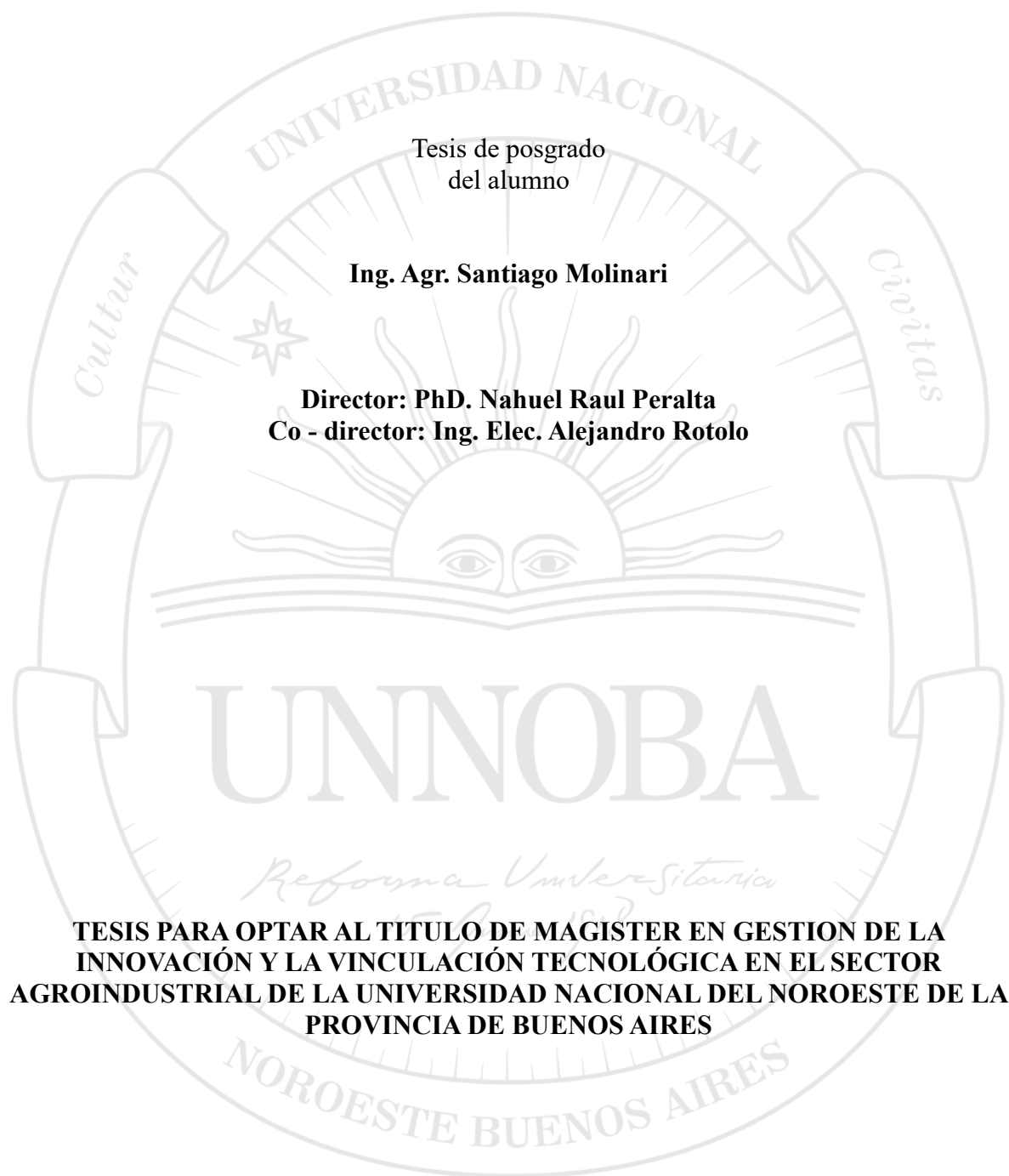


Análisis de uso e incorporación de Vehículos Aéreos No Tripulados para el relevamiento de variables de importancia agronómica en el cultivo de maíz



Instituto de Posgrado.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

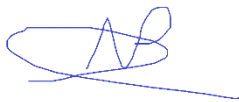
Análisis de uso e incorporación de Vehículos Aéreos No Tripulados para el relevamiento de variables de importancia agronómica en el cultivo de maíz

Santiago Molinari

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Gestión de la Innovación y la Vinculación Tecnológica en el Sector Agroindustrial de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en esta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el territorio argentino, durante el período comprendido entre 2021 y 2023, bajo la dirección de Nahuel Raul Peralta y Alejandro Rotolo.



Nombre y firma del Magister: Santiago Molinari,



Nombre y firma del Director: Nahuel Raul Peralta,



Nombre y firma del Co-Director: Alejandro Rotolo

Análisis de uso e incorporación de Vehículos Aéreos No Tripulados para el relevamiento de variables de importancia agronómica en el cultivo de maíz

Molinari, Santiago

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE MAGISTER EN GESTION DE LA INNOVACIÓN Y LA VINCULACIÓN TECNOLÓGICA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

DIRECTOR: Nahuel Raul Peralta,

CO-DIRECTOR: Alejandro Rotolo

AÑO: 2025

Índice

Resumen / Abstract.....	6-7
Capítulo 1: Introducción	8
1.1 Introducción	8
1.2 Los VANTs en Agricultura	8
1.3 El Cultivo de maíz	10
1.4 Conteo de Plantas de maíz	12
1.5 Desafíos en la Adopción de Tecnologías	14
1.6 Modelo ADKAR y la Gestión del Cambio	17
Capítulo 2: Hipótesis, Objetivos y Estrategia	19
Capítulo 3: Metodología	21
3.1 Diseño del Proyecto	21
Fase 1	23
Fase 2	29
3.2 Capacitar a los Pilotos	30
3.3 Equipamiento adquirido	30
3.4 Análisis Comparativo	31
3.5 Indicadores de Performance y Mejora Continua	33
3.6 Encuesta	34
3.7 Análisis Financiero	34
Capítulo 4: Resultados	37
4.1 Análisis Financiero	46
4.2 Resultados de la Encuesta	47
4.3 Seguimiento en Tiempo Real	53
Capítulo 5: Discusión	55
Capítulo 6: Conclusiones	58
Capítulo 7: Bibliografía	60
Capítulo 8: Anexos	65

Agradecimientos

A todo el equipo de **Market Development**, un grupo innovador, entusiasta y de enorme profesionalismo. Gracias por inspirar, acompañar y ser parte de este recorrido.

A **Javier Lotano** y **Hernán Ingrassia**, por confiar, empujar y facilitar que este proyecto tuviera **los recursos, el tiempo** y, sobre todo, **la prioridad necesaria**. Su visión sobre la digitalización y el futuro fue un impulso clave.

A mis directores, **Nahuel** y **Alejandro**, por brindar parte de su tiempo y su invaluable guía.

Al equipo de **MDR y Operaciones**, siempre enfocados en la mejora continua y comprometidos con hacer crecer a la compañía. En especial, a quienes ponen el cuerpo, las ideas y el corazón para ajustar y calibrar nuevas tecnologías con un objetivo claro y compartido: avanzar. Gracias **Tano, Emi, Ale L., Colo B., Colo T., Elvio, Diego, José, Sebas, Germán, Darío, Rafa, Santi A., Gringo** y **Gonza**. Cada uno, desde su lugar, aporta su grano de arena para que grandes cosas sucedan.

A mi **familia**, por darme todas las herramientas posibles para crecer, formarme y convertirme en un profesional. Gracias por enseñarme con el ejemplo, por estar en cada paso y por impulsarme siempre a contribuir —desde mi humilde lugar— a construir algo mejor.

A la **universidad**, por brindarme el conocimiento, el desafío y el espacio para desarrollar esta etapa de formación. Gracias a los docentes y a todos los que hacen posible que tantos profesionales podamos formarnos con excelencia y espíritu crítico.

Infinitas gracias a cada uno de ustedes. Que este trabajo no sea un punto de llegada, sino un paso más hacia todo lo que podemos lograr juntos.

Dedicatoria

A **Noelia**, mi esposa.

Porque sin vos, nada de esto hubiera sido posible. Gracias por todo, tu paciencia, tu fuerza y por estar siempre, incluso cuando las palabras no alcanzan. **Esta tesis también es tuya.**

Resumen

Esta tesis analiza el uso e incorporación de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) como herramienta para el relevamiento de variables agronómicas en el cultivo de maíz, haciendo especial énfasis en el conteo de plantas como variable crítica para el posicionamiento de híbridos. Se parte de la necesidad de optimizar la captura de datos a campo, superando las limitaciones de los métodos manuales tradicionales, que presentan deficiencias en cuanto a eficiencia operativa, trazabilidad y calidad de la información.

El proyecto se estructuró en dos fases principales. La primera consistió en una prueba de concepto en tres localidades, donde se compararon resultados entre el conteo manual y el conteo a partir de imágenes tomadas por VANTs, generando ortomosaicos de alta resolución. En todos los casos se obtuvieron correlaciones altas (0,968, 0,852 y 0,956), validando la precisión y el potencial operativo de la metodología. La segunda fase implicó la adopción progresiva de la tecnología por parte del equipo operativo, alcanzando más de 40 sitios experimentales y capacitando a 12 pilotos certificados.

Se aplicó el modelo ADKAR como herramienta de gestión del cambio para asegurar una transición efectiva, contemplando aspectos como el deseo de cambio, la adquisición de habilidades y el refuerzo organizacional. Además, se incorporó un análisis financiero que evidenció la viabilidad económica del modelo, con una reducción estimada del 30% en los costos de evaluación, un Valor Presente Neto (VPN) positivo y un período de recuperación corto.

Los resultados reflejan una mejora sustancial en la estandarización y trazabilidad de los datos, así como un aumento en la eficiencia operativa. El uso de VANTs permitió cubrir mayores superficies en menos tiempo, generar nuevas capas de información (como uniformidad de emergencia y cobertura) y facilitar la visualización y comunicación de resultados a campo. La percepción del equipo fue altamente favorable, destacando beneficios técnicos, operativos y organizacionales.

En conclusión, los VANTs representan una herramienta tecnológica clave para avanzar hacia una agricultura más precisa, eficiente y sustentable, siempre que su adopción contemple tanto los aspectos técnicos, humanos y organizacionales del proceso.

Abstract

Analysis of the Use and Incorporation of Unmanned Aerial Vehicles for the Survey of Agronomically Relevant Variables in Maize Cultivation

This thesis analyzes the use and incorporation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as a tool for surveying agronomic variables in maize cultivation, with a particular focus on plant stand counts—a critical variable for hybrid positioning. The work arises from the need to optimize field data collection, overcoming the limitations of traditional manual methods, which often lack operational efficiency, traceability, and data quality.

The project was structured in two main phases. The first consisted of a proof of concept in three locations, comparing results between manual counts and those obtained from high-resolution UAV imagery, processed into orthomosaics. In all cases, high correlations were observed (0,968, 0,852 y 0,956) validating the accuracy and operational potential of the methodology. The second phase involved the progressive adoption of the technology by the operational team, covering more than 40 experimental sites and training 12 certified UAV pilots.

The ADKAR model was applied as a change management framework to ensure an effective transition, addressing aspects such as awareness, desire, skills development, and organizational reinforcement. Additionally, a financial analysis confirmed the economic feasibility of the model, showing an estimated 30% reduction in evaluation costs, a positive Net Present Value (NPV), and a short payback period.

The results show substantial improvements in data standardization and traceability, along with increased operational efficiency. The use of UAVs enabled broader area coverage in less time, the generation of new data layers (such as emergence uniformity and canopy coverage), and enhanced visualization and communication of field results. The team's perception was highly positive, highlighting technical, operational, and organizational benefits.

In conclusion, UAVs represent a key technological tool to advance toward more precise, efficient, and sustainable agriculture—provided their adoption accounts for both the technical and human-organizational dimensions of the process.

1.1 Introducción

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes del mundo, responsable de proporcionar alimentos y productos básicos a la población mundial. En las últimas décadas, la industria agrícola ha experimentado cambios significativos impulsados por la tecnología, incluyendo la incorporación de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) para la captura y análisis de datos agronómicos.

La Asociación Internacional de Agricultura de Precisión (ISPA, por sus siglas en inglés) define la Agricultura de Precisión como una estrategia de gestión basada en la recopilación, procesamiento y análisis de datos temporales, espaciales e individuales, combinados con otras fuentes de información para mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. Dentro de este marco, los datos obtenidos mediante sensores remotos y procesados con herramientas analíticas avanzadas permiten mejorar la productividad de los cultivos a través del mapeo espacial y la evaluación de la variabilidad en los lotes (Kumar et al., 2023; Zhang & Kovacs 2012; Peralta et al., 2016).

Los VANTs han emergido como una herramienta clave en este contexto, ya que permiten la captura de información detallada sobre la salud del suelo, el estado fenológico y nutricional de los cultivos, la planificación de riego, la aplicación de productos fitosanitarios y fertilizantes, así como la estimación de rendimientos (FAO, 2018). La combinación de los datos recolectados por VANTs con otras fuentes de información analítica proporciona una base más sólida para la toma de decisiones agronómicas.

1.2 Los VANTs en Agricultura

En los últimos años, los avances tecnológicos han transformado la agricultura tradicional, promoviendo la automatización de procesos y mejorando la eficiencia en la investigación a campo. Los VANTs, popularmente conocidos como drones, representan una innovación disruptiva en la recolección y análisis de datos agrícolas. Su capacidad para obtener información con alta resolución y menores errores en comparación con los métodos manuales ha impulsado su adopción en la agricultura de precisión (Kulbaki et al., 2018).

Este punto hace que su utilización en la agricultura de precisión y equipos de desarrollo de las empresas del sector sea cada vez más frecuente. Tradicionalmente, el monitoreo de cultivos requería trabajo manual, esto consume demasiado tiempo y puede ser propenso a errores humanos (Li et al., 2019). Durante la última década, la agricultura de precisión ha ayudado a

disminuir el trabajo manual en los campos al proporcionar soluciones de monitoreo de cultivos que son menos subjetivas, eficientes en costos y sólidas.

Sishodia et al. (2020) destacan la importancia de la teledetección en la agricultura de precisión, subrayando que los datos de alta resolución espacial, espectral y temporal obtenidos a través de sensores remotos permiten una caracterización detallada de los cultivos y sus condiciones de crecimiento. Esta capacidad de obtener información precisa y detallada a nivel de parcela ha impulsado el desarrollo de aplicaciones como la gestión variable de nutrientes, el monitoreo de enfermedades y plagas, y la predicción de rendimientos.

Con los avances tecnológicos recientes, se ha vuelto más factible desarrollar enfoques automatizados y no destructivos basados en sensores remotos. Los productores o investigadores no tienen que inspeccionar las parcelas experimentales manualmente, sino que pueden desplegar un VANT para tomar fotografías aéreas de sus cultivos y ensayos que luego pueden analizarse para obtener información a nivel de la planta, mejorar la información, la toma de decisiones agronómicas, y que, en comparación con imágenes satelitales, disponen de mayor frecuencia temporal y resolución espacial (Swain et al. 2010). Las imágenes capturadas con VANTs generalmente tienen una resolución espacial de centímetros, la adquisición de las imágenes es manejable, otorgando mayor flexibilidad en su programación y menos influenciada por la cobertura de nubes. En la última década, ha habido un número creciente de ejemplos de aplicaciones de VANTs en el monitoreo ambiental y en la agricultura de precisión (PA, por sus siglas en Inglés). Las aplicaciones de la teledetección mediante VANTs en PA incluyen, entre otras, el mapeo de rendimiento, la medición del contenido químico, el mapeo del vigor, el monitoreo del estrés de la vegetación y la evaluación del impacto de la fertilización en el crecimiento de los cultivos.

Sin embargo, aún existen muchas deficiencias significativas en la teledetección con VANTs, como los altos costos iniciales, la fiabilidad de la plataforma, la capacidad de los sensores y la falta de procedimientos estandarizados para procesar grandes volúmenes de datos. Además, las estrictas regulaciones aeronáuticas y la simple falta de interés por parte de los agricultores pueden dificultar la adopción de los VANTs (Zhang et al. 2012).

Los beneficios de los VANTs son su disponibilidad comercial y que hoy en día la mayoría de ellos pueden volar con piloto automático. Además, pueden volar a altitudes más bajas con mayor seguridad y a un menor costo que las aeronaves tripuladas, logrando una mayor resolución espacial. Las imágenes adquiridas con un VANT también pueden lograr una mejor

resolución espacial que las imágenes proporcionadas por los servicios de satélites y pueden cubrir grandes extensiones. Los VANTs ya se utilizan en la agricultura de precisión para mejorar la rentabilidad y la productividad al proporcionar datos sinópticos y mapas de tareas (Tokekar et al., 2016). Y si bien estos pueden ser una forma más económica y rápida de recopilar datos aéreos, cabe aclarar que, sin una traducción de las imágenes adquiridas en información relevante, esta recopilación de datos agrega poco valor. Se obtiene poco beneficio de las fotografías aéreas sin ninguna traducción a conocimientos operativos. Al aplicar métodos de visión artificial, se puede extraer información valiosa de fotografías de alta resolución (João Valente et al., 2020).

Los VANTs equipados con cámaras de alta resolución hoy en día ofrecen una solución prometedora. Al capturar imágenes aéreas detalladas de los cultivos, los VANTs permiten la implementación de algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para estimar el número de plantas de manera precisa y objetiva. Esta metodología no solo reduce significativamente el tiempo y los costos asociados con el conteo manual, sino que también proporciona datos más precisos y confiables para la toma de decisiones en la gestión agrícola (Katari et al. 2024).

Al combinar la tecnología de VANTs y el procesamiento de imágenes, los agricultores y investigadores pueden obtener información detallada y precisa sobre sus campos, lo que les permite optimizar la producción y tomar decisiones más informadas.

1.3 El Cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es considerado uno de los cereales más esenciales a nivel mundial, desempeñando un papel crucial en la dieta de millones de personas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el maíz es un alimento básico en muchas regiones y países, especialmente en África, América Latina y partes de Asia. La FAO también señala que el maíz es una fuente significativa de calorías y proteínas en la dieta humana, y su producción global ha aumentado constantemente en las últimas décadas para satisfacer la creciente demanda alimentaria de la población mundial (FAO, 2021).

Además de su importancia como alimento básico, el maíz tiene aplicaciones extensas en la industria. Es un componente fundamental en la elaboración de alimentos procesados, productos

químicos, biocombustibles y otros productos. Su versatilidad y su amplia gama de aplicaciones lo convierten en un cultivo crítico para la economía global (Magan et al., 2019).

En este contexto, la optimización de la producción de maíz se convierte en un objetivo crucial. La maximización del rendimiento del maíz implica una cuidadosa consideración de varios factores, incluyendo la elección del genotipo, la densidad poblacional, manejo nutricional, control de plagas (insectos y enfermedades) y la fecha de siembra (Aramburu Merlos et al., 2015). Es fundamental ajustar la densidad de plantas para cada combinación de genotipo y ambiente, minimizando así los efectos adversos tanto bióticos como abióticos y maximizando la producción. VANTs equipados con distintos sensores multispectrales pueden proporcionar información detallada sobre el estado nutricional de los cultivos, lo que permite realizar aplicaciones de fertilizantes de manera más precisa y eficiente, optimizando el uso de estos insumos y reduciendo los costos de producción.

