administración. Donde no se invierte, se pierde. Donde se invierte bien, se ordena y se cuida el capital biológico. Quedo a disposición y, si hace falta, los conecto con especialistas en ganadería o cultivos.

Entrevistador (Iván): Mil gracias por tu tiempo y por toda la información.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¡Gracias, Vero!

Entrevistada (Verónica): A ustedes. ¡Éxitos!

Segunda Entrevista

Parte interesada

El entrevistado principal es Ezequiel Pietracupa, de 41 años, licenciado en Administración Agropecuaria (UBA, Belgrano, UADE) con posgrados en marketing y una maestría en comercialización (WB School). Ha trabajado desde 2004 en el sector financiero y pymes, administrando carteras agropecuarias en el Banco Galicia; posteriormente diseñó una plataforma tecnológica para logística de maquinaria agrícola y hoy dicta clases de base tecnológica aplicada al agro en la universidad.

Visión y conclusiones del interesado

1. Barreras culturales y de adopción

- Diversidad generacional y geográfica: El sector agro combina desde “nativos digitales” en grandes polos urbanos hasta productores que viven a 50 km de cobertura celular. Esa heterogeneidad hace que la adopción de tecnología sea muy distinta según su ubicación y cultura de uso.
- Resistencia al software intangible (SaaS): Mientras un paquete genético o maquinaria se percibe como inversión directa, un servicio de software se ve como un gasto recurrente difícil de justificar en flujos de caja estables del agro.

2. Viabilidad económica

- Relación costo-beneficio: Para que un productor invierta, el precio del servicio debe ser muy bajo en relación al valor económico de los animales que efectivamente pierde por robo. En general, las pérdidas anuales por robo no superan unas pocas cabezas, cifra insuficiente para justificar altos costos de

dron/percepción de imagen.

- Segmentación de mercado: En campos de miles de hectáreas, el costo de desplegar decenas o cientos de drones es demasiado alto. Sin embargo, paquetes más reducidos (countries, barrios privados, parques industriales de decenas de hectáreas) con alto valor por unidad son segmentos más dispuestos a pagar por seguridad tecnológica.

3. Alternativas tecnológicas recomendadas

- Satélites de órbita baja: Ofrecen cobertura masiva y menor costo operativo que flotas de drones en extensiones enormes. Aunque la latencia es mayor, permiten detectar robos «grandes» y optimizar el despliegue de drones solo cuando realmente hay una alerta.
- Combinación híbrida: Integrar satélites + drones + cámaras fijas en puntos críticos (corrales, galpones, zonas de carga) equilibra cobertura, costo y tiempo de respuesta.

4. Enfoque estratégico

- Producto + negocio 80/20: La tecnología es viable (80 % técnico), pero la clave (20 %) está en entender el negocio, la estructura de costos del usuario y diseñar la propuesta de valor (precio, facilidad de uso, experiencia de usuario) antes de escalar.
- Cambio de hipótesis de trabajo: Plantea redefinir el alcance hacia nichos donde la incidencia del robo y el valor percibido hagan rentable el servicio, en lugar

de apuntar inicialmente a grandes campos extensivos donde la relación costo-beneficio no cierra.

En síntesis, Ezequiel Pietracupa valida que la solución técnica de drones y visión artificial es factible, pero aconseja replantear el segmento objetivo, los modelos de costo y la integración con satélites para garantizar la adopción comercial efectiva y sostenible.

Transcripción Sintetizada

Entrevistador (Iván): Bueno, Eze, arrancamos con la grabación de la entrevista. La idea principal es que puedas presentarte y contarnos tu experiencia o relación con el agro. Entiendo que estudiaste algo relacionado. Después te contamos la problemática que estamos analizando para saber tu opinión y proponerte una solución, para ver qué pensás.

Entrevistado (Ezequiel): Bien. Mi nombre es Ezequiel Pietracupa, tengo 41 años. Estudié en UADE la Licenciatura en Administración Agropecuaria. Antes cursé materias en la UBA (Facultad de Agronomía) y en la Universidad de Belgrano. Por temas laborales terminé en UADE. Hice posgrados en marketing y marketing digital, y tengo una maestría en Comercialización (UADE Business School). Actualmente soy docente en esa universidad.