El Maíz es uno de los cultivos más sensibles a los patrones de siembra y a la uniformidad incluso en etapas tempranas del desarrollo. El método más difundido para determinar el número de plantas logradas es la inspección visual a campo, pero esta tarea consume demasiado tiempo, atención y puede contener sesgos subjetivos (Varela et al. 2018). El conteo de plantas es una tarea fundamental en el monitoreo de cultivos, ya que proporciona información crucial sobre tasas de germinación, variabilidad en la densidad de población dentro del campo (Poncet et al. 2019 y Mohammadi et al. 2014) y características relacionadas con la calidad y el rendimiento del cultivo (Lawles et al. 2012). Además, es una herramienta valiosa para evaluar el impacto de diferentes prácticas de manejo agrícola en la producción y la calidad de los nutrientes. Por ejemplo, estudios han demostrado que la densidad de plantación puede influir significativamente en la calidad nutritiva del maíz forrajero (Baghdadi et al. 2015).

El desarrollo y posicionamiento de los híbridos se basa en muchos años de estudios a campo y la exploración de un amplio rango de ambientes a lo largo de todas las zonas productivas del país. Para la determinación del rendimiento se deben considerar prácticas principales como la **elección del genotipo, la densidad poblacional y fecha de siembra**. Para maximizar la producción, la densidad de plantas debería ser ajustada para cada combinación de genotipo y ambiente, y reducir al mínimo los efectos de adversidades tanto bióticas como abióticas (Dekalb, 2023). Todos los cultivos difieren en su respuesta a la variación de la densidad de plantas y esto se debe al efecto de dos mecanismos: la capacidad del cultivo para interceptar radiación solar (plasticidad vegetativa) y la plasticidad reproductiva de los individuos. El maíz

posee una capacidad limitada para compensar una baja densidad de plantas debido a una menor plasticidad vegetativa y reproductiva (Cox, 1996). Por lo tanto, es mandatorio, para cada ensayo conducido a campo, contar con el número de plantas de maíz logradas posterior a la siembra.

Sin embargo, los métodos tradicionales de conteo manual son laboriosos, costosos y propensos a errores humanos. La naturaleza subjetiva de estas evaluaciones puede introducir sesgos en los resultados y dificultar la comparación entre diferentes parcelas o experimentos. La demanda de métodos más eficientes y precisos ha impulsado el desarrollo de tecnologías de detección remota y aprendizaje automático (Katari et al. 2024). Otro punto para resaltar es la ausencia de trazabilidad sobre los datos recolectados.

La densidad de siembra influye fuertemente en el rendimiento del cultivo de maíz. Diversos estudios coinciden en que cualquier reducción de la población por debajo del nivel óptimo conlleva pérdidas significativas de producción. Por ejemplo, Djalovic et al. (2024) afirman que “cualquier disminución en el número de plantas respecto al valor óptimo conduce a una reducción del rendimiento”. De manera consistente, una investigación realizada en Argentina encontró que “los rendimientos a alta densidad superaron a los de baja densidad en 2.000 kg ha⁻¹ o más” (Schulz, 2021). Estas cifras ilustran cuantitativamente el impacto negativo de poblaciones subóptimas y justifican la necesidad de un conteo preciso de plantas mediante VANTs, con el fin de minimizar pérdidas de rendimiento por fallas en la emergencia o pérdida de plantas. Dicho de otro modo, obtener datos precisos sobre las poblaciones, o el número de plantas logradas luego de la siembra se vuelve mandatorio para cada ensayo de campo, y aquí es donde la adopción de tecnologías como los VANTs puede desempeñar un papel crucial.

1.4 Conteo de Plantas de maíz.

Las técnicas de teledetección se utilizan ampliamente en agricultura y agronomía (Atzberger, 2013). Debido a que las variables que afectan la productividad son altamente variables en el espacio y en el tiempo, trabajos recientes muestran una tendencia a adoptar VANTs por parte de investigadores y agricultores para monitorear sus campos debido a su alta operatividad, lo que brinda una perspectiva sin precedentes de ultra alta resolución espacial y temporal y libre de la oclusión de nubes. Además, dada su eficiencia económica en vuelo, se pueden obtener fácilmente animaciones de series temporales que revelan el cambio del cultivo con un intervalo

mínimo de varias horas (Anderson et al. 2014). También se encuentran oportunidades en nuevas aplicaciones de análisis de vegetación a escalas más finas, como el mapeo, detección y monitoreo de cambios a nivel de árbol.

Los primeros métodos tradicionales para el conteo de plantas como el definido por Pound y Clements, en 1898 utilizan sistemáticamente un área medible de acuerdo con su población, la cual, en el estado del arte, presenta diferentes variaciones en el conteo según Oliver y Tansley, 1904; Weaver, 1918. Metodologías mencionadas y citadas por Wilbur et al. 2024. Actualmente es la variable más importante, después del rendimiento, si consideramos volumen de datos y tiempo necesario para obtenerla. También podemos mencionar que define en gran parte los costos anuales para la conducción de ensayos debido a que es una variable independiente de la infestación de plagas, región, etc. Es un dato mandatorio en todas las localidades sembradas para investigación y desarrollo para posicionamiento de híbridos de maíz. Lo cual hace aún más relevante el objetivo de encontrar un método noble que permita simplificar el proceso, ayude a estandarizar, disminuir errores, de trazabilidad y ayude a disminuir costo.

Muchos investigadores han empleado una variedad de modelos para estimar la densidad de plantas, y estos estudios pueden categorizarse en tres enfoques: identificación, conteo y estimación de fases fenológicas. Estos modelos, a su vez, se basan en diferentes técnicas de procesamiento digital de imágenes (DIP, por sus siglas en inglés), entre las que se incluyen: análisis de correlación (Cruvinel y Minatel, 2002), espacios de color (Gnädinger y Schmidhalter, 2017), regiones de interés (ROI) (Koc-San et al., 2018), firmas espectrales (Hall et al., 2018), número de hojas (Praveen Kumar y Domnic, 2019), secciones cónicas para la estimación del dosel (Veramendi y Cruvinel, 2021) e índices de vegetación (Bah et al., 2020), entre otros.

Existen diversos modelos y metodologías de entrenamientos, como Deep learning, Convolutional Neural, entre otros, para obtención de datos a través de imágenes (Wilbur, 2024; Roth et al. 2020; Hamuda et al. 2016, Kitano et al. 2019, Varela et al. 2018), pero no es un tema que será abordado en este trabajo. Nos centraremos en el proceso de recolección de imágenes y adopción de la tecnología por parte de los equipos responsables de ensayos y generación de datos a campo.

El proceso general para obtener datos digitales podría generalizarse de la siguiente manera:

- Planificación de vuelos, automatizada

- Captura de Imágenes mediante VANTs
- Carga de Imágenes a un servidor
- Creación de Ortomosaicos
- Superposición con grillas de ensayos.
- Análisis
- Archivo de datos

Si bien existe numerosa bibliografía de ajustes sobre analíticas y comparaciones de metodologías como se mencionó anteriormente, sobre uso de VANTs para evaluaciones de campo y mejoras en los procesos (Parthasarathy, 2019, García-Martínez et al. 2020, Kitano et al. 2019), poco se encuentra sobre la adopción de estas herramientas dentro de los equipos de operaciones y tareas de campo. Tema que abordaremos en mayor profundidad en este trabajo.

1.5 Desafíos en la Adopción de Tecnologías

El presente proyecto no solo aborda los avances tecnológicos en la agricultura, sino que también se enfoca en la gestión efectiva de estas innovaciones. La gestión agronómica implica la recopilación, procesamiento y análisis de datos para tomar decisiones informadas. En este sentido, la introducción de VANTs como herramienta de recolección de datos se alinea con la modernización de la gestión agrícola.

La gestión eficiente de los datos capturados por VANTs implica la adopción de tecnologías de información y análisis en tiempo real. La automatización de procesos, impulsada por estas herramientas, no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la toma de decisiones basada en datos precisos y oportunos. Sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías no solo depende de su efectividad técnica, sino también de factores organizativos y humanos que pueden generar barreras a su implementación.

La **gestión del cambio** como herramienta metodológica facilita la transición y adaptación a nuevos procesos (Cotes, 2013). En el contexto agrícola, la implementación de VANTs obliga a los colaboradores a reestructurar su forma de trabajo, alejándose del método tradicional de observación directa en el campo. Esta transición requiere una planificación estratégica basada en metodologías de gestión del cambio para garantizar una adopción efectiva y minimizar la resistencia.

Si bien la transición hacia nuevas tecnologías es clave para mejorar la productividad y eficiencia, también conlleva desafíos significativos (Smith et al., 2012). Las organizaciones invierten en sistemas de tecnología de la información (IT), software personalizado y plataformas de software como servicio (SaaS) para optimizar operaciones y mantenerse competitivas (Smith et al., 2012). No obstante, la adopción de estas tecnologías exige un cambio en las prácticas laborales, lo que puede generar incertidumbre y resistencia entre los empleados (Adams et al., 1992).

Un aspecto fundamental en la adopción tecnológica es la variabilidad en la disposición y habilidad de los trabajadores para adaptarse a nuevas herramientas (Smith et al., 2012). Aunque el cambio es un proceso inevitable en el mundo empresarial, la falta de participación de los empleados en la toma de decisiones puede aumentar su resistencia (Adams et al., 1992).

Desde la década de 1980, aproximadamente el 50% de las inversiones en capital en organizaciones se ha destinado a tecnología de la información (Venkatesh et al., 2003). Sin embargo, para que estas tecnologías realmente mejoren la productividad, deben ser aceptadas y utilizadas por los empleados. La aceptación de los usuarios respecto a nuevas tecnologías es una de las áreas más estudiadas en la literatura sobre sistemas de información, con modelos teóricos que explican más del 40% de la variabilidad en la intención individual de uso (Davis et al., 1989; Taylor y Todd, 1995; Venkatesh y Davis, 2000).

Uno de los modelos clave en este contexto es el **Technology Acceptance Model (TAM)**, desarrollado por Davis (1989). Este modelo explica la adopción de tecnología a través de dos factores principales:

1. **Utilidad percibida:** qué tan beneficiosa es la tecnología para el usuario.
2. **Facilidad de uso percibida:** qué tan intuitiva y manejable es la herramienta.

Además del TAM, otro marco teórico relevante es la teoría de la difusión de innovaciones (DOI) de Rogers (2003). Este modelo explica cómo las innovaciones se difunden en una sociedad a lo largo del tiempo, dividiendo a los usuarios en diferentes categorías según su grado de adopción:

- **Innovadores:** los primeros en probar nuevas tecnologías.
- **Primeros adoptantes:** influyen en la aceptación general dentro de una comunidad.

- **Mayoría temprana y tardía:** adoptan la tecnología tras observar su éxito en otros.
- **Rezagados:** quienes resisten el cambio hasta que se vuelve inevitable.

La DOI señala que la adopción tecnológica está influenciada por cinco atributos clave:

1. **Ventaja relativa:** percepción de mejoras frente a métodos tradicionales.
2. **Compatibilidad:** ajuste de la tecnología con valores y necesidades previas.
3. **Complejidad:** facilidad de aprendizaje y uso.
4. **Experimentabilidad:** posibilidad de prueba antes de su adopción masiva.
5. **Observabilidad:** visibilidad de los beneficios de la tecnología en la práctica.

Aplicando DOI al uso de VANTs en la agricultura, es crucial identificar en qué etapa se encuentran los usuarios potenciales y diseñar estrategias adecuadas para acelerar la adopción. Por ejemplo, la capacitación y las pruebas piloto pueden reducir la percepción de complejidad, mientras que la demostración de beneficios económicos y operativos aumenta la ventaja relativa percibida.

Si bien la globalización de herramientas tecnológicas y telemáticas ha crecido exponencialmente en las últimas dos décadas (Venkatesh et al., 2003), su implementación en la agricultura requiere más que solo la adquisición de equipos. La llegada de los VANTs desafía la logística tradicional de captura de datos en campo, no solo en términos de costos, sino también en eficiencia y calidad de información.

Para gestionar el cambio organizacional en este contexto, es esencial seguir un procedimiento sistemático:

1. **Identificación:** caracterizar las dinámicas que requieren cambio.
2. **Valoración:** evaluar causas y consecuencias de la transformación.
3. **Planeación:** definir actividades, presupuesto y recursos.
4. **Implementación:** ejecutar estrategias con apoyo de los colaboradores.
5. **Evaluación de sostenibilidad:** medir el impacto en el tiempo.

La metodología de este estudio combinará enfoques cuantitativos y cualitativos para evaluar la adopción de VANTs en la agricultura, considerando tanto factores técnicos como socioeconómicos. La recopilación de datos mediante encuestas, entrevistas y análisis de desempeño permitirá una evaluación integral de los desafíos y beneficios percibidos.

Finalmente, es clave reconocer que la adopción de tecnología no es un proceso homogéneo. La implementación de estrategias como la capacitación progresiva, el acompañamiento técnico continuo y la demostración de beneficios en condiciones reales puede facilitar la transición hacia herramientas innovadoras en la agricultura.

1.6 Modelo ADKAR y la Gestión del Cambio

Dentro del marco teórico de la gestión del cambio, el modelo ADKAR de Jeff Hiatt (2006) proporciona una metodología estructurada para facilitar la transición hacia nuevas tecnologías. Este modelo, basado en cinco etapas (Awareness, Desire, Knowledge, Ability and Reinforcement), busca minimizar la resistencia y asegurar la adopción efectiva de nuevas prácticas organizacionales (Prosci, 2016).

- 1. Conciencia:** Crear un sentido de urgencia sobre la necesidad del cambio, explicando sus beneficios y los riesgos de no implementarlo. Sin una comprensión clara de por qué es necesario el cambio, los colaboradores podrían resistirse o volver a sus métodos anteriores.
- 2. Deseo:** Motivar a los empleados a participar activamente en el cambio, destacando beneficios personales y organizacionales. Factores como la naturaleza del cambio, el contexto organizacional y la motivación individual influyen en esta etapa (Hiatt, 2006).
- 3. Conocimiento:** Proporcionar la capacitación necesaria para que los empleados comprendan cómo aplicar la nueva tecnología en su trabajo diario. Identificar los conocimientos clave antes, durante y después de la transición facilita el proceso de adaptación.
- 4. Habilidad:** Desarrollar competencias prácticas a través de la experiencia y la repetición en entornos controlados. Más allá del conocimiento teórico, los empleados deben practicar nuevas habilidades hasta que estas se integren en su desempeño cotidiano.

5. **Refuerzo:** Implementar mecanismos de apoyo, como incentivos y reconocimiento, para consolidar el cambio y evitar retrocesos.

Para facilitar la adopción de nuevas tecnologías, el modelo ADKAR sugiere cinco estrategias complementarias:

- **Comunicación:** Informar claramente sobre qué, por qué y cómo se realizará el cambio.
- **Patrocinio:** Contar con el respaldo activo de líderes y patrocinadores dentro de la organización.
- **Entrenamiento:** Brindar formación práctica adaptada a las necesidades del personal.
- **Acompañamiento:** Proveer espacios controlados para que los empleados practiquen nuevas habilidades.
- **Manejo de la Resistencia:** Implementar estrategias para abordar objeciones y prevenir bloqueos en el proceso de adopción.

El establecimiento de objetivos en términos de aprendizaje y desempeño es clave para una transición exitosa (Rousseau & Have, 2022). La implementación de VANTs en la agricultura no solo depende de sus capacidades técnicas, sino también de la aceptación y adaptación de los equipos operativos que las utilizarán. Factores como la expectativa de desempeño, la expectativa de esfuerzo y las condiciones facilitadoras juegan un papel crucial en la adopción sostenible de esta tecnología a largo plazo.

2.0 Hipótesis:

Se plantea que el uso de VANTs para el relevamiento de variables agronómicas en cultivos de maíz mejora significativamente la eficiencia y la calidad (disponibilidad, repetibilidad, trazabilidad, etc) de los datos en comparación con los métodos manuales tradicionales.

Objetivos:

- **General:** Evaluar la eficacia de los VANTs en la recopilación de datos sobre el conteo de plantas, descarte de parcelas, en comparación con métodos manuales.
- **Específicos:**
 - Comparar la precisión y el tiempo requerido para obtener datos de conteo de plantas utilizando VANTs y métodos manuales.
 - Evaluar la adopción de tecnologías de drones por parte del personal y su impacto en el procesamiento y calidad de los datos.
 - Evaluar la capacidad de los operadores agrícolas para adaptarse a la nueva tecnología y utilizar los datos obtenidos para tomar decisiones y comunicación.

Al abordar estos objetivos, esta investigación busca contribuir a la adopción de tecnologías de vanguardia en la agricultura, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad de la producción de maíz.

Marco y Enfoque de la investigación

En este contexto, este proyecto busca no solo explorar cómo la adopción de VANTs puede mejorar la eficiencia en la obtención de datos sobre las distintas variables en el cultivo de Maíz, sino también cómo superar los desafíos asociados a la implementación de nuevas tecnologías en equipos operativos tradicionales. Nos enfocaremos en la integración efectiva de los VANTs

en los procesos de trabajo existentes, considerando tanto la mejora de la eficiencia como el bienestar y la adaptación del personal.

Para lograr este objetivo, adoptaremos el modelo ADKAR como marco de referencia. Este modelo nos permitirá identificar las etapas clave en el proceso de adopción (conciencia, deseo, conocimiento, habilidad y refuerzo) y diseñar estrategias específicas para cada una de ellas.

Desafíos y estrategias:

La adopción de VANTs en la agricultura enfrenta diversos desafíos, como la curva de aprendizaje, la inversión inicial, la falta de infraestructura tecnológica y la resistencia al cambio por parte de los operadores. Para abordar estos desafíos, proponemos las siguientes estrategias:

- **Capacitación especializada:** Impartir cursos y talleres para familiarizar al personal con el funcionamiento de los VANTs y las herramientas de análisis de datos.
- **Creación de un foro de práctica:** Fomentar el intercambio de conocimientos y experiencias entre los usuarios de VANTs.
- **Desarrollo de protocolos estándar:** Establecer procedimientos claros y concisos para la operación y mantenimiento de los VANTs.
- **Incentivos y reconocimiento:** Implementar programas de incentivos para reconocer y recompensar la adopción de nuevas tecnologías.

Al abordar estos desafíos de manera proactiva, esperamos lograr una adopción exitosa de los VANTs en nuestro equipo operativo, mejorando así la eficiencia y la calidad de los datos recopilados en el campo

Capítulo 3: Metodología

3.1. Diseño del Proyecto

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque de mejora continua, estructurado en varias fases claves. En primer lugar, se llevó a cabo una fase inicial de exploración, basada en una revisión de bibliografía relevante y en experiencias previas dentro de la compañía. Durante esta pre-etapa, se realizaron pruebas exploratorias para capturar y analizar imágenes, definir procedimientos preliminares y establecer configuraciones iniciales para los vuelos (Kitano 2019). Estas primeras iteraciones permitieron identificar ajustes necesarios y adaptar la metodología a las condiciones operativas reales.

En la Figura 1 se ilustran distintos estadios del cultivo de maíz. Esta representación es clave para el conteo de plantas con drones, ya que la detección aérea depende en gran medida de la etapa de desarrollo: en estadios tempranos las plantas son más visibles de manera individual, mientras que en fases más avanzadas el cierre del canopeo dificulta su discriminación. Por ello, ubicar correctamente el estadio fenológico asegura la validez y precisión del conteo

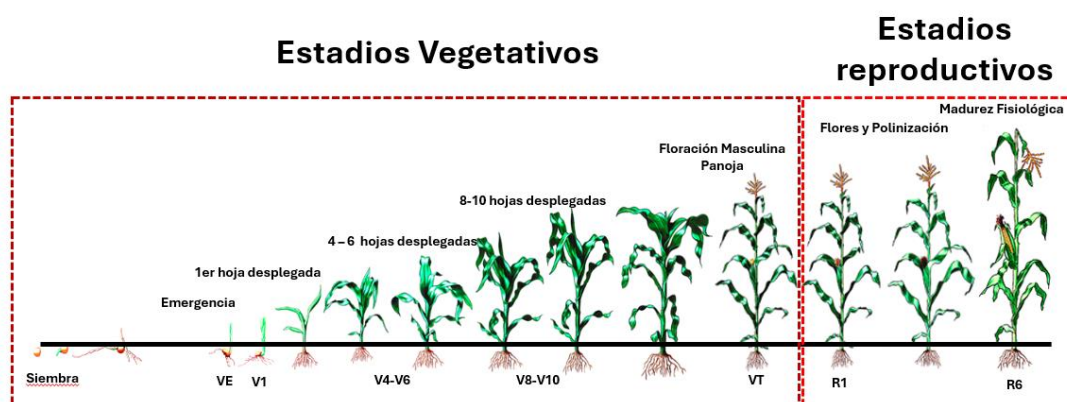


Figura 1. Estadios del cultivo de maíz

Una vez ajustada la metodología, durante esta fase exploratoria y definidos algunos puntos esenciales para la operación, se procedió a una etapa de validación de factibilidad, implementada en tres localidades estratégicas. Estas pruebas sirvieron para evaluar la eficacia del enfoque propuesto y asegurar que cumpliera con los objetivos agronómicos y operativos. Con los resultados de esta validación inicial, se confirmó la viabilidad técnica y operativa de la metodología.