Desde 2004 trabajo en el sector financiero; a partir de 2008 me vinculé con pymes y empresas, desarrollando productos. Dentro de esos segmentos, empecé a trabajar con el sector agroindustrial/agropecuaria. En 2011 pasé a Banco Galicia para administrar cartera comercial agropecuaria, tanto en Casa Central como en Bahía Blanca, donde estuve radicado 3–4 años con una cartera ~80% agro y 20% pyme/industrial. En 2016 finalicé la relación con el banco, volví a Buenos Aires y desarrollé una plataforma tecnológica para logística de maquinaria agrícola. En ese proyecto logramos que en 30 segundos un productor obtuviera un

presupuesto con ubicación de contratistas para tareas de siembra/cosecha. En 2020, por pandemia, presupuesto y otros motivos, el proyecto se cerró.

Hoy mi vínculo con el agro es más desde la academia: doy una materia de base tecnológica aplicada al agro, enfocada en desarrollo de negocios usando tecnología.

Entrevistador (Iván): Perfecto. Nos viene bárbaro que hayas tenido un proyecto estrictamente vinculado con el agro. Pregunta específica: ¿qué tan abierto ves al productor agropecuario a aceptar tecnología nueva e invertir en tecnología?

Entrevistado (Ezequiel): Es una pregunta compleja: depende a quién se la hacés. Primero, llegar demasiado temprano a un negocio en el agro es tan malo como llegar demasiado tarde. Segundo, el factor cultural es clave. Te doy un ejemplo: hay nativos digitales en ciudades y centros urbanos con buena conectividad, pero no necesariamente en zonas rurales. En muchos lugares del interior ni llega el mensaje de texto. Entonces, la adopción depende de dónde nació y vive, y de su dinámica.

Aun gente de 25–35 años que vive y trabaja en el campo puede no ser nativa digital. Falta un cambio generacional: cuando el actual adolescente nativo digital (15–16 años) llegue a edad de decisión, ahí habrá mayor adopción. Además, hay diferencias regionales: Capital/Rosario/Córdoba vs. norte/sur/cordillera; cambia el perfil productivo y el contexto.

La adopción también depende del tipo de tecnología. En “paquetes tecnológicos” de producción (genética, insumos para ganadería o agricultura) el productor es más proclive porque ve impacto directo. En cambio, soluciones tipo SaaS son intangibles; se perciben como un esfuerzo de implementación y un costo mensual (20/50/60/100 USD) difícil de justificar. Además, el flujo de caja es fluctuante; la ganadería es más estable (como un “plazo fijo”), la agricultura pega saltos.

Si es campo 100% alquilado (agricultura pura), probablemente no le interese un SaaS. Quizás le interese al ingeniero agrónomo o al administrador agropecuario, pero no hay tantos. Muchas veces el administrador estudia y luego se va a otra cosa.

Para adopción masiva de SaaS, a mi juicio faltan ~15 años hasta que ese nativo digital sea decisor. Sí son adoptantes de tecnología de producción primaria.

Entrevistador (Iván): Coincidimos: falta el cambio generacional para que sean más propensos a contratar tecnología. Si no ven “algo” que reciben cuando pagan, sienten que tiraron la plata. Es un pensamiento más clásico/tradicional.

Entrevistado (Ezequiel): Sí, tradicional. Además, estamos viviendo un cambio de contexto político-económico fuerte. Eso reconfigura al productor: ya no es sólo precio, sino volumen del “CRI” (nota: margen/resultado). Cualquier empresa que no piense en eficientizar procesos va a sufrir. En agro hay dos eficiencias: de maquinaria (cómo se usa) y de procesos operativos (planificación, elección de cultivo, rotación, puesta a punto, tipo de semilla, biológicos vs. no biológicos, clima/cambio climático, etc.).