Posteriormente, se avanzó hacia una implementación escalonada. Se diseñó un plan de adopción de la tecnología dentro del equipo de operaciones, responsable de la captura de datos a campo. Definiendo como objetivo capturar datos a través de 100 vuelos en diferentes localidades, y si bien el foco principal era la captura de datos para stand de plantas, también se continuó haciendo nuevas pruebas de Concepto para calibrar y obtener nuevas variables de manera digital, más allá del conteo de plantas. En esta fase, se incrementó progresivamente el número de ensayos, ampliando la cobertura geográfica, aumentando la cantidad de localidades evaluadas y por sobre todo la cantidad de personas involucradas en el proceso. Este escalado incluyó una segunda validación, más amplia y representativa, que consolidó el uso de los VANTs como una herramienta central en el relevamiento de variables agronómicas.

Antes de continuar con la planificación y expansión regional del plan, se realizó una encuesta para obtener opiniones de los usuarios directos y determinar qué factores debían ajustarse previo a la nueva campaña.

Descripcion de las Fases:

Fase I:

Luego de la revisión bibliográfica, vuelos de adaptación y recopilación de información general sobre captura de imágenes, se decidió proceder a un testeo de campo práctico.

Procedimientos:

Para poder obtener datos a partir de las imágenes se utiliza la **fotogrametría** que es la ciencia y técnica de obtener mediciones precisas a partir de fotografías. Se utiliza para crear modelos en 2D y 3D con coordenadas exactas, permitiendo la reconstrucción de objetos o superficies del mundo real a partir de imágenes. Esta técnica es fundamental en campos como la topografía, la cartografía y la arquitectura, entre otros.

Un **ortomosaico** es una imagen aérea compuesta por múltiples fotografías que han sido corregidas geométricamente y unidas para representar una superficie terrestre con precisión métrica. Estas correcciones eliminan distorsiones causadas por la perspectiva de la cámara y la

topografía del terreno, permitiendo que el ortomosaico funcione como un mapa preciso donde se pueden medir distancias y áreas reales (Mappa, 2025).

Las fotografías de un campo capturadas desde un VANTs sin procesar, puede tener distorsiones debido a la altura, la inclinación de la cámara y otros factores. Un ortomosaico es como un rompecabezas gigante de esas fotos, pero sin las piezas faltantes y con todas las distorsiones corregidas. Es una imagen plana, georreferenciada y a escala, que representa una vista aérea precisa y detallada del campo.

Ahora la pregunta siguiente, sería: ¿Cómo se crea un ortomosaico?

Captura de imágenes: Un VANTs vuela sobre el campo tomando muchas fotografías que se superponen entre sí (este factor es configurable en las aplicaciones de vuelo).

Procesamiento de imágenes: Estas imágenes se procesan utilizando software especializado. Este software utiliza técnicas de fotogrametría para "coser" las imágenes juntas y crear un modelo 3D del terreno.

Corrección geométrica: El modelo 3D se utiliza para corregir las distorsiones geométricas en las imágenes, como la perspectiva y la curvatura de la Tierra.

Creación del ortomosaico: Finalmente, se crea una imagen plana y georreferenciada, donde cada píxel corresponde a un punto específico en el terreno.

Lo siguiente es: ¿Para qué se utiliza un ortomosaico en la agricultura de precisión?

Evaluación visual: Permite a los agricultores y investigadores examinar el campo de manera detallada, identificando problemas como plagas, enfermedades, falta de riego, zonas de crecimiento deficiente, etc.

Análisis cuantitativo: A través de técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático, se pueden extraer datos cuantitativos del ortomosaico, como:

Conteo de plantas: Se pueden identificar y contar las plantas individuales en el campo, lo que permite evaluar la densidad de siembra y la germinación de las semillas.

Estimación del área de cultivo: Se puede calcular el área total del cultivo y de las zonas con problemas.

Análisis de índices de vegetación: Se pueden calcular índices que miden la salud y el vigor de las plantas, lo que ayuda a evaluar la respuesta del cultivo a diferentes tratamientos o condiciones ambientales.

Detección de cambios: Se pueden comparar ortomosaicos tomados en diferentes momentos para detectar cambios en el cultivo a lo largo del tiempo, como el crecimiento de las plantas, la aparición de malezas o la evolución de una enfermedad.

Todo esto presenta numerosas ventajas como:

Mayor precisión: Los ortomosaicos proporcionan una representación muy precisa del terreno, lo que permite realizar mediciones y análisis más confiables.

Mayor eficiencia: El análisis de imágenes es más rápido y eficiente que las técnicas tradicionales de muestreo en campo.

Mayor cobertura: Se pueden analizar grandes áreas de cultivo en poco tiempo.

Generación de datos: Los ortomosaicos generan grandes cantidades de datos que pueden ser utilizados para alimentar modelos de aprendizaje automático y mejorar la toma de decisiones en la agricultura.

En resumen, el ortomosaico es una herramienta fundamental en la agricultura de precisión, ya que proporciona una base sólida para la evaluación visual y el análisis cuantitativo de los cultivos. Figura 2, muestra proceso de captura de imágenes con misión de vuelo, ortomosaico y solapamiento con grilla de ensayos.

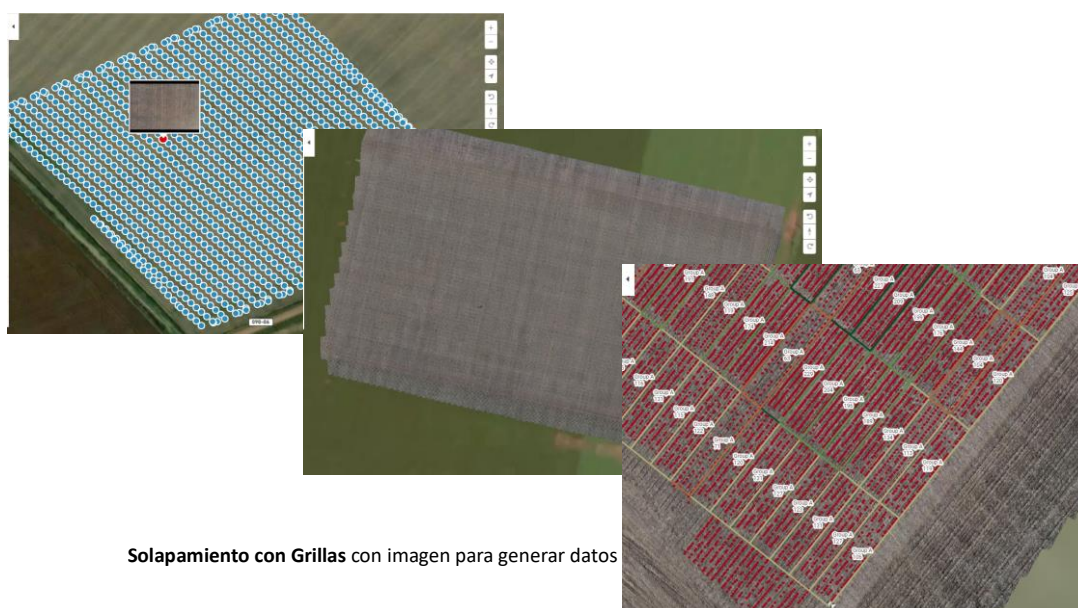


Figura 2. 3 etapas en la generación o captura de datos a través de VANT. Captura de imágenes con plan de vuelo, su posterior procesamiento y creación de ortomosaico, por último, conteo de plantas superpuesto con las parcelas del ensayo.

1. **Planificación de los vuelos:** Se definieron planes de vuelos y altitudes específica 20m para maximizar la cobertura en ensayos de franjas, y 16 metros para las localidades de micro parcelas. En lo que respecta al vuelo, es importante controlar distintos factores previos y durante los vuelos. Primordial chequeo Espacio Aéreo, condiciones meteorológicas previamente e in situ, Estadio Cultivo (con soporte de una herramienta generada para calcularlo a partir de Grados Días Acumulados, GDU por sus siglas en inglés, a partir de la fecha de siembra + datos históricos de estaciones meteorológicas en los sitios estratégicos, no publicado). MicroSD con espacio para almacenar las imágenes necesarias, baterías completamente cargadas (VANT, RadioControl), Licencia Piloto y PC para revisar imágenes.

Configuraciones

necesarias:

Solapamiento de las fotografías tomadas, siempre superior al 75%, frente y lateral.

Velocidad máxima de vuelo 2 m/s.

Evitar horas del día previo a las 10 a.m y posteriores a las 16 p.m ya que el sol juega un rol crucial en la creación de sombras dentro del lote que afectan los datos luego generados.

Tiempo de vuelo efectivo por cada batería era de un máximo 20 minutos.

Para volar 2 hectareas se necesitan 30 minutos y para volar 3 hectareas 44, 4 hectareas 55, con la configuración mencionada anteriormente.

Para la Camera: Seteo Manual, Focus, ISO between 100 –200, Aperture 3.5 to 4 y por último, Sutter 1/800 to 1/1250;

Captura de datos a campo: Los VANTs (Phantom 4 Pro) realizaron vuelos sistemáticos sobre las parcelas, previo a esto hay que colocar GCP (Ground Control Points) recuadros de 50x50 cm, de color negro y blanco (Figura 3), tomando las coordenadas con GPS de precisión Arrow Gold, con corrección Atlas (error <10cm), estos datos hacen que al realizar el proceso de “cocido” de imágenes, el mosaico generado está georreferenciado, el uso de GCP permite que las imágenes obtenidas en diferentes momentos de la

campana coincidan perfectamente entre sí. Recolectando imágenes de alta resolución. (GSD 0.44 cm/px).



Figura 3. Ground Control Points de 50 x 50 cm

Para los análisis de las imágenes, una vez creados los ortomosaicos, es necesario contar con metadatos esenciales para poder crear las métricas necesarias. Estos datos son:

- Fecha Vuelo
- Altura de vuelo
- Estadio
- Surcos por tratamiento
- Largo y Ancho de cada Parcela
- Densidades plantadas/Deseadas
- Coordenadas GPS

2. **Análisis inicial:** Imágenes cargadas al servidor definido. Luego los datos fueron procesados mediante software especializado para generar mapas y reportes.

Ensayos a Campo Fase I:

La implementación inicial se realizó en 3 sitios experimentales seleccionados estratégicamente para representar distintas condiciones agronómicas. En cada sitio, se llevaron a cabo vuelos para capturar datos agronómicos clave, que luego fueron analizados y comparados con los obtenidos mediante metodologías tradicionales.

Durante la campana 2021-2022 se llevaron adelante 3 experimentos, 2 ensayos de micro parcelas, 2400 plots (2.08metros x8.6 m) y 1 ensayo en franja (90m x 300m).

El experimento consistió en contar la totalidad de plantas por micro parcelas, 1200 por sitio (General Villegas y Pergamino), donde se encontraban distribuidas aleatoriamente 6 densidades diferentes, que iban desde 4, 6, 8, 10, 12 y 16 plantas/m², con 21 repeticiones cada una. El estadio del cultivo para realizar las mediciones fue V2-V3, 2 o 3 hojas completamente desplegadas. El ensayo en franja, atravesando el lote en el sentido de mayor variabilidad contaban con 3 densidades diferentes, plantadas por productor y su maquinaria. Las densidades exploradas en estos experimentos (Loma, Media Loma y Bajo) fueron de 4 y 6,5 pl/m² en los ambientes más marginales del lote, a 8 pl/m² en el de mayor potencial. En este caso el estadio para el vuelo fue V4, 4 hojas completamente desplegadas, al tratarse de densidades menores. Layout en Figura 4 y 5.

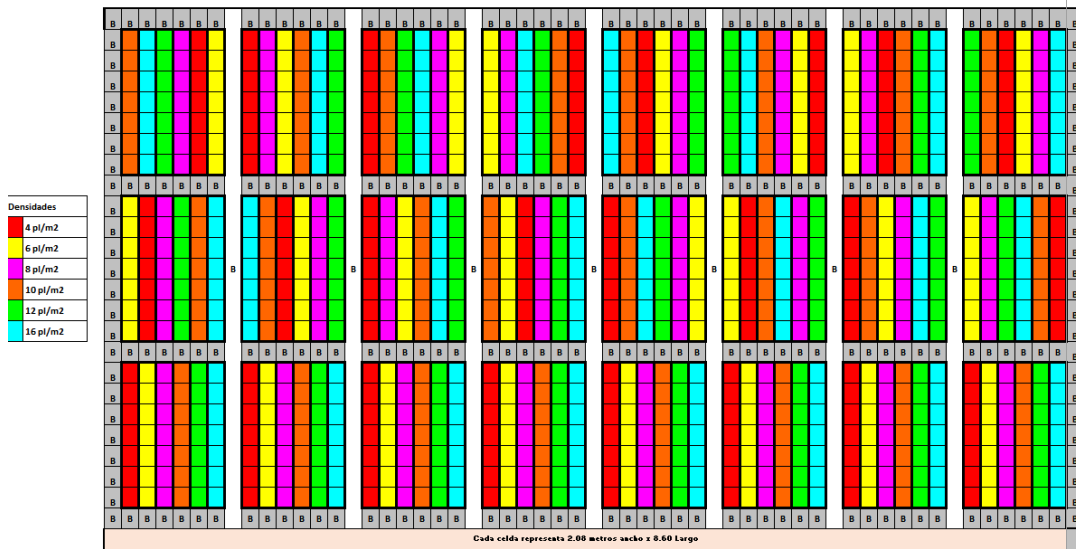


Figura 4. Grafica de diseño experimental ensayo micro parcelas para las localidades de Pergamino y General Villegas. Cada celda tiene 2.08 metros x 8.60 metros de largo.

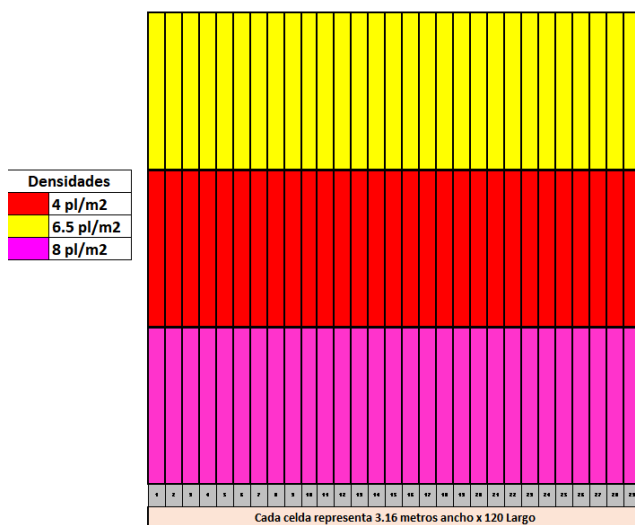


Figura 5. Grafica de diseño experimental ensayo en franjas para la localidad de Trenque Lauquen. Cada celda tiene 3.16 metros x 120 metros de largo.

Durante el mes de diciembre se realizaron 3 vuelos, previo al vuelo, en cada ensayo se colocaron puntos de control en el suelo, GCP, tomando las coordenadas con un GPS de precisión para la construcción de grillas y posterior construcción de parcelas digitales. Se recolectaron en promedio 2300 imágenes para la creación de Ortomosaicos por cada una de las localidades.

En las 3 localidades se realizó el conteo humano (metodología tradicional), del total de las plantas en cada una de las 1200 micro parcelas implantadas, cada una contaba con un evaluador diferente. Para el caso del ensayo en franja, otro evaluador fue seleccionado y se realizaron 3 sub-muestras en cada ambiente, de 280m² cada una, por la complejidad que implicaba contar la totalidad de la superficie.

Para la comparación entre los distintos métodos de conteo de plantas de maíz se realizó un análisis de regresión lineal simple a través del programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013).

Variables Evaluadas:

- Precisión en el conteo de plantas.
- Tiempo/Esfuerzo operativo requerido. Principalmente las diferencias operativas de horas a campo y exposición de los operarios.

La comparación inicial en los tres sitios permitió identificar áreas de mejora en los procedimientos, lo que sirvió como base para ajustar y escalar el proyecto a un nivel más amplio en años posteriores. Este enfoque iterativo garantizó que las decisiones tomadas estuvieran respaldadas por datos concretos y experiencias de campo.

Tomando como base las recomendaciones del modelo ADKAR, en esta primera etapa también diseño el plan para gestión del cambio:

La **conciencia y el deseo** por cambiar, mejorar y hacer más eficiente la tarea, podría decirse que era compartido por todos los integrantes del grupo responsable por la captura de datos. Por lo que más relevante para concretar el cambio era adquirir los conocimientos, mejorar las

habilidades y reforzar el cambio pensado en un principio una vez iniciado el proceso. De aquí se planteó la etapa 1. Pero aun con Deseo y conciencia por el cambio no eliminan de la ecuación factores como la **expectativa de desempeño, expectativa de esfuerzo y condiciones facilitadoras**.

Sobre las acciones necesarias para llevar adelante la transformación se diseñó el plan necesario la siguiente fase luego de los resultados de factibilidad, más los beneficios planteados:

Refuerzo y comunicación: Semanalmente en cada reunión de equipo virtual, contar con unos minutos de intercambio sobre el estado general del proyecto, localidades a volar, datos generados, contratiempos, etc. Cada usuario tenía unos minutos para expresar dudas, consultas, experiencias en primera persona.

Patrocinio: Solicitud de los líderes organizacionales que no solo aportaron visión de cambio sino también destinaron recursos financieros y temporales para llevar a cabo la puesta a punto para la escalabilidad del modelo propuesto.

Entrenamientos: Generación de documentos con paso a paso sobre el uso de VANTs en los ensayos. Check list a campo, videos + presentaciones con seteos e imágenes descriptivas (Anexo I).

Acompañamiento: Cada nuevo usuario, tendría un vuelo “Bautismo” en la primera localidad donde coleccionar datos de manera digital. Contribuyendo este punto a disminuir la presión sobre expectativas, enfocar lo adquirido como habilidades en el curso de pilotos en un uso efectivo en su jornada diaria.

Manejo de la Resistencia: Recopilar información sobre todos los errores o fallas ocurrido durante la fase 2, primero para poder disminuir fallos en un futuro y segundo para poder dar respuestas más efectivas ante incertidumbres, preparando respuestas que marquen los beneficios de seguir intentándolo.

Fase 2

3.2. Capacitar a los Pilotos

Un paso esencial para la correcta implementación del proyecto fue la formación de 12 pilotos certificados mediante la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). Este proceso aseguró el cumplimiento de las normativas vigentes para el manejo seguro de drones en

contextos agrícolas. Pilotos Clase B (hasta 5kg peso Máximo de despegue). Este paso era decisivo para el éxito en la implementación de esta nueva metodología internamente. Al tratarse de nuevas herramientas que modifican el modo tradicional de trabajo y que su actividad se encuentra legislada a través del Reglamento-VANT-Resolucion-885.

[RS-885.pdf](#) (Anexo II)

[Decreto 663/2024](#) (Anexo III)

Actividades Realizadas:

- **Duración y contenido del curso:** El curso incluyó módulos teóricos y prácticos sobre legislación, seguridad aérea, planificación de vuelos y operación de drones. Completando 120 horas de curso en un Centro de Instrucción Aeronáutica Habilitado por la Autoridad Nacional (Administración Nacional de Aviación Civil).
- **Entrenamientos Internos:** Detallados procedimientos de como operar los VANTs, para obtener la mayor eficiencia y calidad de imágenes posibles. 2 días presenciales de practica con vuelos y testeo de uso. Entrenamientos Virtuales, ppt, Videos, mas 1 vuelo de Prueba con piloto experimentado para “bautismo”.
- **Resultados:** Los pilotos capacitados adquirieron las competencias necesarias para operar los 5 VANTs adquiridos, permitiendo una transición fluida hacia esta siguiente fase del proyecto. Se confecciono de un Manual de Operaciones detallado para la utilización de VANTs.

3.3. Equipamiento adquirido

El proyecto contempló la compra de 5 VANTs **Phantom 4**, siendo el objetivo principal que las personas tengan fácil acceso a la tecnología y dispongan de los equipamientos para poder familiarizarse con los mismos. El siguiente punto, es que al disponer unidades limitadas (para el tamaño del equipo, 12 personas), obligatoriamente habría una etapa durante la campaña de traspaso de unidades, intercomunicación e intercambios que favorecerían el fortalecimiento y las relaciones no solo entre miembros del equipo, sino con la tecnología en sí, haciendo a las nuevas unidades “parte” del equipo. La marca y modelo elegido fueron seleccionados en función de los requerimientos agronómicos y operativos del proyecto, como así también

contemplando la interfaz con el usuario. Las características principales de los VANTs incluyen, especificaciones técnicas destacadas:

Aeronave:

- **Peso (con batería y hélices):** 1.380 g
- **Velocidad máxima de ascenso (modo S):** 6 m/s
- **Velocidad máxima de descenso (modo S):** 4 m/s
- **Velocidad máxima (modo S):** 20 m/s
- **Altitud máxima de servicio sobre el nivel del mar:** 6.000 m
- **Resistencia máxima al viento:** 10 m/s
- **Tiempo máximo de vuelo:** Aproximadamente 28 minutos
- **Rango de temperatura de funcionamiento:** 0° a 40°C
- **Sistemas de posicionamiento por satélite:** GPS/GLONASS
- **Precisión de vuelo estacionario:**
 - Vertical: $\pm 0,1$ m (con posicionamiento visual); $\pm 0,5$ m (con GPS)
 - Horizontal: $\pm 0,3$ m (con posicionamiento visual); $\pm 1,5$ m (con GPS)

Cámara:

- **Sensor:** CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles
- **Obturador:** Mecánico
- **Resolución máxima de video:** 4K a 60 fps
- **Formatos de video:** H.264 y H.265
- **Rango ISO:**
 - Foto: 100-12800
 - Video: 100-6400

Batería de Vuelo Inteligente:

- **Capacidad:** 5.870 mAh
- **Voltaje:** 15,2 V
- **Tipo de batería:** LiPo 4S

3.4 Análisis comparativo:

Para la campaña 2022-2023, el número de sitios de ensayo se amplió a 40 experimentos de microparcels, con un total de 1,200 microparcels por sitio. En estos experimentos, se evaluaron seis densidades de siembra (4, 6, 8, 10, 12 y 16 plantas/m²), distribuidas aleatoriamente y con 21 repeticiones cada una (Figura 4).

Adicionalmente, se llevaron a cabo 53 ensayos de franjas bajo tecnología de productor, con 29 repeticiones, utilizando las densidades de siembra típicas definidas por la práctica común de cada zona y productor.

Cabe destacar que la densidad media en los ensayos de franjas fue de 7 plantas/m², valor que se encuentra dentro del rango cubierto en los experimentos de microparcels. Dado que la variabilidad en las microparcels ocurre en escalas menores a 10 metros, los datos de franjas no fueron incluidos en el análisis comparativo. Además, al tratarse de información generada en campos de productores, estos datos son considerados confidenciales.

Para la comparación entre los distintos métodos de conteo de plantas de maíz se realizó un análisis de regresión lineal simple a través del programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2013). Por otro lado, se realizó un ANOVA para determinar que la nueva metodología propuesta podría diferenciar todas las densidades planteadas, ya que este es el punto crucial para la construcción de curvas de densidad de siembra y recomendaciones agronómicas.

Por motivos económicos, no fue factible hacer doble metodología en todas las localidades voladas, como si se realizó en la primera fase la viabilidad, pero si se cuenta con información de número de granos implantados por cada sembradora en cada parcela. Y se tomaron estos datos como registro de granos implantados para realizar las correlaciones posteriores, vale la pena mencionar que existen más de 10 años de datos internos (no publicados) que muestran muy alta correlación entre este factor y la metodología tradicional.

El objetivo con estas localidades era tener cubierto un amplio abanico de densidades, posibles productiva y comercialmente en el cultivo de maíz.

40 localidades Voladas micros (FNCS), 12 descartadas del análisis por motivos conocidos comprometiendo la calidad de datos generados. Detalles:

8 descartadas por vuelos en estadios de crecimiento/desarrollo diferente al recomendado (V3-V4) lo cual con lleva a una “sub-estimacion” del conteo real de plantas.

2 descartadas por fallas en los GPS (imagen, Anexo V), esto se atribuye directamente a un problema en el funcionamiento del VANT.

1 Descarte por falla de siembra, donde los distanciamientos entre cada pasada de sembradora no eran equilibrados, lo cual ocasiona que las grillas puedan ser superpuestas sobre el ortomosaico generado, perdiendo así el conteo de plantas parcela a parcela.

1 Descarte por configuración de vuelo, este error se trata de una equivocación al setear los parámetros necesarios en la captura de imágenes.

3.5. Indicadores de Performance y Mejora Continua

Durante el proyecto, se establecieron indicadores clave de rendimiento (KPIs por sus siglas en ingles) para evaluar la eficacia del uso de VANTs frente a las metodologías tradicionales.

Algunos de los KPIs utilizados fueron:

- **Utilidad de los Ortomosaicos (Si/No).**
- **Tiempo operativo a campo para captura de datos.**
- **Consistencia de los datos obtenidos (limitado).**
- **Relación costo-beneficio.**
- **Encuesta a Usuarios/Pilotos**

Para este punto, se confecciono un tablero de registro de actividades que constaba de diferentes factores a chequear, sumamente importantes para poder tener un seguimiento de las actividades y también control sobre la eficiencia de los vuelos realizados, no solo para dar trazabilidad sino también registro KPI. Para ello se utilizó el **software Tableau 2022.1**. Este software permite la publicación en un servidor dedicado, donde con un simple enlace, todas las personas vinculadas a la compañía pueden acceder a visualizar la información. Algunos de ellos fueron Calidad de imágenes, (Alta, media, baja), principalmente determinado esto por la simple interpretación del usuario a la hora poder visualmente detectar a simple vista las plantas de maíz. La posibilidad de poder generar ortomosaicos georreferenciados, la unión de las fotografías se mencionó anteriormente es indispensable para la superposición digital de las parcelas a evaluar, seguido luego del análisis y conteo digital una última variable llamada, usabilidad de los datos, determinada en este punto por el responsable del ensayo a campo y gestor de los datos. En la imagen adjunta también se detalla el diseño del dashboard/Tablero, donde se puede geolocalizar los ensayos volados, Cantidad total de vuelos, la distribución en lo que respecta a si el vuelo

estaba destinado al conteo de plantas, o otras variables a capturar en este punto en fase de descubrimiento, primeras validaciones.

Con esta información de trazabilidad, se definieron planes de distribución de los equipos (variable limitante en este punto, 12 pilotos, 5 VANTs), también sirvió para poder hacer planificaciones previas a las campañas siguientes.

Cabe destacar, por ejemplo, a partir de esto no solo se puede obtener el número final de plantas por parcelas, sino que el procedimiento permite identificar, datos que de manera “manual” costarían demasiado tiempo y dinero, y aun así no disponer de muestras representativas, como, por ejemplo:

- **Emergencia (%)**
- **Cobertura por surco (%) Desvío Standard,**
- **Espaciamiento entre plantas**
- **Cobertura de Canopeo (%)**
- **Cobertura de Malezas**
- **Estimación de salteo (%), Numero de Gaps, Numero de Gaps con más de 2 plantas NO emergida, Sumatoria de todos los Gaps, Estimado de multiplex, o plantas dobles (%).**

3.6 Encuesta:

Luego del despliegue durante 2022-2023, al estar finalizando la fase dos, se realizó una encuesta al Equipo de operaciones responsable por la generación/captura de datos a campo, **25** personas en total, para obtener feedback y su punto de vista respecto a la introducción y uso de VANTs para la realización de una tarea históricamente desempeñada por personas manualmente. La encuesta completa consta de 22 preguntas a través del programa Microsoft Forms, donde se mantuvo a los encuestados como anónimos, ya que al tratarse a información de sobre confortabilidad y desempeño, no puede ser relacionado directamente con las personas. El grupo de personas encuestadas fueron los 12 responsables de conducción de ensayos experimentales, Ingenieros agrónomos o técnicos agropecuarios y 13 personas relacionadas con la manipulación y uso de datos generados sumado a los managers de esos equipos. La encuesta contaba con las ultimas 4 preguntas solo relacionada a los Pilotos de drones y

usuarios de la tecnología a campo principalmente para poder corregir y mejorar la estrategia de implementación basado en sus experiencias y percepciones ligadas al uso directo de VANTs.

3.7 Análisis Financiero

Con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la adopción de VANTs a gran escala en la operación de producción de maíz, se llevó a cabo un análisis financiero exhaustivo con expertos en la materia, dentro de otro departamento de la misma empresa. Este análisis se centró en comparar los costos asociados con la metodología tradicional de conteo de plantas con los costos proyectados para la implementación de la tecnología de drones.

Para llevar a cabo este análisis, se recopilaron datos detallados de costos y se proyectaron escenarios futuros. Se consideraron diversos factores clave, incluyendo:

Costos de la metodología tradicional:

Se realizó un análisis exhaustivo de los costos asociados con la mano de obra necesaria para el conteo manual de plantas en las parcelas de ensayo.

Se estimó el tiempo y los recursos dedicados a la supervisión y gestión de los equipos de campo que realizan el conteo manual.

Se consideró la posibilidad de errores y la variabilidad inherente al conteo manual, y cómo estos podrían afectar los costos a largo plazo.

Costos de la metodología con VANTs:

Se investigó y se obtuvieron cotizaciones para la adquisición y el mantenimiento de los drones necesarios para cubrir la operación a gran escala.

Se estimaron los costos de capacitación y certificación de los pilotos de drones, asegurando el cumplimiento de las regulaciones y la operación segura de los equipos.

Se evaluaron los costos de software y hardware para el procesamiento de imágenes capturadas por los drones y el análisis de los datos agronómicos.

Se proyectó la necesidad de personal adicional para la operación de los drones y el análisis de los datos, y se estimaron los costos salariales correspondientes.

Se investigaron y se incluyeron los costos de seguros para los drones, teniendo en cuenta las pólizas y coberturas necesarias.

Con esta información detallada, se construyó un modelo financiero para comparar los flujos de caja proyectados de ambas metodologías a lo largo de un período de tiempo determinado. Se utilizó una tasa de descuento que refleja el costo de oportunidad del capital para la empresa, permitiendo traer los flujos de caja futuros a un valor presente y comparable.

Además del análisis principal, se planificó un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de posibles variaciones en los supuestos clave. Este análisis permitirá identificar los factores que más podrían influir en la rentabilidad del proyecto y proporcionará información valiosa para la toma de decisiones.

En resumen, el análisis financiero se diseñó para proporcionar una evaluación cuantitativa y objetiva de la viabilidad económica de la adopción de VANTs en la producción de maíz. Los resultados de este análisis, que se presentarán en un capítulo separado, serán fundamentales para determinar si la inversión en tecnología de drones es una decisión financiera sólida y estratégica para la empresa.

Los datos recopilados durante las fases de prueba e implementación, así como las proyecciones de costos futuros, alimentan el modelo financiero y permiten cuantificar el impacto económico de la tecnología.

4. Resultados

En la Tabla 1, se pueden ver los valores de correlación que se encontró en General Villegas y Pergamino, entre el conteo de plantas a través de VANTs y la Metodología Tradicional, arrojando valores de **0.852** y **0.968** respectivamente (Figura 6, Tabla 1) durante la fase 1 del proyecto.

Tabla 1. Coeficiente de Correlación (CC) para las dos localidades ensayadas.

Localidad	Tipo de Ensayo	CC (Humano vs Conteo UAS)	CC (Humano vs semillas implantadas)	CC (UAS vs semillas implantadas)
Pergamino	Micro Parcelas	0.968*	0.960*	0.988*
General Villegas	Micro Parcelas	0.852*	0.836*	0.956*
Trenque Lauquen	Franja	0.956*	0.972*	0.975*

Representan *: p-valor < 0.001

Sabiendo que el conteo humano también posee errores, algunas fuentes de estos errores comunes en las evaluaciones realizadas por personas son, variabilidad y capacidades intrínsecas de cada individuo, preferencia inconsciente de cada evaluador por determinados valores, estructura de planta y diferencias en su tamaño, tiempo tomado para realizar la evaluación, daltonismo (Bock et al. 2010), también considerando la siguiente etapa del proyecto, donde no sería factible realizar un doble chequeo (duplicando esfuerzos, humano + VANTs). Se procedió a realizar una comparación entre la cantidad de semillas implantadas por la maquinaria, dato disponible y determinado por los sensores en los tubos de bajadas de la sembradora, afectándose ese número por el valor de Poder Germinativo (PG) promedio obtenido en laboratorio. Si bien no se trata del número final de plantas emergidas, es una aproximación más cercana a la realidad.

Los valores de correlación encontrados fueron de **0.960** y **0.836** (Figura 7, Tabla 1) para el conteo tradicional en Pergamino y General Villegas respectivamente. Para el conteo a través de VANTs los valores fueron menos variables, y más certeros **0.988** y **0.956** (Figura 8, Tabla 1).

También fue importante determinar la correlación entre ambas metodologías, es decir conteo Humano versus Conteo a través de VANTs (Figura 9). En ambas localidades de Pergamino y General Villegas, encontrando una Correlación de $0.89 r^2$.

Para los ensayos de franjas los valores de correlación entre la densidad de plantas contadas mediante el método tradicional y VANTs fue de **0.956**. Cuando comparamos con el Conteo de semillas plantadas afectadas por PG, la correlación fue de **0.972** conteo tradicional y **0.975** conteo a través de VANTs (Figura 10, Tabla 1).

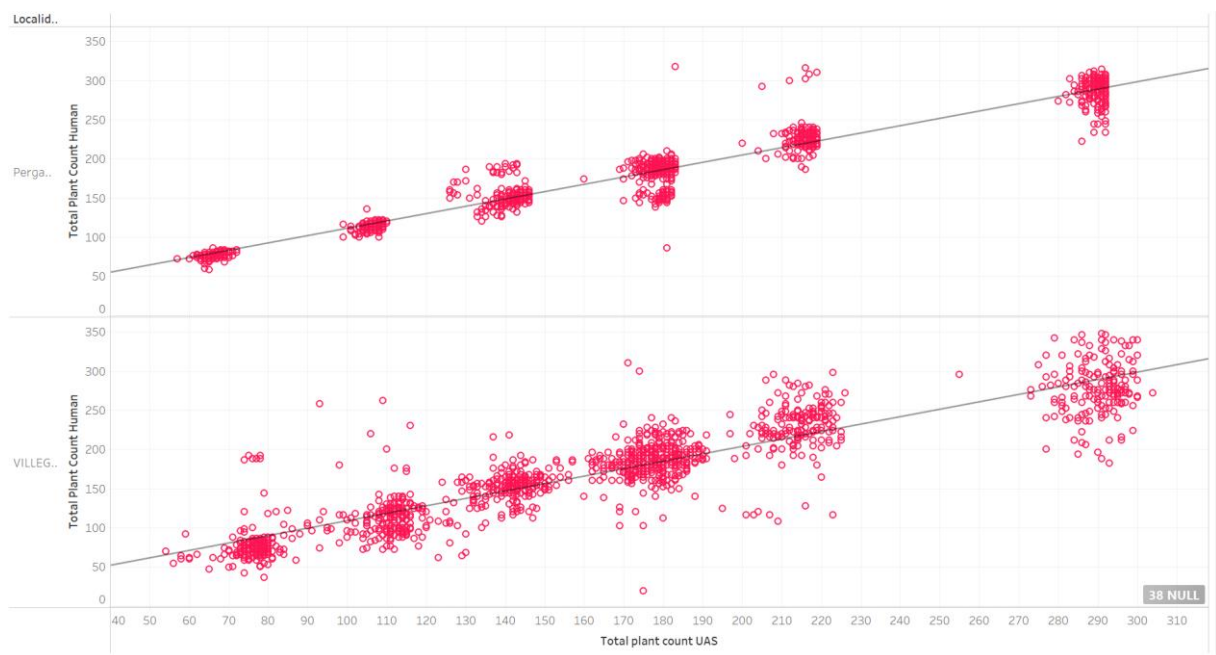


Figura 6. Grafica de análisis regresión lineal entre el conteo de plantas de maíz en las parcelas ($17.88m^2$) por el método tradicional humano y conteo a través de UAS para las localidades de Pergamino (a) y General Villegas (b).

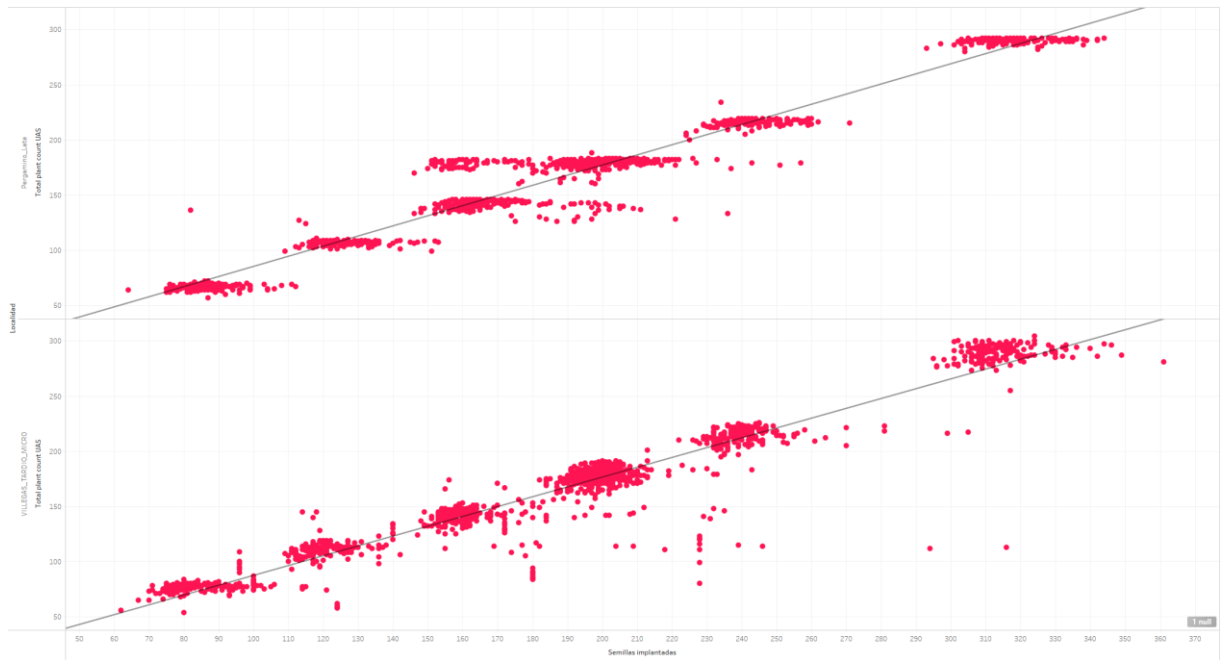


Figura 7. Grafica de análisis regresión lineal entre el conteo de plantas de maíz en micro parcelas (17.88 m²) por el método tradicional humano y conteo de semillas implantadas afectadas por PG, en las localidades de Pergamino (a) y General Villegas (b).