Entrevistado (Ezequiel): En ganadería, respecto de su problemática (gestionar muchos campos/animales): el 5% de productores es realmente grande; la norma pos-90s es fragmentación: 300–400 ha más algo arrendado y quizás llegar a 1000. O sea, medianos a chicos.

Si quieren validar viabilidad de negocio, busquen datos: distribución de establecimientos, cuántos productores (p.ej., 2 millones totales, pero no todos extensivos), cuántos extensivos (agricultura/ganadería), cuántos mixtos, cuántos sólo ganadería, y en qué zonas. La agricultura pesa más que la ganadería en producción. Definan tamaño típico, densidad animal/ha (aprox. 1–1,5 ha por animal), umbrales a los que su solución empieza a ser interesante.

El mínimo a presentar: tamaño del mercado (productores/establecimientos por tipo), tamaños de campo, carga animal por ha, para segmentar: “<300 ha no voy”, “entre X–Y hago marketing”, “>10.000 ha es visita comercial”. Eso separa un B2B masivo vs. un B2B corporativo. También hay B2B vía terceros (seguros/bancos para garantías).

Entrevistador (Iván): Entiendo que el campo contrata muchos seguros contra riesgos no convencionales (incendios, heladas, etc.).

Entrevistado (Ezequiel): Sí. En financiamiento se usa prenda/prenda flotante. Con animales, el animal es un activo. Se compran hembras (madres); los machos se venden/engordan. Se busca eficiencia productiva (castrar para bajar agresividad, descornar para evitar pérdidas por peleas/moretones, etc.). En cría se separan machos/hembras; la vaca “cut” (última cría) va a frigorífico. Hay segmentos: cría, recría, terminación/engorde, feedlot; y “cabañas” (mejoramiento genético). En cabañas la pérdida de un animal es carísima; pero incluso allí no siempre hay profesionalización en custodia. Para planteos extensivos, un sistema de seguridad puede ser interesante; también en ovinos (sur) y caprinos (norte), o caballos (polo). Eso abre base potencial más allá de bovinos.

Entrevistador (Iván): Sobre nuestro enfoque comercial: ¿es viable vender diciendo “nuestra solución vale USD 2.000; si perdés 2 vacas al año, ya se paga”?

Entrevistado (Ezequiel): Depende de la estadística real de robo/pérdida. ¿Tienen datos de cuántos animales se roban por año? Recortes periodísticos ayudan, pero hace falta dato agregado (Ministerio de Seguridad). Suponé (a modo de ejemplo) 8 millones de cabezas y 5% robadas: 400.000 cabezas/año; dividido por la cantidad de establecimientos extensivos, es ~1 animal por establecimiento por año. La problemática no se ve así linealmente porque hay casos de robos masivos, pero son los menos; también hay faena en el lugar y sustracciones de 1–2 animales cortando alambrado.

Entrevistador (Iván): Entiendo. Nuestra preocupación es que, aunque el promedio sea bajo, para el que pierde 100 animales el impacto es devastador.

Entrevistado (Ezequiel): Sí, pero para robar 100 cabezas sin que nadie note nada, necesitás un planteo enorme (miles de hectáreas) y logística. En muchos casos conviene agricultura. Números de escala no cierran fácil.

Entrevistador (Iván): Nuestra propuesta técnica: drones + cámaras + procesamiento de imagen on-board; conteo de vacas; detección de comportamientos anómalos (personas/animales intrusos como puma); transmisión por protocolo de bajo consumo a un concentrador en el campo que centraliza y dispara alertas. Los drones harían rondas a intervalos aleatorios para evitar que el ladrón “aprenda” el patrón.

Entrevistado (Ezequiel): Objeciones: si necesitás muchos drones para cubrir superficies grandes, el capex/opex se dispara. ¿Cuántos drones por hectárea? Si estiman 1 cada 600–5000 ha según modelo, para 1000 ha podés necesitar entre 0,2 y 1,6 drones; pero si el cálculo real derivara en muchos drones, la inversión explota. Hay que costear con supuestos claros: precio por dron/cámara, vida útil/amortización (5 años), mantenimiento, energía, técnico on-site por radio, etc. Sólo para reposición, quizás cobrarías \geq USD 2.000/mes, y eso, pasado a “precio por animal”, puede no cerrar. Frente a eso, el productor compara contra seguro o “peón armado en ronda”.