Correlación entre ambas metodologías 0.89r² (VANTs/Humano)



Figura 8. Grafica de análisis regresión lineal entre el conteo de plantas de maíz en micro parcelas (17.88m²) por el método VANTs y el conteo de semillas implantadas afectadas por PG, en las localidades de Pergamino (a) y General Villegas (b).



Figura 9. Grafica de análisis regresión lineal entre el conteo de plantas de maíz en micro parcelas (17.88m²) por el método VANTs y el conteo de humano, en ambas localidades de Pergamino y General Villegas. Correlación de 0.89 r².

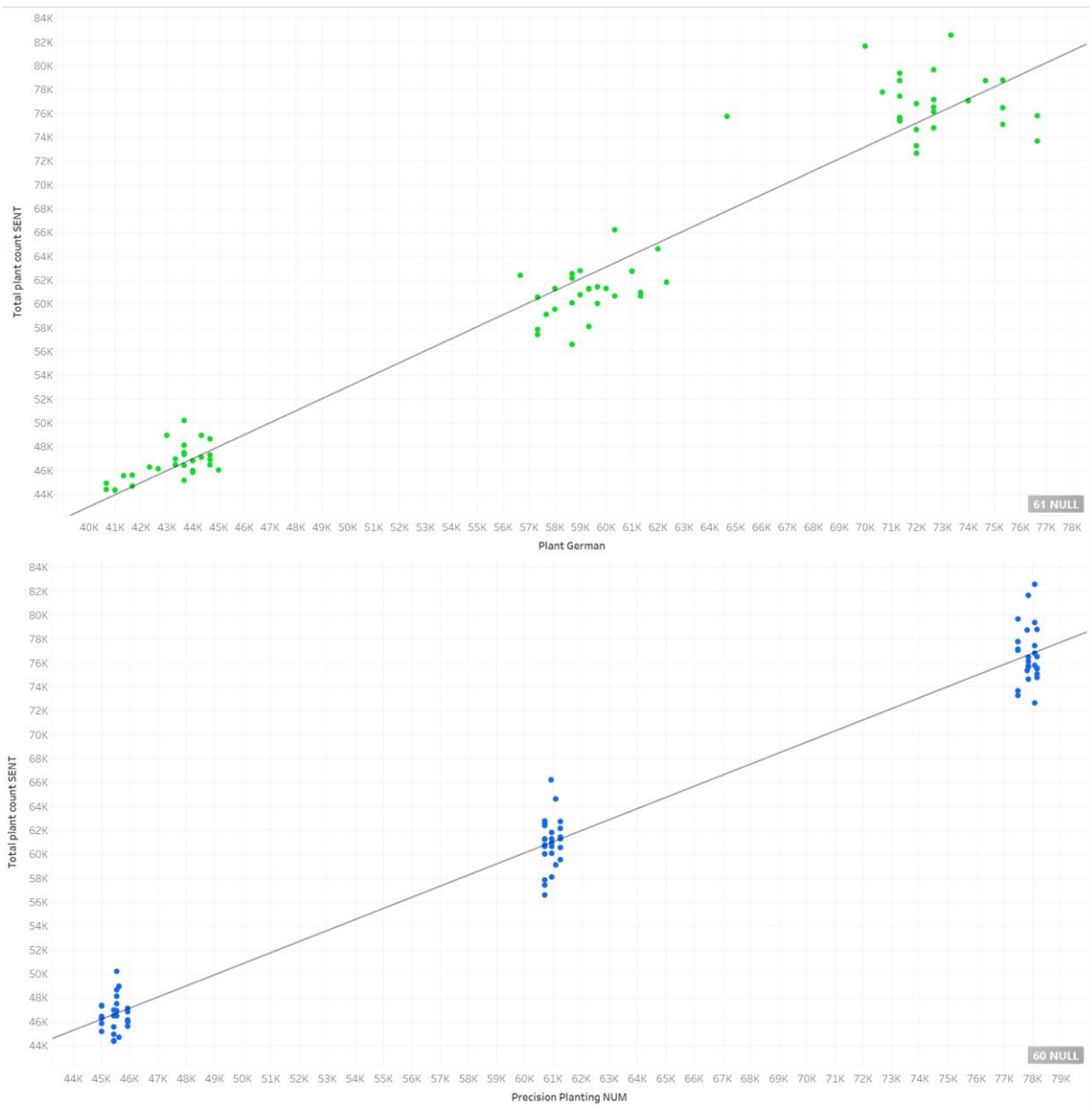


Figura 10. Grafica de análisis regresión lineal para el conteo de plantas de maíz en ensayo de franjas a través de VANTs (a) y Conteo Tradicional Humano (b) vs las semillas implantadas.

La Figura 11 muestra la diferencia clara en lo que respecta a “cantidad” de datos y superficie relevada por un VANT vs Tradicional. Sumando también que el tiempo a campo, se disminuye drásticamente.

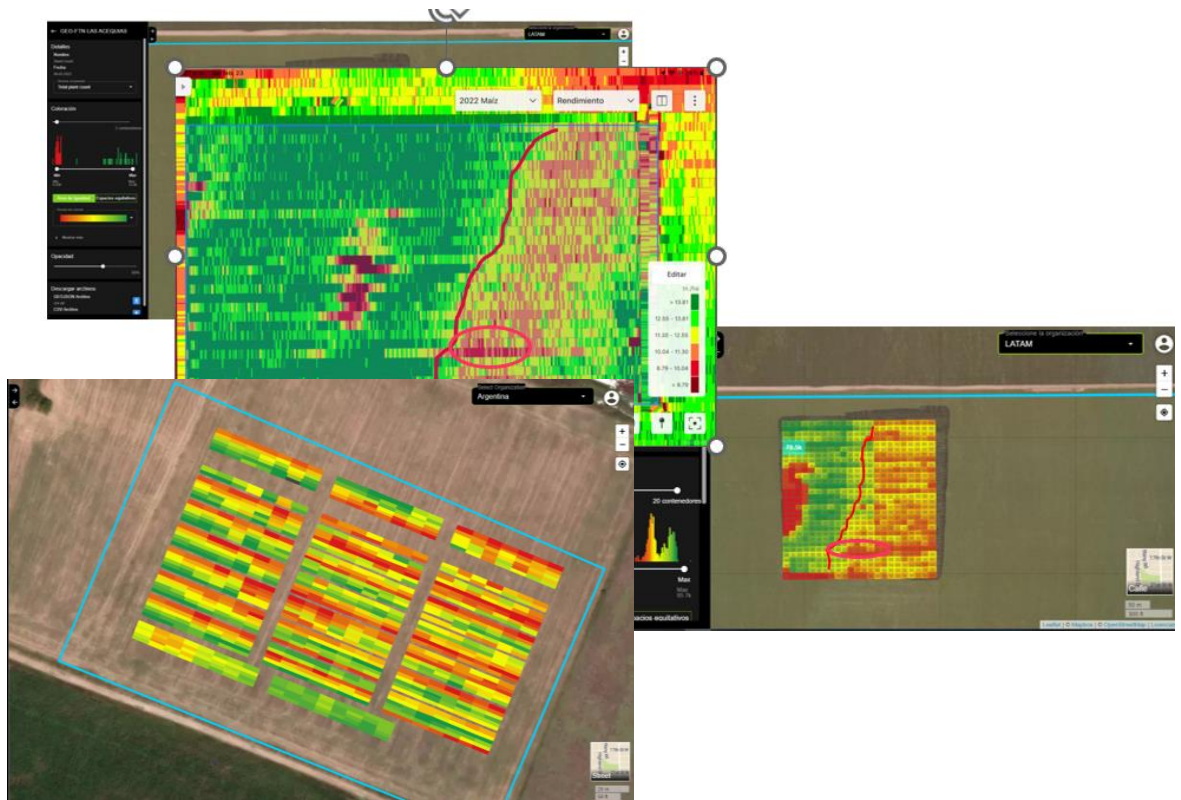


Figura 11. Visualización grafica de los conteos de plantas y otras variables por parcelas en diferente tipo de ensayos de microparcels a través de VANTs. Facilitando la detección de patrones a campo, al tratarse de imágenes georreferenciadas.

Evaluación de los vuelos realizados: FASE 2

En el segundo año del análisis, donde el número de vuelos aumentó considerablemente, se incluyeron 17,450 microparcels de 17.88 m² cada una.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (Anexo IV) para evaluar si las diferentes densidades implantadas (4, 6, 8, 10, 12, 16 pl/m²) mostraban diferencias estadísticamente significativas para cada método. Este análisis es crucial, ya que permite determinar si el nuevo método propuesto podría comprometer la precisión de la metodología tradicional empleada hasta el momento, el objetivo principal es poder capturar correctamente estas 6 densidades para poder construir la curva de densidades y respuesta a rendimiento.

En cuanto al conteo manual, se disponen de 3,372 datos provenientes de micro parcelas de 17.88 m². Por cuestiones operativas, de costos y eficiencia, en esta etapa no se realizaron comparativas superpuestas de localidades, es decir con Conteo Humano y VANTs. Para ambas metodologías, En la Tabla 2 se calculó el Error Cuadrático Medio (RMSE), obteniendo un valor de 17 para el conteo manual y 20 para el realizado por VANTs. Los coeficientes de variación fueron 11.12%

y 13.75%, respectivamente, mientras que los valores de R^2 fueron de 0.93 para el conteo manual y 0.89 para los VANTs.

Tabla 2. Indicadores estadísticos de ajuste (RMSE, CV y R^2) para la comparación entre el método tradicional de conteo manual y el método basado en VANTs.

	Metodo Tradicional – Conteo Manual	Metodo VANTs
RMSE	17	20
CV (%)	11.12	13.75
R^2	0.93	0.89

A pesar de que los datos no provienen necesariamente de las mismas parcelas, la comparación entre métodos (Figura 12) permite observar que el conteo con VANTs reproduce la tendencia general esperada al aumentar la densidad de siembra. Aunque las medias del método automatizado tienden a ser levemente inferiores al conteo manual, muestran una variabilidad aceptable y una adecuada separación entre niveles de densidad, lo que respalda su confiabilidad como herramienta de monitoreo y estandarización en ensayos de alta escala. Cabe destacar que la variabilidad observada para la densidad mayor (16 pl/m²) es elevada. Este punto será discutido en la siguiente sección.

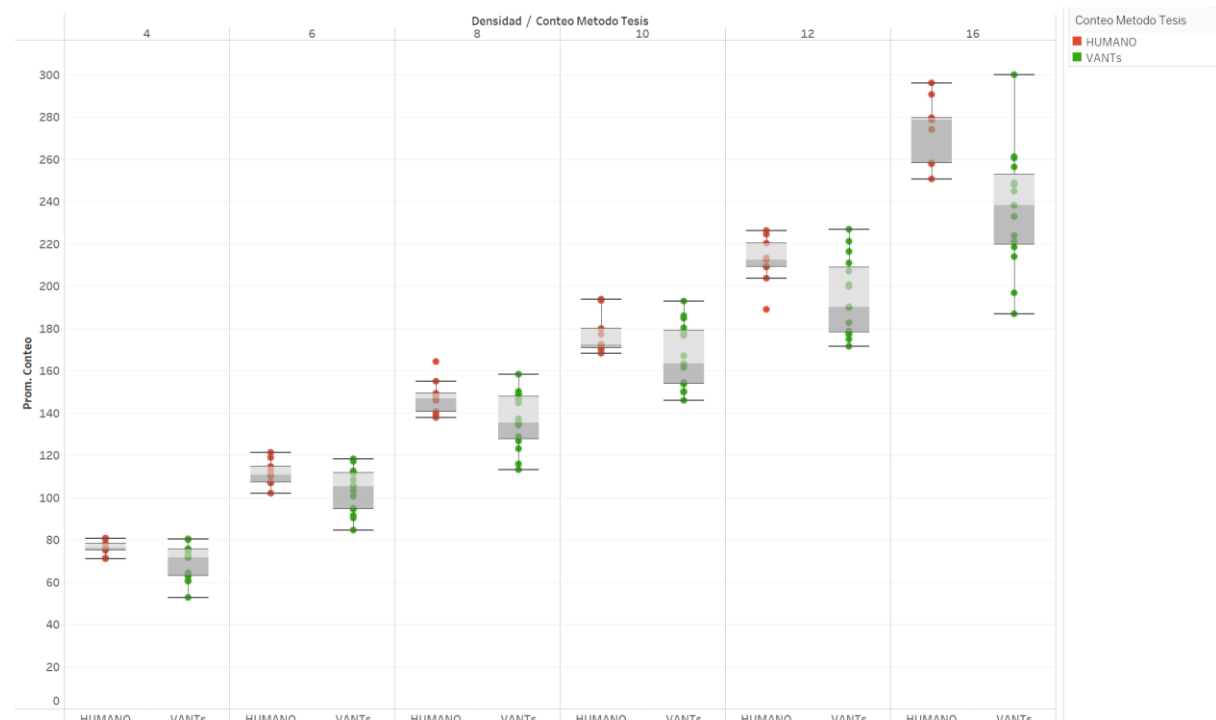


Figura 12. Comparación del conteo de plantas por método (humano y VANTs) en seis densidades objetivo. Ambos métodos siguen la misma tendencia, con el conteo por VANTs mostrando buena consistencia y capacidad de diferenciación entre densidades.

En la Figura 13, se observa la correlación lineal entre el conteo manual y las semillas implantadas. A simple vista, se destacan los típicos errores asociados al conteo manual, especialmente en cuanto a la ubicación dentro de los ensayos. La dispersión de los valores aumenta a medida que las densidades implantadas se incrementan, como era de esperar, siendo la densidad de 16 pl/m² la que presenta mayor dispersión. Este punto se exagera incluso más para la metodología con VANTs, que discutiremos en el siguiente capítulo.

En la Figura 14 podemos observar la regresión lineal para el conteo de planta de maíz en los ensayos de micro parcelas a través de las imágenes obtenidas a través de VANTs versus las semillas implantadas por las sembradoras.

La metodología VANTs fue probada en múltiples localidades y condiciones (Figura 15), eso es evidencia fuerte de robustez, incluso más importante que replicar al humano con precisión milimétrica.

La misma, mantiene una relación clara con las diferentes densidades, lo que demuestra que detecta correctamente los cambios de estructura en el campo manteniendo la capacidad de distinguir los distintos niveles de densidad de manera consistente. Esta respuesta ha sido validada en múltiples localidades y tipos de cobertura, demostrando su robustez, escalabilidad y menor costo operativo.

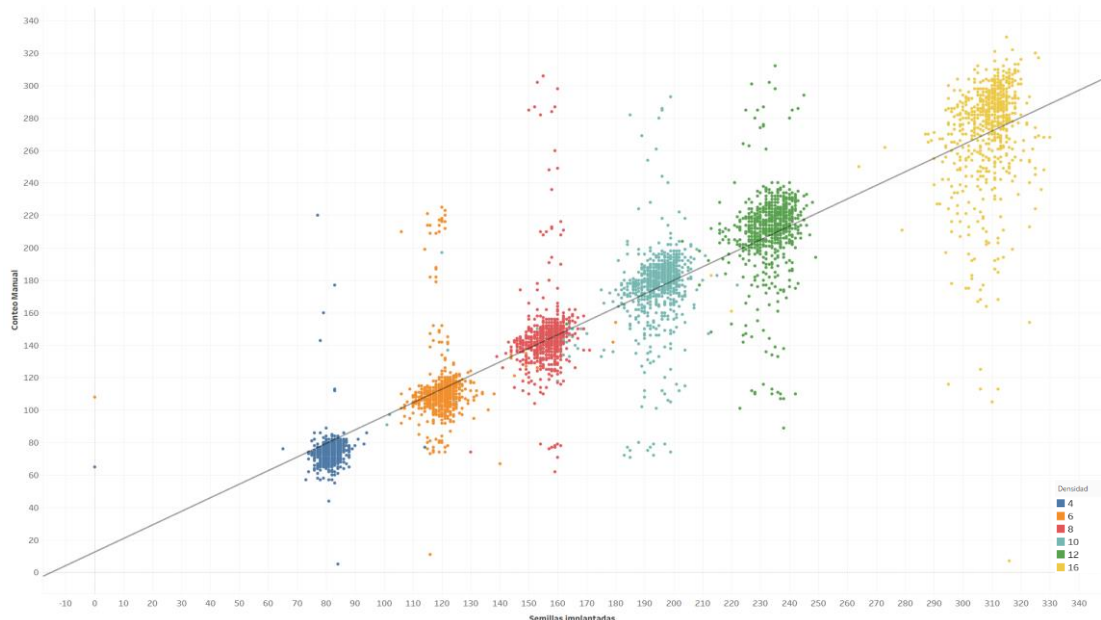


Figura 13. Gráfica de análisis de regresión lineal para el conteo de plantas de maíz en ensayos de microparcels con metodología Humano vs Semillas implantadas.

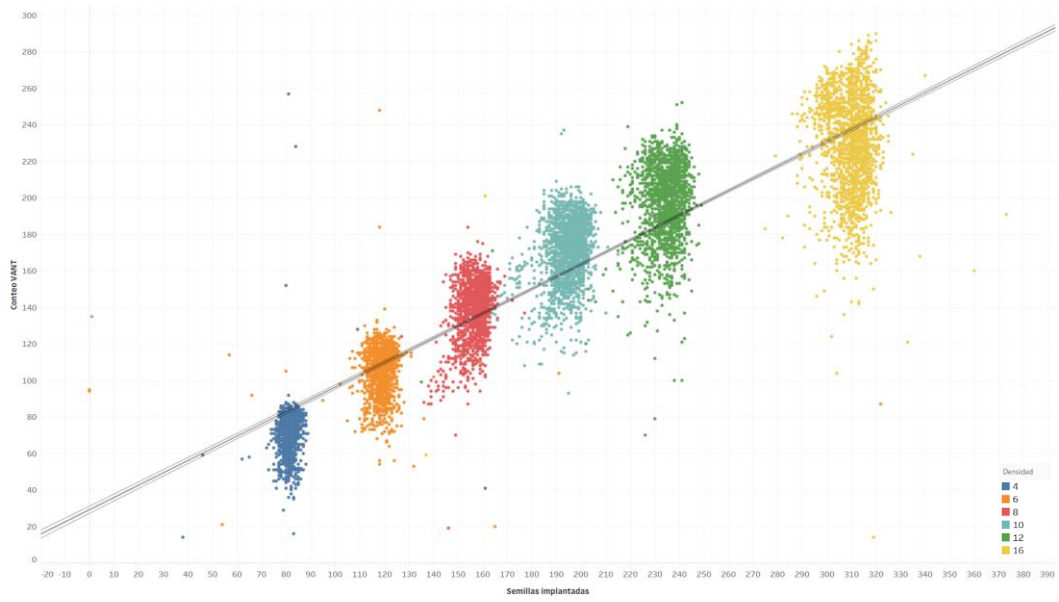


Figura 14. Grafica de análisis de regresión lineal para el conteo de plantas de maíz en ensayos de microparcelas a través de VANTs vs Semillas implantadas.