Para vigilancia extensiva, los drones chicos no suelen ser la solución económicamente viable. Donde sí hay tracción es en satélites de órbita baja (p.ej., Satelogic): bajan costo por imagen y mejoran latencia respecto a órbita alta. Aun así, la latencia típica puede ser del orden de decenas de minutos/una hora; quizá sirve para “robos grandes”, no para sustracción de 1–2 animales. Un híbrido posible: satélite detecta anomalía y dispara 1 dron puntual a validar en coordenadas.

Entrevistador (Iván): Eso nos abre la cabeza. Además, simplifica despliegue: ni hace falta ir al campo para implementar si es consumo vía API. Veremos latencia y compatibilidad técnica.

Entrevistado (Ezequiel): Para mí, como negocio, el enfoque “seguridad ganadera extensiva con drones” tiene baja viabilidad económica (problema cultural + baja incidencia relativa del

robo + costos altos). La tecnología se puede hacer, pero el negocio no cierra fácil. Alternativas: acotar superficie (parques industriales, puertos, barrios cerrados/countries) donde el impacto económico por incidente es alto y el decisor tiene mayor disposición a pagar. Ahí 1–2 drones + cámaras fijas + analítica en tiempo real pueden tener mejor relación valor/precio y adopción comercial más rápida. También ampliar especies (ovinos/caprinos/caballos) para agrandar mercado si siguen en agro.

Entrevistador (Juan Ignacio): Coincido: si cambiamos “campo” por “barrio/parque” manteniendo visión por computadora y seguridad, tal vez no haya problema académico porque el espíritu técnico se mantiene y la investigación recién empieza.

Entrevistado (Ezequiel): Exacto. Argumenten que hablaron con expertos y, al analizar viabilidad, el precio de venta exigido por la estructura de costos no es aceptable para el productor objetivo. La tecnología es viable, pero el segmento no. Cambian el segmento de mercado y lo fundamentan con entrevistas. En términos de estrategia (Bowman: precio percibido vs. valor), ustedes están en “pérdida de mercado”: valor percibido alto pero precio también alto → no compra. En country/parque industrial, el impacto por incidente es mayor y el precio relativo baja; además, el costo se “licúa” entre muchos copropietarios.

Entrevistado (Ezequiel): Conclusión: si su tesis es 80% técnica y 20% negocio, ese 20% los puede dejar sin argumentos si no lo trabajan. Mi recomendación: mantener núcleo técnico (visión/comparación de imágenes, monitoreo, alertas), pero pivotear a contextos de menor superficie y mayor disposición a pagar (barrios privados, parques industriales). Ahí es más fácil comercializar (urbano/periurbano) y el decisor valora la seguridad.

Entrevistador (Iván): Excelente. Nos aportaste muchísimo. Muchas gracias.

Entrevistado (Ezequiel): De nada. Manténganme al tanto de cómo les va. ¡Abrazo!

Tercera Entrevista

Parte interesada

Ignacio Martínez Saravia, productor agropecuario de 32 años. Junto con su familia administra 1 800 ha en la zona de Ayacucho, con un rodeo de 900 vientres y alrededor de 2 000 cabezas de engorde al año. Además de ganadería, siembran forrajes para alimentación del rodeo.

Visión y conclusiones del interesado

1. Interés y apertura

- Está “siempre con ganas de escuchar nuevas propuestas” y encontró la idea de dron + visión artificial “copada” y “muy interesante”.
- Cree que automatizar el conteo de animales en cada potrero le daría tranquilidad, asegurando que el número registrado coincide con el real, sin depender del empleado ni de las condiciones meteorológicas.

2. Impacto económico y justificación

- Con un novillo valorado en \approx USD 1 000, la pérdida de una jaula (35 animales) justifica sobradamente el costo de un servicio de monitoreo que evite robos.
- Prefiere contratar el servicio (outsourcing) antes que comprar y mantener equipamiento propio, siempre que incluya mantenimiento y soporte.

3. Aplicaciones adicionales

- Reducción de mortalidad: Detección temprana de animales echados en distocia o exhaustos cerca de aguadas, permitiendo asistencia a tiempo y salvando vacas y terneros.
- Monitoreo de recursos: Identificar hacinamiento en puntos de agua (falta de aguadas) o cambios de comportamiento que indiquen carencias de forraje o sed.

4. Infraestructura y viabilidad técnica

- Conectividad: Dispone de Starlink e Internet en casco y casas de empleados; molinos elevados con antenas que proveen señal celular para cámaras fijas.
- Cortes de energía: Frecuentes y de corta duración; se necesitan soluciones de respaldo (baterías, paneles) para mantener cargados drones y estaciones de carga.

En síntesis, Ignacio es un productor familiar de escala media que sufre directamente la problemática de robo y limitaciones de monitoreo en extensiones de cientos de hectáreas. Valida la solución de drones con visión artificial como una herramienta viable y de alto valor para:

- Prevenir pérdidas por abigeato
- Mejorar la eficiencia en los recorridos diarios
- Disminuir la mortalidad animal

- Monitorear recursos críticos (agua, forraje)

Su recomendación clave es implementar la solución como servicio, garantizando mantenimiento y soporte continuo, y adaptar la infraestructura de energía y comunicaciones (respaldo de baterías, antenas adicionales) para asegurar su operación en todo el campo.

Transcripción Sintetizada

Entrevistador (Iván): Gracias por tu tiempo, Nacho. La idea es presentarte el proyecto y escuchar tu opinión. Para arrancar, ¿podés presentarte y contar tu relación con el agro?

Entrevistado (Ignacio): ¿Qué tal? Buenas tardes. Soy Ignacio Martínez Saravia. Con mi familia tenemos campo en Ayacucho, zona históricamente ganadera. Manejamos unas 1.800 hectáreas y hacemos ciclo completo: tenemos 900 vientres con los que buscamos 900 terneros anuales, los engordamos y además compramos algunos terneros para engorde. En total, manejamos cerca de 2.000 cabezas de engorde por año.

Entrevistador (Iván): Mencionaste que sufrieron la problemática que estamos investigando.

Entrevistado (Ignacio): Sí. Tuvimos un robo importante: una jaula entera de novillitos. El dron como herramienta nos interesa desde hace años; siempre estamos averiguando usos posibles. Por eso, cuando trajeron esta idea, me pareció muy copada.

Entrevistador (Iván): En la operativa diaria, ¿cómo hacen las recorridas del campo?

Entrevistado (Ignacio): En teoría hay recorrida diaria, pero cuando llueve se complica. Las recorridas siguen siendo a caballo y cada vez cuesta más. Tenemos tres empleados; dos se encargan del rodeo. No siempre hay que recorrer todo: si los animales están encerrados en un potrero, no hace falta dar la vuelta completa. Sembramos para producir forraje y transformarlo

en carne, así que no son las 1.800 hectáreas todos los días. Tenemos un campo principal y otro de ~600 hectáreas a 30 km por camino de tierra, que es mucho más complicado: ir y volver es un día entero. Ahí un dron ahorra tiempo y personal.

Entrevistador (Iván): ¿Cómo impactó aquel robo, económica y organizativamente?

Entrevistado (Ignacio): Económicamente te mueve el flujo: contabas con una venta en ~90 días (terminación de los animales) y de golpe desaparece. Operativamente, el sistema es tradicional: cuando un empleado dice “faltan animales”, hay que reorganizar la semana, ir al campo, encerrar y contar. Es desgastante y no siempre se sabe qué pasó: una tranquera mal cerrada, una recorrida que no se hizo... Si empezás a atar cabos, terminás en conflicto con el personal, y ni siquiera sabés si hubo negligencia, robo interno, o mala suerte.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Qué tan frecuentes son estos hechos?