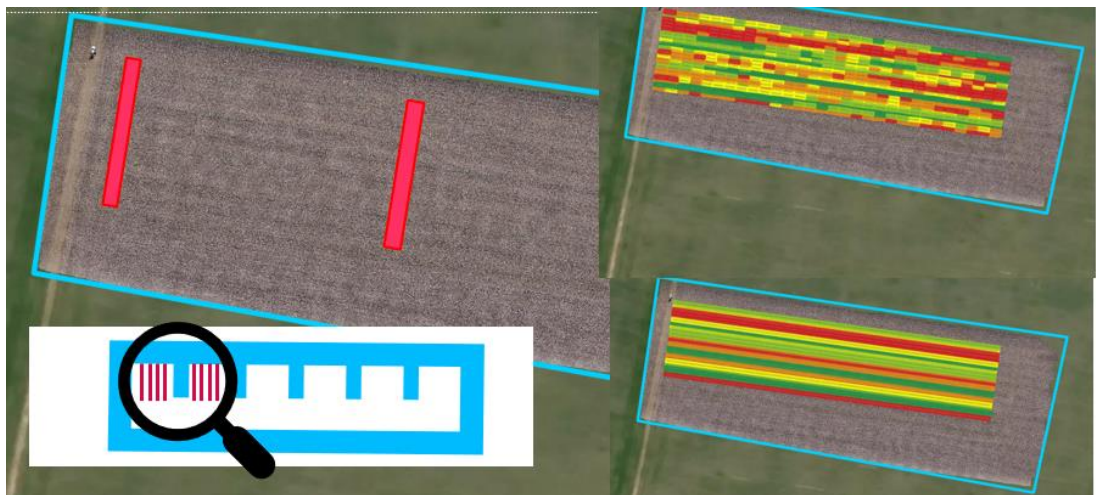


Figura 15. Visualización y comparación grafica de los conteos de plantas manuales en ensayos de franjas (con submuestras) versus conteo total del ensayo a través de VANTs. Facilitando la detección de patrones a campo y cubriendo la totalidad de superficie del ensayo.

4.1 Análisis Financiero:

El análisis financiero reveló que la implementación de VANTs en la operación de producción de maíz presenta un panorama económico favorable y potencialmente rentable. Se proyecta un Valor Presente Neto (VPN) de USD 71,245.49, lo que indica que los beneficios económicos futuros de la inversión superan los costos iniciales y operativos, descontados a su valor actual. La Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada es del 53.7%, un valor significativamente alto que sugiere una atractiva rentabilidad para el proyecto. Además, se proyecta que el período de recuperación de la inversión (payback period) se alcanzará en el año 2024 (Figura 16), lo que implica que la inversión inicial se recuperará en un plazo relativamente corto. Estos resultados sugieren que la adopción de VANTs a gran escala no solo es viable desde una perspectiva operativa y agronómica, sino que también representa una oportunidad de mejora económica sustancial para la empresa.

Los mayores ahorros provienen de la reducción de los costos de insumos y evaluaciones, siendo la estandarización de costos en diferentes países uno de los aspectos más destacados, ya que simplifica la operación y permite una gestión más eficiente. La reducción estimada en costos al usar VANTs es de aproximadamente un 30% por vuelo, lo que optimiza aún más la rentabilidad del proyecto. Además, al utilizar VANTs, se genera una gran cantidad de datos adicionales y la estandarización de los descartes, lo que mejora la toma de decisiones y unifica criterios a lo largo de la operación.

Es importante destacar que este modelo se ajusta a diferentes mercados y regiones, lo que permite la unificación de criterios y costos estandarizados. En cuanto a la formación de los operadores de VANTs, el costo por curso piloto es de aproximadamente 136 USD al año (con una duración de tres años), luego requiere una renovación anual de 40 USD. Este modelo de costos, combinado con la reducción de gastos operativos, mejora la competitividad y eficiencia general de la empresa.

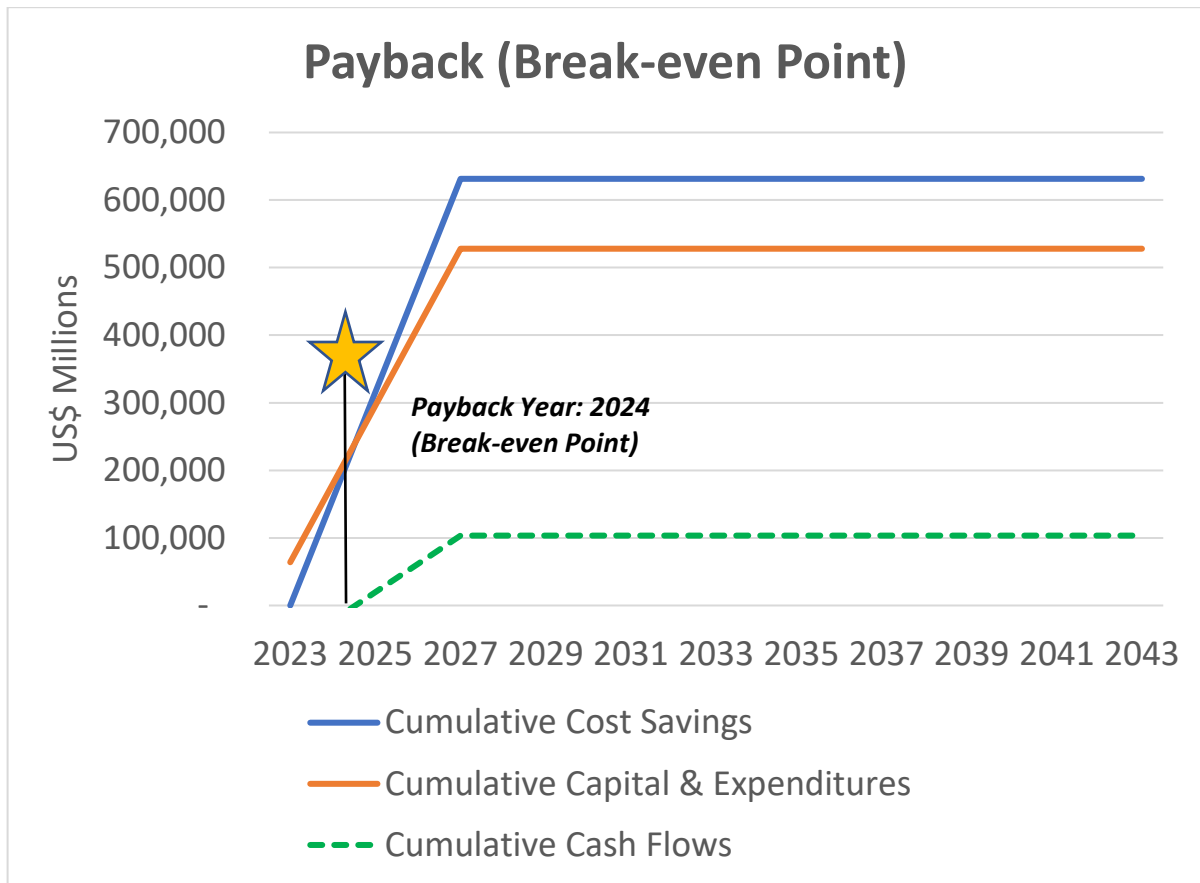


Figura 16. Proyección sobre el período de recuperación de la inversión (payback period) se alcanzará en el año 2024.

4.2 Resultados de las encuestas a usuarios:

Se realizó una encuesta a 25 usuarios, con un tiempo promedio de respuesta de 13 minutos y 20 segundos. Es importante señalar que los resultados aquí presentados se basan exclusivamente en la muestra analizada, correspondiente a un grupo específico de usuarios que implementaron el uso de VANTs. Por lo tanto, los hallazgos no deben interpretarse como representativos de la totalidad del sector agropecuario, sino únicamente en el marco de este caso particular.

A continuación, se presentan los resultados más relevantes:

4.2.1 Utilidad de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs)

La mayoría de los encuestados considera que el uso de VANTs para la captura de datos a campo es muy útil, con una puntuación promedio de **9/10**. Esta alta valoración refleja el potencial de los VANTs como herramienta para mejorar la recopilación de datos en el ámbito agrícola.

4.2.2 Valoración de la Estandarización de la Captura de Datos

El valor de estandarizar la captura de datos también fue muy apreciado, con una calificación promedio de **9.72/10**, indicando un fuerte consenso sobre la necesidad de establecer un proceso uniforme en la captura de información a campo.

4.2.3 Restricciones Climáticas y del Estado del Cultivo

En cuanto a las restricciones asociadas al uso de VANTs debido a condiciones climáticas y el estado del cultivo, los encuestados dieron una calificación promedio de **6.36/10**, sugiriendo que, si bien hay ciertas limitaciones, estas no son vistas como un impedimento crítico para la implementación generalizada de la tecnología.

4.2.4 Eficiencia en la Operación Diaria

La eficiencia de los VANTs en la operación diaria fue evaluada con una puntuación de **7.68/10**, lo que indica que, aunque los usuarios perciben una mejora, todavía existen áreas de oportunidad para optimizar su rendimiento en tareas cotidianas.

4.2.5 Confiabilidad de los Datos Capturados

La confiabilidad de los datos capturados por los VANTs obtuvo una alta calificación de **8.72/10**, sugiriendo que los usuarios consideran que la tecnología es precisa y confiable para la recolección de datos en campo.

4.2.6 Dificultad de Incorporación Regulatoria y Legal

En cuanto a la dificultad de incorporar esta tecnología desde un punto de vista regulatorio y legal, los encuestados dieron una puntuación de **6.36/10**, lo que indica que, aunque algunos desafíos existen, no son percibidos como barreras insuperables.

4.2.7 Preparación del Productor para Adoptar Nuevas Tecnologías

Los usuarios fueron más cautelosos en cuanto a la preparación de los productores para adoptar nuevas metodologías, con una puntuación promedio de **4.44/10**, lo que sugiere que se percibe que aún falta una mayor preparación y disposición para adoptar el uso de VANTs en la práctica agrícola.

4.2.8 Satisfacción con el Progreso y Resultados Obtenidos

La satisfacción general con el progreso y los resultados obtenidos hasta el momento fue evaluada con un puntaje promedio de 8.68 sobre 10, indicando un alto grado de conformidad por parte de los usuarios. Este valor sugiere que la mayoría de los encuestados considera que los avances en la implementación de los VANTs han sido positivos y satisfactorios.

4.2.9 Preparación de la Organización para la Incorporación de Nuevas Capas de Información

La preparación de la organización para incorporar nuevas capas de información, particularmente en lo que respecta al análisis y uso de datos, obtuvo una calificación promedio de 7.88 sobre 10. Esto sugiere que los encuestados consideran que su organización está razonablemente preparada, pero todavía hay margen para mejorar en términos de infraestructura, capacitación o adopción de nuevas tecnologías.

4.2.10 Grado de Satisfacción con los Resultados Obtenidos

Los encuestados se mostraron en su mayoría satisfechos con los progresos y resultados obtenidos hasta el momento, con una calificación de **8.68/10**, lo que refleja una apreciación positiva sobre los avances alcanzados.

4.2.11 Impacto de la Incorporación de VANTs

El impacto de incorporar los VANTs a las operaciones fue calificado con un promedio de **8.60/10**, indicando que los usuarios ven la adopción de esta tecnología como una mejora significativa en la operación.

4.2.12 Seguridad en la Captura de Datos

En cuanto a la seguridad de capturar datos en campo a través de VANTs, los encuestados otorgaron una calificación de **8.68/10**, sugiriendo que consideran esta tecnología como una alternativa segura y confiable para la recolección de información.

4.2.13 Transferencia de Información

La efectividad de la transferencia de información dentro y fuera de la compañía fue calificada con **7.40/10**, lo que indica que, aunque se considera efectiva, aún existen áreas de mejora en la comunicación y distribución de los datos obtenidos.

4.2.14 Optimismo sobre el Futuro de los VANTs

Los encuestados se mostraron optimistas sobre el futuro de los VANTs en la agricultura, con una puntuación promedio de **8.08/10**, reflejando una actitud positiva hacia el crecimiento y expansión de esta tecnología en el sector.

4.2.15 Facilidad de Uso de la Tecnología

Finalmente, la facilidad de uso de la tecnología fue calificada con **7.20/10**, sugiriendo que si bien los usuarios encuentran la tecnología relativamente fácil de manejar, aún existen ciertos aspectos que podrían mejorarse para facilitar su adopción masiva.

4.2.16 Soporte Técnico para Superar Inconvenientes Técnicos

El **100%** de los encuestados consideró que tuvo soporte técnico suficiente para sortear inconvenientes técnicos durante el uso de los VANTs. Este resultado refleja una satisfacción total con la disponibilidad y calidad del soporte recibido, lo cual es fundamental para garantizar una operación fluida y exitosa.

4.2.17 Suficiencia de los Contenidos del Curso Piloto VANTs

En cuanto a la suficiencia de los contenidos del curso piloto de VANTs, la respuesta estuvo dividida. El 50% de los encuestados consideró que los contenidos del curso eran adecuados para poder realizar sus tareas a campo, mientras que el otro 50% consideró que no lo eran. Este dato sugiere que, si bien la mitad de los participantes encontró el curso suficiente, la otra mitad percibe la necesidad de mejorar o ampliar los contenidos para cubrir mejor sus necesidades operativas.

4.2.18 Conocimiento del Estado de Desarrollo e Implementación de la Tecnología dentro de la Organización

Sobre el conocimiento del estado de desarrollo e implementación de la tecnología de VANTs en la organización, el 40% de los encuestados indicó que conocen el estado de desarrollo, mientras que el 60% manifestó que les gustaría saber más sobre el tema. Este resultado indica que existe un interés y necesidad de una mayor difusión sobre el estado de la implementación de la tecnología dentro de la organización.

4.2.19 Costo-Eficacia del Uso de VANTs en las Tareas

En cuanto a la percepción de la costo-eficacia del uso de VANTs en las tareas, los resultados mostraron que la mayoría de los encuestados considera que el uso de VANTs es altamente rentable. Un **28%** calificó la costo-eficacia como excelente, un **48%** como buena, y un **20%** como regular. No se reportaron respuestas de "**mala**". Estos resultados indican que, en su mayoría, los usuarios consideran que los beneficios en términos de costos son positivos.

4.2.20 Percepción asociada a los VANTs: análisis de palabras clave

Con el objetivo de explorar las percepciones asociadas a los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), se preguntó a los participantes: “¿Cuáles son las tres palabras que relaciona cuando piensa en VANTs?”. Un total de 21 respuestas fueron recolectadas. Para visualizar la frecuencia y variedad de términos, se construyó una nube de palabras (Figura 17), en la cual el tamaño de cada palabra refleja la cantidad de veces que fue mencionada.

La palabra “**Tecnología**” fue la más mencionada (14% de las respuestas), seguida por términos como “**digitalización**”, “**eficiencia**”, “**trazabilidad**” y “**estandarización**”. Estas respuestas sugieren que los participantes vinculan los VANTs principalmente con el avance tecnológico y el soporte a la eficiencia operativa y la planificación.

Además, se observan términos como “**seguridad**”, “**precisión**”, “**oportunidad**”, y “**rapidez**”, lo que indica una valoración positiva del potencial de los VANTs en contextos agrícolas o industriales.

Este tipo de análisis cualitativo permite identificar no solo los aspectos técnicos que más se destacan, sino también ciertas expectativas que los usuarios tienen respecto al desempeño de estas tecnologías emergentes. La presencia de palabras como “**subjetivo**” o “**mayor planificación**” puede ser interpretada como un reconocimiento de los desafíos en su implementación y en la toma de decisiones basada en datos.



Figura 17. Nube de palabras generada automáticamente por el programa Microsoft Forms 2021. El tamaño y la posición indican la frecuencia con la que se mencionaron. Localizando en el centro y mas grande las palabras mencionadas por los usuarios.

4.2.21 Actividades deseadas con drones: nuevas oportunidades en el flujo de trabajo

A través de la pregunta “¿Qué actividad/evaluación le gustaría adicionar al flujo de trabajo con Drones?”, se obtuvieron 18 respuestas (Figura 18). La nube de palabras resultante permite identificar los temas más recurrentes. Entre las actividades más mencionadas se destacan:

- “**Vuelco/quebrado**” (22% de respuestas), indicando un fuerte interés por el monitoreo del daño mecánico o estructural de los cultivos, posiblemente asociado a eventos climáticos extremos o problemas de arquitectura vegetal.
- “**Enfermedades**” y “**estrés nutricional o climático**”, reflejando el deseo de ampliar el uso de los drones hacia diagnósticos fitosanitarios más precisos.
- Otras actividades mencionadas incluyen “**siembra**”, “**aplicaciones variables**”, “**fertilización**”, “**NDVI**” y “**evaluación de cobertura**”, lo cual sugiere una tendencia hacia la integración de herramientas de agricultura de precisión y análisis multiespectral.

Estos resultados revelan una clara demanda por ampliar el uso de drones hacia tareas de diagnóstico agronómico detallado, con foco en salud del cultivo, variabilidad intra-lote y eficiencia en la toma de decisiones.



Figura 18. Nube de palabras generada automáticamente por el programa Microsoft Forms 2021. Localizando en el centro y más grande las palabras mencionadas por los usuarios relacionadas a nuevas oportunidades con mayor frecuencia.

4.2.22 Principales contratiempos para usuarios actuales de drones

A la pregunta dirigida exclusivamente a usuarios activos (“¿Cuáles fueron sus principales contratiempos?”), se recibieron 10 respuestas (Figura 19). El término más mencionado fue “**disponibilidad**” (40%), lo que se puede interpretar como una limitación tanto

La herramienta es especialmente valiosa para los líderes de equipo y de zonas, ya que les permite monitorear el progreso en tiempo real y realizar un análisis inmediato del porcentaje de éxito de las operaciones. En caso de que alguna toma de datos no haya sido exitosa, los responsables pueden tomar decisiones informadas para redirigir esfuerzos y recursos a áreas que lo requieran, asegurando una mayor eficiencia operativa. Además, el dashboard facilita la toma de decisiones estratégicas, permitiendo ajustar rápidamente las tácticas y optimizar el uso de los VANTs (vehículos aéreos no tripulados) para maximizar los resultados de la campaña.

En resumen, esta herramienta no solo actúa como un mecanismo de control y evaluación, sino también como un soporte para la mejora continua, contribuyendo a la efectividad y precisión de las actividades de monitoreo y recolección de datos en tiempo real.

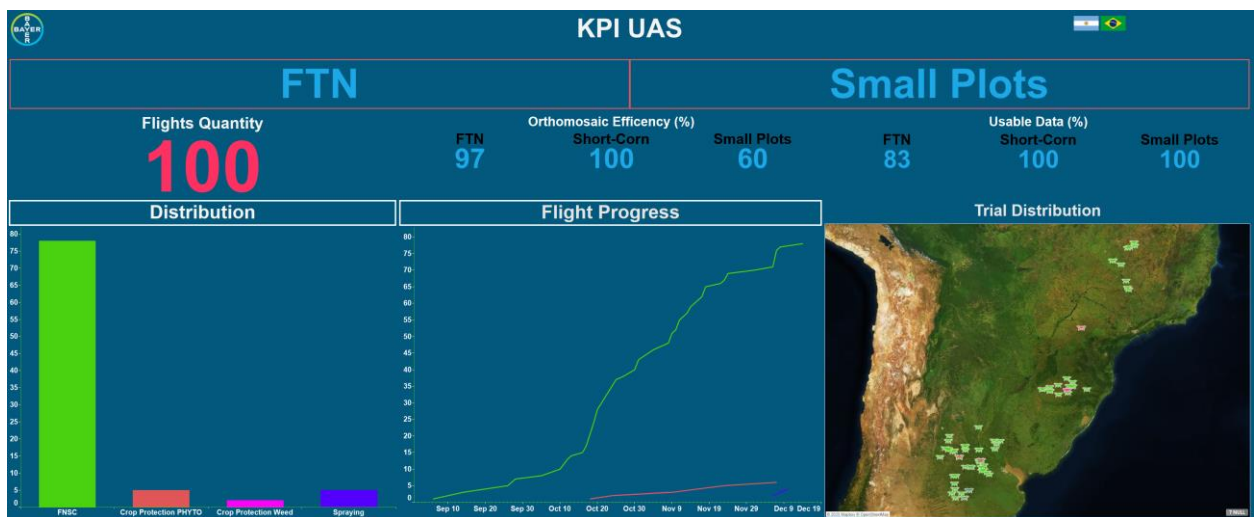


Figura 20. Dashboard KPI UAS. Seguimiento de actividades realizadas con VANTs y estado de resultados en tiempo real.

5.0 Discusión:

Antes de analizar los resultados, conviene precisar que el objetivo de este estudio no es realizar una comparación uno a uno —parcela manual versus parcela dron— debido tanto al altísimo costo como a la complejidad logística que ello conlleva en ensayos masivos. Más bien, buscamos asegurar la robustez y la fiabilidad de los datos que alimentan el sistema de análisis, garantizando la consistencia de las tendencias y la separación entre niveles de densidad. De esta manera, el método con VANTs no pretende emular al 100 % la medición humana parcela a parcela, sino proporcionar mayor escalabilidad y seguridad sobre los valores finales.

Los resultados de este proyecto demuestran cómo los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) pueden revolucionar la eficiencia operativa en la recolección de datos agrícolas, marcando un antes y un después en comparación con los métodos tradicionales. Una de las ventajas más evidentes es la reducción significativa del tiempo necesario para monitorear grandes superficies, lo que optimiza tanto los recursos humanos como económicos. Sin embargo, es importante destacar que la digitalización del campo no se limita únicamente a la toma de imágenes aéreas; el éxito de este proceso depende también de la planificación minuciosa de los vuelos y la preparación técnica previa, lo que exige un nivel adecuado de conocimiento y experiencia por parte de los operadores.

La incorporación de VANTs mitiga varios factores limitantes inherentes al trabajo manual, como el cansancio físico, la falta de replicabilidad en las mediciones y los sesgos subjetivos o culturales que pueden afectar la calidad de los datos. En contraste, las imágenes de alta resolución espacial obtenidas mediante drones ofrecen un nivel superior de estandarización, trazabilidad y visualización de información, todos ellos, factores clave en la agricultura de precisión. Este enfoque no solo mantiene la calidad y consistencia de los datos recopilados, sino que también permite una toma de decisiones más informada, precisa y basada en evidencias. Una mención especial merece lugar para las densidades más altas, donde el estadio del cultivo se vuelve una limitante central para evitar subestimar la cantidad total de plantas. Por tanto, aunque no busca reemplazar al humano en precisión absoluta, el sistema automatizado se presenta como una alternativa válida, eficiente y práctica para el seguimiento de densidades en campo.

Un aspecto clave a resaltar es la mejora en la calidad de la comunicación interna respecto al estado de los ensayos. Las opciones de visualización ya no dependen de una simple foto tomada con el celular, limitada a la perspectiva de nuestra visión. Los VANTs abren un nuevo concepto

de monitoreo, incluso a nivel “visual”, mediante imágenes que ofrecen una perspectiva mucho más amplia y completa.

Si bien tecnologías emergentes, como los nanosatélites, podrían en el futuro simplificar aún más la captura de datos a campo, es importante considerar sus limitaciones inherentes. Estas alternativas dependen en gran medida de condiciones climáticas favorables, como la ausencia de nubosidad, lo que restringe su capacidad operativa en ciertas regiones y épocas del año. En este sentido, los VANTs presentan una ventaja competitiva significativa, ya que pueden operar a altitudes más bajas y adaptarse a ventanas de trabajo más oportunas, ofreciendo una solución práctica y eficiente para los desafíos actuales en la gestión agronómica.

No obstante, recordemos que el uso de VANTs en la agricultura no está exento de desafíos técnicos. Una de las principales limitaciones es su autonomía de vuelo, ya que las baterías actuales permiten tiempos operativos relativamente cortos, de entre 20 y 30 minutos, lo cual puede ser insuficiente para tareas de gran escala. Aunque se están desarrollando sistemas híbridos de baterías y técnicas avanzadas de control en enjambre para superar estas barreras, los costos asociados y los requisitos de mantenimiento siguen siendo factores críticos que deben considerarse en su implementación (Jeongeun et al., 2019).

Otro aspecto que considerar son las posibles fallas en las estimaciones de estadios fenológicos. Estas estimaciones pueden provenir tanto de la observación directa a campo como de métodos de modelado basados en la acumulación de grados-día desde la siembra. Sin embargo, su precisión se ve afectada por múltiples factores: la coexistencia de diferentes híbridos con velocidades de desarrollo/crecimientos variables, las condiciones hídricas desiguales que modifican el ritmo de crecimiento, así como la heterogeneidad en la fecha y uniformidad de siembra. Todo esto introduce un margen de error que dificulta establecer con exactitud el estadio fenológico del cultivo de maíz en un momento dado, lo que a su vez puede condicionar la interpretación de los resultados, condiciones climáticas adversas, ocasionan la ausencia total de información en un determinado sitio experimental. La metodología tradicional, aquí muestra una ventaja clara respecto al uso de VANTs.

ADOPCION Y ESTRATEGIA:

Tomando como base el modelo ADKAR, podemos afirmar que el punto inicial, los cambios usualmente son procesos complejos y dificultosos. Para simplificar este punto, es esencial tener

una visión clara y una solución efectivamente diseñada para el problema planteado, pero esto solamente no producirá un cambio exitoso por sí mismo. El éxito de cualquier cambio se encuentra en un punto más sencillo, que es identificar cual será la manera más fácil de proporcionar el cambio a una persona y entender como el cambio afectará a las personas (Hiatt, J. 2006).

La adopción de VANTs para captura de datos agronómicos a campo también respondió efectivamente al modelo ADKAR dentro de la organización, una de las diferencias o limitantes a mencionar es que no todos los grupos o personas son iguales, incluso las organizaciones son muy diferentes entre sí. Desde mi humilde punto de vista, a la hora de planificar o dimensionar cambios para el uso de tecnología, que afectara directa o indirectamente a los colaboradores, conectar con el Factor humano es esencial para una implementación exitosa. El beneficio, desde luego debe enfocarse en los propósitos del negocio, pero sin lugar a duda, son las personas las que llevan adelante cualquier modificación/implementación para mejora. Las etapas de Conciencia, Deseo, deberían ser indispensablemente compartidas entre todos los involucrados en el proceso. El conocimiento, puede agruparse en diferentes estratos y personas, dependiendo de los roles in funciones dentro de las organizaciones.

A pesar de estas exigencias, los VANTs han demostrado ser herramientas versátiles y eficientes para tareas como el monitoreo, mapeo, siembra y fumigación, consolidándose como una pieza clave en la agricultura de precisión (João Valente et al., 2020).

Sin embargo, la adopción de esta tecnología no está exenta de desafíos. Según Venkatesh et al. (2003), factores como la **expectativa de desempeño** —la percepción de los beneficios tangibles que aporta una tecnología— juegan un rol crucial en su aceptación. En el caso de los VANTs, estos beneficios incluyen la reducción de tiempo y la disminución de errores en la captura de datos, ventajas especialmente valoradas en equipos que buscan optimizar sus operaciones.

No obstante, la **expectativa de esfuerzo** puede convertirse en una barrera importante, particularmente entre trabajadores menos familiarizados con tecnología avanzada. Para superar esta resistencia, es fundamental invertir en **capacitación continua**, simplificar las tareas al mínimo requerido y proporcionar soporte técnico adecuado. Estas acciones no solo facilitan la adopción tecnológica, sino que también ayudan a minimizar los inconvenientes iniciales y a maximizar los beneficios para la organización y los individuos involucrados. Habilidad y refuerzo son etapas “entrenables” que sin lugar a duda importan, pero no son

críticas al momento inicial. Como hemos visto, incluso algunos usuarios sin ninguna experiencia previa con el uso de VANTs, se mostró satisfecho.

Otro elemento clave son las **condiciones facilitadoras**, como la infraestructura disponible, el acceso a herramientas prácticas para operar los VANTs e indudablemente el soporte de los líderes para apoyar la implementación de innovaciones, desafiando el “status quo”. Estos factores son especialmente críticos para trabajadores con mayor edad o experiencia en métodos tradicionales, quienes pueden requerir un mayor apoyo para adaptarse a estas innovaciones. Como resultado, garantizar un entorno que combine capacitación técnica, soporte continuo y una curva de aprendizaje manejable es esencial para el éxito de la adopción a largo plazo (Venkatesh et al., 2003).

Finalmente, esta fase 2 permitió integrar de manera definitiva el uso de VANTs dentro del flujo de trabajo del equipo, asegurando su adopción como parte del estándar operativo.

Este enfoque iterativo no solo permitió incorporar aprendizajes y realizar mejoras continuas, sino que también optimizó la eficiencia y precisión del relevamiento agronómico, evidenciando el valor de los VANTs como una herramienta clave en la producción de maíz.

6.0 Conclusiones:

La adopción de tecnología no es un fenómeno exclusivo del siglo XXI; a lo largo de la historia, los seres humanos han buscado constantemente formas de mejorar la eficiencia y efectividad de sus actividades. Sin embargo, el avance exponencial de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), junto con la masificación del acceso a internet, ha acelerado la difusión de innovaciones, permitiendo que estas lleguen a más personas y organizaciones en tiempos significativamente más cortos. Este entorno digital ha sido un catalizador crucial para la evolución tecnológica en diversos sectores, incluida la agricultura.

En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas en los equipos operativos agrícolas no es una excepción. La agricultura moderna se encuentra a la vanguardia en el uso de información georreferenciada, sistemas de piloto automático, captura remota de datos y modelos predictivos basados en inteligencia artificial. Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), comúnmente conocidos como “Drones”, como parte integral de estas innovaciones, han demostrado ser herramientas transformadoras, permitiendo una gestión agrícola más precisa, eficiente y sostenible.

Si bien los avances en el uso de VANTs han aportado beneficios significativos, como la optimización del uso de insumos y la reducción de costos operativos, todavía existen desafíos que requieren atención. La limitada autonomía de vuelo, la curva de aprendizaje asociada a su operación y las barreras culturales para la adopción son aspectos que deben ser considerados en cualquier estrategia de implementación, como así también las diferentes legislaciones en cada país. Sin embargo, la creciente accesibilidad de estas tecnologías, junto con el desarrollo de interfaces más amigables y la integración de sistemas multi-VANTs, apunta a un futuro prometedor para su adopción masiva en el sector agrícola.

La transición hacia la adopción tecnológica en el agro no solo implica incorporar dispositivos avanzados, sino también transformar las dinámicas organizativas y operativas de los equipos. Esto requiere fomentar una cultura de innovación, invertir en **capacitación continua** y **garantizar el soporte técnico** necesario para superar las resistencias al cambio. En este sentido, el uso de drones no solo representa una herramienta técnica, sino también un puente hacia una agricultura más conectada y basada en datos, donde la sostenibilidad y la eficiencia son prioridades.

Cabe, destacar que la aceptación y el uso de VANTs no solo deben medirse por la frecuencia de uso o el nivel de satisfacción, sino también por los resultados organizacionales concretos, como la mejora en la productividad, la reducción de costos y la estandarización de datos.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la incorporación de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) en el relevamiento de variables agronómicas en el cultivo de maíz constituye una alternativa metodológica eficiente y confiable. La tecnología demostró una alta capacidad para replicar tendencias esperadas en el conteo de plantas, con adecuada diferenciación entre densidades de siembra y consistencia en distintos ambientes productivos. El proceso de adopción por parte del personal fue exitoso, evidenciado por la apropiación progresiva de la herramienta, la capacitación formal de los operadores y una percepción positiva sobre su utilidad operativa. Desde una perspectiva organizacional, la implementación de VANTs permitió mejorar la trazabilidad, estandarización y visualización de los datos, facilitando la toma de decisiones agronómicas. Asimismo, el análisis económico realizado sugiere que la tecnología representa una inversión estratégica viable, con beneficios operativos y financieros que justifican su incorporación en esquemas de trabajo a escala.

En conclusión, los VANTs han abierto nuevas posibilidades en la agricultura de precisión, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y optimizando recursos como nunca, facilitando incluso la comunicación de resultados o estadios de los experimentos a campo. No obstante, su implementación debe ir acompañada de estrategias integrales que aborden tanto los aspectos técnicos como los humanos y organizativos. Solo así será posible consolidar el impacto positivo de estas tecnologías y asegurar que su adopción beneficie tanto a los productores, al medio ambiente y a las organizaciones, marcando el camino hacia un futuro agrícola más inteligente y sostenible.

7.0 Bibliografía:

Atzberger, C. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sens.* (2013), 5, 949–981.

Anderson, C. Agricultural Drones: Relatively cheap drones with advanced sensors and imaging capabilities are giving farmers new ways to increase yields and reduce crop damage. *MIT Technol. Rev* (2014), 17, 3–58.

Baghdadi, A.; Halim, R.A.; Majidian, M.; Daud, W.N.W.; Ahmad, I. Plant Density and Tillage Effects on Forage Corn Quality. *J. Food Agric. Environ.* (2012), 10, 366–370.

Bah, M.D., Hafiane, A., Canals, R., (2020). CRoWNet: Deep network for crop row detection in UAV images. *IEEE Access* 8, 5189–5200.

Bock, C. H.; Poole, G. H.; Parker, P. E. & Gottwald, T. R. (2010). Plant Disease Severity Estimated Visually, by Digital Photography and Image Analysis, and by Hyperspectral Imaging, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29:2, 59-107.

Cruvinel, P., Minatel, E., (2002). Image processing in automated pattern classification of oranges. In: *World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Proceedings of the 2002 Conference*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 56, URL <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=8312&t=1>.

Contreras, O. Rozo, I. (2015). Teletrabajo y sostenibilidad empresarial. Una reflexión desde la gerencia del talento humano en Colombia. *ELSEVIER*, 6. (74-83).

Cotes Calderón, J. M. (2013). Implementación de un Programa de Sensibilización. Análisis del proceso de ajuste de un taller de Sensibilización de Cultura Organizacional y Gestión del Cambio Organizacional y modelo ADKAR 20 Cambio implementado en una Institución pública chilena. Repositorio académico de la universidad de Chile.

Cox W.J. (1996). Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agronomy Journal*. 88:489-496.

Dekalb. (2024). Sistema Dekalb y Practicas Agronomicas. <https://www.dekalb.com.ar/es-ar/sistema-dekalb/practic-as-agronomicas.html>

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Djalovic, I., Vara Prasad, P. V., Dunderski, D., Katanski, S., Latković, D., Kolarić, L., ... & Zaheer, S. (2024). Optimal plant density is key for maximizing maize yield in calcareous soil of the South Pannonian Basin. *Plants*, 13(13), 1799. <https://doi.org/10.3390/plants13131799>

FAO. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. "E-AGRICULTURE IN ACTION: DRONES FOR AGRICULTURE". Edited by: Gerard Sylvester. ISBN: 978-92-5-130246-0s

FAO. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Maize in human nutrition." <https://www.fao.org/3/t0395e/T0395E00.htm>

García-Martínez, H., Flores-Magdaleno, H., Khalil-Gardezi, A., Ascencio-Hernández, R., Tijerina-Chávez, L., Vázquez-Peña, M. A., & Mancilla-Villa, O. R. (2020). Digital Count of Corn Plants Using Images Taken by Unmanned Aerial Vehicles and Cross Correlation of Templates. *Agronomy*, 10(4), 469. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040469>

Gnädinger, F., Schmidhalter, U., (2017). Digital Counts of Maize Plants by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Remote Sens.* 9, 544.

Hall, O., Dahlin, S., Marstorp, H., Archila Bustos, M.F., Öborn, I., Jirström, M., 2018. Classification of maize in complex smallholder farming systems using UAV imagery. *Drones* 2 (3), 22.

Hiatt, J. (2006). ADKAR: a model for change in business, government, and our community. *Prosci.* (8-22).

Hughes, Mark. (2007). The Tools and Techniques of Change Management. *Journal of Change Management.* 7. 37-49. <https://doi.org/10.1080/14697010701309435>

- Hamuda, E., Glavin, M., & Jones, E. (2016). A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. *Computers and Electronics in Agriculture*, 125, 184–199. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.024>.
- ISPA. (2021). International Society of Precision Agriculture. Precision agriculture definition. <https://www.ispag.org/about/definition>
- Jeongeun K., Seungwon K., Chanyoungju., & HYOUNGIL SON. (2019). Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119>
- Katari, S., Venkatesh, S., Stewart, C., & Khanal, S. (2024). Integrating Automated Labeling Framework for Enhancing Deep Learning Models to Count Corn Plants Using UAS Imagery. *Sensors*, 24(19), 6467. <https://doi.org/10.3390/s24196467>
- Kitano, B. T., Mendes, C. C. T., Geus, A. R., Oliveira, H. C., & Souza, J. R. (2019). Corn Plant Counting Using Deep Learning and UAV Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1–5.
- Koc-San, D., Selim, S., Aslan, N., San, B.T., 2018. Automatic citrus tree extraction from UAV images and digital surface models using circular hough transform. *Comput. Electron. Agric.* 150, 289–301.
- Kulbacki, M., Segen, J., Knieć, W., Klempous, R., Kluwak, K., Nikodem, J., Kulbacka, J., Serester, A. (2018): Survey of Drones for Agriculture Automation from Planting to Harvest. In: INES 2018-22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems, pp. 353-358. IEEE.
- Kumar, C., Mubvumba, P., Huang, Y., Dhillon, J. and Reddy, K. (2023). Multi-Stage Corn Yield Prediction Using High-Resolution UAV Multispectral Data and Machine Learning Models. *13(5)*, 1277. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051277>
- Lawles, K.; Raun, W.; Desta, K.; Freeman, K. Effect of Delayed Emergence on Corn Grain Yields. *J. Plant Nutr.* **2012**, *35*, 480–496.
- Li, B., Xu, X., Han, J., Zhang, L., Bian, C., Jin, L. (2019). The estimation of crop emergence in potatoes by UAV RGB imagery. *Plant Methods*. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0399-7>.
- Consulta Online 2025: <https://mappa.ag/es/blog/ortomosaico>

- Mohammadi, G.R.; Koochi, Y.; Ghobadi, M.; Najaphy, A. Effects of Seed Priming, Planting Density and Row Spacing on Seedling Emergence and Some Phenological Indices of Corn (*Zea mays* L.). *Philipp. Agric. Sci.* 2014, *97*, 300–306.
- Morales Jaimes, M. C. (2020). La gestión del cambio organizacional de una empresa manufacturera ABC mediante la metodología ADKAR. Universidad militar nueva granada.
- Morales, M. (2020). La gestión del cambio organizacional de una empresa mediante la metodología ADKAR. Universidad militar nueva granada. (8-25).
- Poncet, A.M.; Fulton, J.P.; McDonald, T.P.; Knappenberger, T.; Shaw, J.N. Corn Emergence and Yield Response to Row-Unit Depth and Downforce for Varying Field Conditions. *Appl. Eng. Agric.* 2019, *35*, 399–408.
- Rousseau, D. M., & Ten Have, S. (2022). Evidence-based change management, *Organizational Dynamics*, *51*(3), 1-13.
- Roth, L., Camenzind, M., Aasen, H., Kronenberg, L., Barendregt, C., Camp, K., Walter, A., Kirchgessner, N. & Hund A. (2020). Repeated Multiview Imaging for Estimating Seedling Tiller Counts of Wheat Genotypes Using Drones. AAAS Plant Phenomics Volume 2020, Article ID 3729715, 20 pages. <https://doi.org/10.34133/2020/3729715>
- Schulz, F. E. (2021). Evaluación de rendimiento en maíz sembrado en baja densidad en dos localidades de la Provincia de Buenos Aires [Trabajo de Intensificación, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital UNS.
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5908>
- Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*, *12*(19), 3136.
<https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- Smith, A. N., Fischer, E., & Yongjian, C. (2012). How does brand-related user-generated content differ across YouTube, Facebook, and Twitter? *Journal of Interactive Marketing*, *26*(2), 102-113.
- Swain, K. C., Thomson, S. J., & Jayasuriya, H. P. W. (2010). Adoption of an unmanned helicopter for low altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop. *Transactions of the ASABE*, *53*, 21–27.