Entrevistado (Ignacio): En bovinos grandes no es lo normal. Lo más común es el robo de uno o dos animales “a pie”. Los índices de robo deberían ser más bajos que la mortalidad. Pero cuando ocurre, impacta. Depende mucho de cómo está armado el campo (proximidad a rutas, si te extendés mucho por necesidades de pastura, calidad de alambrados). En el campo de 600 hectáreas, con alambrados malos, lo sufrimos más. Después aparecen las excusas y queda todo en una incógnita.

Entrevistador (Iván): ¿Qué tecnología tienen hoy?

Entrevistado (Ignacio): En agricultura no tenemos riego. Lo normal: pulverizaciones (insecticidas, etc.). Ya te pasan presupuestos y comparás dron vs avión vs mosquito (autopulsado); hoy es habitual. En ganadería, lo que más usamos son cámaras en los molinos (PTZ), para vigilar el agua: tenemos hacienda lejos y el agua es clave. Las cámaras transmiten con chip celular, y como el molino es alto, se pone una antena y llega bien. Y estamos con ganas de implementar drones para recuento; hay soluciones que hasta estiman peso. A la diaria les vas sumando funcionalidades.

Entrevistador (Iván): ¿Creés que ayuda a reducir mortalidad?

Entrevistado (Ignacio): Sí, en casos específicos. Por ejemplo, en época de parición, si detectás una vaca echada podés ver si hay distocia y asistir: salvás la vaca y el ternero. La vaca es tu fábrica de materia prima, así que es crítico. También podés leer patrones: si se amontonan en aguadas, puede faltar agua; si comieron mucha proteína, necesitan forraje. Con dispersión o concentración podés ajustar manejo y bajar mortalidad.

Entrevistador (Iván): Para dimensionar, ¿precio de un animal promedio?

Entrevistado (Ignacio): Toros hay pocos y son difíciles de robar. Pensemos en novillo gordo: hoy se habla de arriba de \$1.000 por novillo (orden de magnitud). Una jaula completa suma 4.000–5.000 en total. Con esos valores, una inversión que evite perder un solo novillo ya empieza a justificarse.

Entrevistador (Iván): ¿Prefieren comprar equipamiento o contratar como servicio?

Entrevistado (Ignacio): Evaluamos ambos. Si el que vende también da service y mantenimiento, comprar puede cerrar. Si no, preferimos servicio contratado (no inmovilizar capital ni gestionar mantenimiento). Los más involucrados comprarían; quienes quieren probar, contratan.

Entrevistador (Iván): ¿Cómo están de electricidad e internet?

Entrevistado (Ignacio): En el casco tenemos luz. Al lado hay dos casas de empleados con luz e internet (Starlink). En otra casita, más lejos, llevamos luz y vamos a poner Starlink. Las cámaras de molinos van con chip celular y antena. Los cortes de luz son habituales (más que en la ciudad). Es muy común usar baterías para alambrados eléctricos. Un desafío para el dron es dónde cargar en zonas sin casa; justamente ahí es donde más sirve.

Entrevistador (Juan Ignacio): ¿Las viviendas del personal están dentro del casco o distribuidas?

Entrevistado (Ignacio): En el campo principal está la casa principal, otra casa al lado que mantuvimos, hicimos otra cerca, y hay una casa antigua en la otra punta (la acomodamos por logística). La más alejada no tiene luz; ahí no hay casa para un casero y se hacen recorridas. Resolver carga eléctrica del dron en esos lugares sería clave.

Entrevistador (Iván): Para cerrar, ¿cómo ves la recepción de una solución de drones con alertas y conteo?

Entrevistado (Ignacio): Muy buena. Es necesario y se le puede sacar jugo. Va a ser bien recibido: aporta nuevas herramientas y ahorra tiempo. Gracias a ustedes; me parece muy interesante lo que están desarrollando.

Entrevistador (Iván): ¡Gracias por tu tiempo!

Entrevistador (Juan Ignacio): ¡Mil gracias, Nacho!

Entrevistado (Ignacio): Gracias a ustedes. ¡Que tengan buena semana!