Varela, S.; Dhodda, P.R.; Hsu, W.H.; Prasad, P.V.V.; Assefa, Y.; Peralta, N.R.; Griffin, T.; Sharda, A.; Ferguson, A.; Ciampitti, I.A. (2018). Early-Season Stand Count Determination in Corn via Integration of Imagery from Unmanned Aerial Systems (UAS) and Supervised Learning Techniques. *Remote Sens.* 10, 343.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 27(3), 425-478.

Wilbur N., Veramendi, C., & Cruvinel P. E. (2024). Method for maize plants counting and crop evaluation based on multispectral images analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 216 (2024) 108470.

Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture* (2012) 13: 693–712
DOI 10.1007/s11119-012-9274-5

Veramendi, W.N.C., Cruvinel, P.E., 2021. Algorithm for the countering maize plants based on UAV, digital image processing and semantic modeling. In: 2021 IEEE 15th International Conference on Semantic Computing. ICSC, IEEE, Laguna Hills, CA, USA, pp. 393–397.

8.0 Anexos

Anexo I – Check List de campo

REGISTRO DE SEGURIDAD

CHECK LIST DEL VANT

Previo a jornada a campo	
Inspección visual del VANT	Controlar
Inspección visual HELICES	Controlar
Sensores y Lente Cámara	Controlar y limpiar
Motores	Verificar libre Movimiento y Limpieza
Control Remoto	Verificar libre Movimiento, Modo 2, Estado General y CARGA
Firmware VANT	VERIFICAR actualización y compatibilidad
Tarjeta Memoria	Verificar espacio disponible
inspección IMU	Verificar con parámetros correctos
Mapas Offline	Configurar APPs previo a ir al Lote
Celular o Tablet	VERIFICAR actualización, CABLES, Carga baterías
Baterías VANT	Controlar Estado y CARGAR
Protector Gimbal	Revisar
Clima	ANALIZAR Nubosidad, VIENTO, llluvias, Tormentas Solares, Temperatura
Documentación	Reunir documentación necesaria para la operación.
Previo a jornada a campo	
Clima	Verificar in Situ, VELOCIDAD y DIRECCION del Viento, INDICE KP, Posición del Sol
Zona de Despegue	Terreno libre de obstaculos y orientacion general del piloto
Protección y/o Trabas	Quitar y Verificar libre movimiento
Hélices	Colocar y Fijar según su posición.
Baterias	Controlar Carga. Verificar Apagada e INSERTAR. Verificar Traba/sujeción
Control Remoto	Verificar posición Comandos y Encender
Tablet Celular	Conectar Control. Abrir APP elegida para Plan de Vuelo (DISCOVER, FieldAgent en IPAD). Verificar conexión. Se recomienda configurar la misión previo al día de campo.
VANT	Encender batería
Warming-Up VANT	ESCUCHAR sonido Encendido y/o ILUMINACION + TELEMETRIA en Tablet
Brújula	CALIBRAR, aun si figura OK.
IMU	Controlar parámetros correctos

Altura y distancias	REVISAR. NO Modificar Patrones.
RTH y Home Point	Configurar Altura, Ubicación y Modo (RTH,HOVER,LDG)
batería VANT	Controlar Estado Celdas, Temperatura y Nivel de Carga
Alarma batería	Configurar LOW BATTERY WARNING y CRITICAL BATTERY WARNING
Motores	Encender y dejar en Velocidad ralenti
HomePoint	VERIFICAR que Homepoint HAS BEEN UPDATED.
Despegue del VANT	
Ground Control Point	Coloque los GCP según lo indicado(6). RECUERDE, sino posee un GPS de precisión (ARROW GOLD) o esta volando con SIN ANTENA D-RTK, USTED deberá dejar sujetos al suelo los GCP finalizado el vuelo para poder tomarlos posteriormente.
Motores	Aceleración MAXIMA POTENCIA hasta 5 metros, Verificar Alarmas y Estabilidad
Stick Derecho (Modo 2)	Mover MUY suavemente en los 4 sentidos. Chequear Respuesta del VANT
En Vuelo	Acorde al Plan
Aterrizaje del VANT	
Aproximación	Según Plan de Vuelo. El VANT regresará al HOMEPOINT
Correcciones	Descender Sueve y corregir hasta los 2 metros de altura. NUNCA corregir movimientos laterales por debajo de esta altura
Aterrizaje	Descender Suave y continuo con stick izquierdo hacia ABAJO
Motores	Apagar en Tierra. UNICAMENTE stick IZQUIERDO totalmente hacia abajo
batería/VANT	Con Motores detenidos. APAGAR la batería (NUNCA retirarla Encendida)
Control Remoto	Apagar
Cambio de batería del VANT	
batería/VANT	
Control Remoto	Con motores detenidos y batería APAGADA, remover del VANT
Batería VANT	NO apagar el Control remoto durante el cambio de BATERIAS
WARMING UP	Controlar Carga. Verificar Apagada e Insertar. VERIFICAR traba.
WARMING UP	Encender la batería colocada en el VANT
Batería VANT	ESCUCHAR Sonido encendido y/o comienzo iluminación + TELEMETRIA. ESPERAR detección de 6 o mas Satélites y controlar Alarmas
Alarma Bateria	Controlar estado de Celdas, temperatura y CRITICAL BATTERY WARNING.
Motores	Configurar LOW BATTERY Warning y CRITICAL BATTERY Warning
Homepoint	ENCENDER y dejar en Velocidad Ralenti
	VERIFICAR la confirmación y posición.

Anexo II – Reglamento

[RS-885.pdf](#)

<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-reglamento-vant-rs-885.pdf>

Anexo III

Decreto 663/2024

AVIACIÓN CIVIL NO TRIPULADA

Decreto 663/2024

DECTO-2024-663-APN-PTE - Apruébase Reglamento.

Ciudad de Buenos Aires, 23/07/2024

VISTO el Expediente N° EX-2024-52282338-APN-DGD#MTR, la Ley N° 17.285 y sus modificatorias (CÓDIGO AERONÁUTICO), el Decreto N° 70 del 20 de diciembre de 2023 y las Resoluciones Nros. 880 del 6 de diciembre de 2019 de la ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL y sus modificatorias y complementarias y 6 del 5 de febrero de 2024 de la SECRETARÍA DE TRANSPORTE, y

CONSIDERANDO:

Que por la Ley N° 17.285 se estableció el CÓDIGO AERONÁUTICO, que rige la aeronáutica civil en el territorio de la REPÚBLICA ARGENTINA, su mar territorial y aguas adyacentes y el espacio aéreo que los cubre.

Que por la Resolución de la ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL N° 880/19 y sus modificatorias se aprobó el texto definitivo del “REGLAMENTO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) Y DE SISTEMAS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (SVANT)”.

Que por el Decreto N° 70/23 se declaró la emergencia pública en materia económica, financiera, fiscal, administrativa, previsional, tarifaria, sanitaria y social hasta el 31 de diciembre de 2025.

Que en los considerandos del referido Decreto N° 70/23 se analizó la situación actual del transporte aéreo y se expresó que “... la política aeronáutica argentina ha limitado fuertemente el desarrollo de la industria aerocomercial, pilar fundamental no solo de su integración federal, sino fundamentalmente del desarrollo económico y turístico”.

Que por tal razón en el mencionado Decreto N° 70/23 se entendió que “...es imperativo un reordenamiento integral de la legislación aerocomercial para dotar al mercado de un entorno competitivo que otorgue la suficiente flexibilidad para llegar a todas las ciudades argentinas”.

Que, en consecuencia, por el citado Decreto N° 70/23 se modificó, entre otras normas, la Ley N° 17.285 y sus modificatorias (CÓDIGO AERONÁUTICO) con el fin de mejorar la competitividad en el sector.

Que la reforma del mentado CÓDIGO AERONÁUTICO conlleva la necesidad de adecuar y dictar una nueva reglamentación, de conformidad con los estándares internacionales en materia de comercio de bienes y servicios, procurando armonizar el régimen interno, hasta donde sea posible, con los de los demás países del MERCOSUR u otras organizaciones internacionales (cfr. artículo 3° del referido Decreto N° 70/23).

Que para lograr el desarrollo organizado de la explotación de servicios aeronáuticos y la actividad comercial de la aviación civil, bajo los principios de eficiencia, seguridad y economía, de acuerdo con la legislación vigente y las recomendaciones internacionales, se requiere la participación de diferentes actores con competencias y responsabilidades primarias sobre la materia.

Que por medio de la Resolución N° 6/24 de la SECRETARÍA DE TRANSPORTE, entonces dependiente del ex-MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA, se creó la Comisión de Reglamentación del CÓDIGO AERONÁUTICO, en el ámbito de la SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTE AÉREO de la referida SECRETARÍA DE TRANSPORTE, con el objeto de elaborar y proponer un texto de reglamentación que contemple las modificaciones introducidas por el citado Decreto N° 70/23 al CÓDIGO AERONÁUTICO.

Que fueron invitados a opinar y participar de la mencionada Comisión de Reglamentación del CÓDIGO AERONÁUTICO diversas compañías aéreas, los fabricantes e importadores de material aeronáutico del país, los operadores aeroportuarios, las instituciones y consejos de aviación general, las universidades y asociaciones y consejos profesionales, las cámaras y organizaciones internacionales aeronáuticas, la ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AÉREO (IATA), el AVIATION WORKING GROUP (AWG), la representación de la ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL (OACI), diversas asociaciones gremiales, la ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL (ANAC) y demás organismos del ESTADO NACIONAL con competencia en la aviación civil o en coordinación con ella, entre otros.

Que tal como surge del artículo 36 de la Ley N° 17.285 y sus modificatorias (CÓDIGO AERONÁUTICO), la noción de aeronaves comprende tanto a las tripuladas como a las no tripuladas.

Que fundados en el derecho comparado y en los tratados internacionales de los que la Nación es parte, se ha entendido necesario considerar que, además de la aviación tripulada, la aviación no tripulada cumple con un rol estratégico para el desarrollo de inversiones en el país.

Que la Comisión de Reglamentación del CÓDIGO AERONÁUTICO destacó que se debe buscar un justo equilibrio que permita garantizar la seguridad operacional, junto a otros intereses del Estado y sus ciudadanos, sin incurrir en sobre regulaciones que atenten contra el desarrollo de las actividades comerciales privadas, la aviación tripulada y no tripulada.

Que, asimismo, la mentada Comisión entendió que para completar el mencionado equilibrio entre los intereses del Estado se deberán considerar de un modo especial las salvaguardas que puedan requerirse desde la perspectiva de la seguridad y de la defensa nacional, evitando con dicha actividad su afectación.

Que con el fin de receptar las recomendaciones de la ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL (OACI), es fundamental promover una interacción efectiva entre las autoridades de aviación civil y militar, para asegurar tanto la seguridad operacional como la protección de la defensa aeroespacial nacional.

Que en los casos en donde resulte necesario una regulación específica, la misma deberá resultar de cumplimiento eficaz a través de procedimientos administrativos ágiles, de carácter digital/electrónico.

Que en el Reglamento que se aprueba por el presente se plasman los principios establecidos en el Decreto N° 891/17 sobre buenas prácticas en materia de simplificación normativa, entre los que se encuentran los de mejora continua de procesos, la presunción de buena fe y el gobierno digital.

Que la materia en trato debe regirse por los principios de libre acceso a los mercados, la lealtad comercial, la desregulación tarifaria, el estricto resguardo de la seguridad operacional, la vigilancia continua de los servicios autorizados, el principio de unicidad del estado, la libertad contractual, celeridad, comunicación directa, dinamismo, integralidad, eficacia y desarrollo estratégico, entre otros, todo ello sin dejar de considerar aquellas cuestiones relacionadas con la protección de los ciudadanos y de los intereses vitales de la Nación.

Que se resguarda la intervención y reglamentación técnica de la autoridad aeronáutica correspondiente, en su área de competencia, debiendo garantizarse la seguridad operacional,

el cumplimiento de las regulaciones técnicas específicas y el desarrollo sostenible y seguro de la industria.

Que tal como se ha reseñado, se han analizado el derecho comparado latinoamericano, europeo y estadounidense, la normativa emanada de la ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL (OACI), así como las buenas prácticas de diferentes actores de la materia.

Que se debe prever que las aeronaves no tripuladas autónomas operadas por inteligencia artificial, las aeronaves que operen destinadas a servicios de movilidad aérea avanzada/urbana u otra actividad aerocomercial o general, sean de uso permitido, sujeto a reglamentación técnica por parte de las autoridades competentes.

Que, oportunamente, se debe propender a la integración del espacio aéreo para aeronaves tripuladas y no tripuladas para cualquiera de sus finalidades, desde y hacia los aeródromos, lugares aptos denunciados u otras infraestructuras habilitadas o espacios aptos, sin perjuicio de la posibilidad de segregación de un espacio aéreo.

Que esta norma no tiene por objeto regular cuestiones exclusivamente técnicas, sino estratégicas, razón por la cual las autoridades competentes deberán considerar el estado actual de desarrollo de esta tecnología.

Que se tiene como objetivo la promoción de un desarrollo sostenible y seguro para la industria, con lo cual la autoridad aeronáutica correspondiente podrá imponer las restricciones operativas que entienda indispensables, especialmente en áreas urbanas, atendiendo al desarrollo de la actividad.

Que dentro de las condiciones de seguridad operacional, particularmente, se deben establecer los mecanismos diferenciados para que la aviación no tripulada se desarrolle

exponencialmente en el sector agropecuario, marítimo u otro sector que, previa reglamentación, se considere estratégico.

Que además de las autoridades aeronáuticas civil y militar intervienen o podrán intervenir en el desarrollo de la aviación no tripulada otros organismos de la administración pública nacional y de la industria.

Que quienes desarrollen la actividad deberán cumplir con las disposiciones relativas a la seguridad operacional, la inviolabilidad de la intimidad, la vida privada, la seguridad y la defensa nacional, el honor y la imagen de las personas, la libre competencia y la lealtad comercial.

Que la SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTE AÉREO y la SECRETARÍA DE TRANSPORTE del MINISTERIO DE ECONOMÍA han tomado la intervención de su competencia.

Que los servicios jurídicos competentes han tomado la debida intervención.

Que el presente acto se dicta en uso de las facultades conferidas por el artículo 99, incisos 1 y 2 de la CONSTITUCIÓN NACIONAL.

Por ello,

EL PRESIDENTE DE LA NACIÓN ARGENTINA

DECRETA:

ARTÍCULO 1°.- Apruébase el REGLAMENTO PARA LA AVIACIÓN CIVIL NO TRIPULADA que como ANEXO (IF-2024-76543623-APN-SSTA#MEC) forma parte integrante del presente decreto.

ARTÍCULO 2°.- Instrúyese a la ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL, organismo descentralizado en la órbita de la SECRETARÍA DE TRANSPORTE del MINISTERIO DE ECONOMÍA, a adecuar, conforme las disposiciones del presente y de su Anexo, su Resolución N° 880/19 y sus normas complementarias, y a reglamentar técnicamente, en forma coordinada con los organismos y empresas con competencia en la materia, la aviación remotamente tripulada y/o no tripulada en el plazo de CIENTO OCHENTA (180) días, contados a partir de la entrada en vigencia del presente.

ARTÍCULO 3°.- El presente decreto entrará en vigencia el día de su publicación en el BOLETÍN OFICIAL.

ARTÍCULO 4°.- Comuníquese, publíquese, dese a la DIRECCIÓN NACIONAL DEL REGISTRO OFICIAL y archívese.

MILEI - E/E Diana Mondino - Luis Andres Caputo

NOTA: El/los Anexo/s que integra/n este(a) Decreto se publican en la edición web del BORA -www.boletinoficial.gob.ar-

e. 24/07/2024 N° 48042/24 v. 24/07/2024

ANEXO IV

Resultados Estadísticos ANOVA

Análisis de la varianza

CONTEO METODO TESIS	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DRONE	FNSC	17455	0.89	0.89	12.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	51424897.58	5	10284979.52	27649.25	<0.0001
Densidad	51424897.58	5	10284979.52	27649.25	<0.0001
Error	6490686.02	17449	371.98		
Total	57915583.60	17454			

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=1.70964

Error: 371.9804 gl: 17449

Densidad	Medias	n	E.E.	
4.00	68.85	2822	0.36	A
6.00	103.09	2825	0.36	B
8.00	137.02	2806	0.36	C
10.00	167.46	3365	0.33	D
12.00	194.69	2826	0.36	E
16.00	233.30	2811	0.36	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.01)

CONTEO METODO TESIS	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HUMANO	FNSC	3372	0.93	0.93	11.12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14781519.24	5	2956303.85	8895.09	<0.0001
Densidad	14781519.24	5	2956303.85	8895.09	<0.0001
Error	1118697.76	3366	332.35		
Total	15900217.00	3371			

Test:Tukey Alfa=0.01 DMS=3.67988

Error: 332.3523 gl: 3366

Densidad	Medias	n	E.E.	
4.00	74.61	565	0.77	A
6.00	109.29	594	0.75	B
8.00	145.17	524	0.80	C
10.00	175.12	642	0.72	D
12.00	212.65	534	0.79	E
16.00	280.48	513	0.80	F

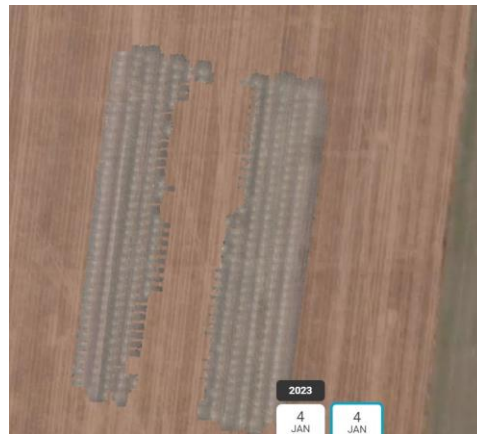
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.01)

Para evaluar la capacidad de los métodos (humano y VANT) de discriminar entre diferentes densidades de siembra, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía considerando seis niveles de densidad (4, 6, 8, 10, 12 y 16 plantas/m²).

En ambos métodos el efecto de la densidad resultó altamente significativo ($p < 0.0001$), lo cual confirma que tanto el conteo manual como el realizado con drones permiten distinguir estadísticamente entre los niveles implantados. Los valores de R^2 fueron de 0.89 para VANTs y 0.93 para el método humano, con coeficientes de variación de 12.75% y 11.12% respectivamente, indicando un buen ajuste del modelo y un nivel aceptable de error experimental.

La prueba post-hoc de Tukey ($\alpha = 0.01$) muestra la formación de grupos homogéneos consistentes con las densidades implantadas. En ambos métodos se observan diferencias significativas entre casi todos los pares de densidades, con una clara separación de los tratamientos extremos (4 vs. 16 pl/m²) y diferencias progresivas entre densidades intermedias. Esto respalda que el método VANT no solo reproduce la tendencia general, sino que además discrimina con robustez los contrastes agrónomicamente relevantes inducidos en los tratamientos.

Anexo V – Fallas asociadas a GPS y funcionamiento de los VANTs. 0 Datos capturados.



7% (8/113)

RESTRICTED