



Departamento de Agronomía
Universidad Nacional del Sur
Diciembre 2025



DRONES EN EL ÁMBITO AGROPECUARIO

PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA EN LATITUD SUR

Triana López Del Rio

Docente tutora
Docentes consejeros

Asesores externos

Dra. Longás, María de las Mercedes
Dra. Chimeno, Patricia
Dr. Chantre, Guillermo Rubén
Ing. Agr. Delpech, Simón
Lic. Paredes, Juan

AGRADECIMIENTOS

“Si vos no estabas, yo no podía. El éxito es compartido”.

Con esa frase en mente, no me queda más que agradecer. En primer lugar, a mis papas. Sin ustedes, jamás podría haber hecho la carrera al día. Me facilitaron todo y más, brindándome todas las comodidades. Quien los conoce, sabe exactamente de lo que hablo. Les regalo este título a ustedes, que se cuánto lo desearon.

En segundo lugar, a mis hermanas, Giuli y Luana, por estar siempre. Nos va bien a las tres, o a ninguna, juntas en todo.

Gracias a mis amigos y compañeros de cursada, sin ustedes el camino hubiera sido más largo y difícil.

A mis amigas, Zoe, Sol y Agus, por enseñarme a mirar lo positivo y agradecer hasta lo más mínimo del día. En estos años entendimos que la vida es un sube y baja, y con amigas todo se lleva mejor. A Cori, una gran persona. Gracias por cada almuerzo en tu casa para recargar pilas y seguir cursando.

A Agus, mi primera amiga de la carrera. Pilar fundamental durante los primeros años, donde pasábamos largas horas de estudio y firmes hasta el último final para desearnos suerte o prendernos una velita.

Gracias Celi, la mejor compañera de estudio y programones.

Gracias Mili, Manu y Lu, por ser apoyo y motivación constante para ir a rendir y avanzar en todos los ámbitos.

Gracias Luquitas, me llevo un amigo para toda la vida. Gracias Toto, Juanse, Juan, Tato, Seba y Giuli, por ir codo a codo en el estudio y por cada plan divertido para distender.

Gracias Juan y Simón por leer aquel primer mail y darmel a oportunidad de sumarme a su equipo de trabajo. Fue una experiencia hermosa, donde aprendí muchísimo y me sentí muy cómoda.

Gracias Mer, mi tutora, atenta desde el día uno. Gracias por dedicar tantas horas, por tu guía y por desafiarne a publicar mi trabajo. Gran profesional.

Gracias Patricia y Guillermo, por cada palabra linda y por las sugerencias.

Gracias a la Universidad Nacional del Sur, especialmente al Departamento de Agronomía, por formarme como profesional y enriquecerme como persona. Una etapa excelente.

Por último, y no menos importante, gracias a mí. Por la responsabilidad, la constancia y la dedicación que le puse a la carrera. Todo esfuerzo tiene su recompensa.

PUBLICACIONES

- LÓPEZ DEL RIO T, CHIMENO P & LONGÁS MM (2025). *Aplicación sectorizada de herbicidas en malezas leñosas mediante drones: análisis económico, social y ambiental.* 55° Reunión Anual Asociación Argentina de Economía Agraria (AAEA). Corrientes, Argentina, 29-31 de octubre de 2025.
- LÓPEZ DEL RÍO T & LONGÁS MM (2025). *Drones agrícolas: una alternativa innovadora bajo la triple dimensión.* AgroUns 43, 8-11. EISSN: 2718- 9066. [REVISTA AGROUNS - OneDrive](#)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	1
PUBLICACIONES	2
I. INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	8
II. DRONES EN EL ÁMBITO AGROPECUARIO	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
Práctica Profesional Supervisada.....	11
IV. EXPERIENCIA PROFESIONAL	23
V. SOLUCIONES AGRONÓMICAS	29
Análisis comparativo de estrategias	29
Análisis comparativo bajo la triple dimensión.....	30
<i>Adopción de la tecnología por los productores</i>	35
VI. CONSIDERACIONES FINALES	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Campo experimental de la empresa consultora Latitud Sur en Tandil. Adaptada de Latitud Sur.....	11
Figura 2. Drones DJI Mavic 2 con cámara RGB (izq.) y Mavic 3 con cámara multiespectral (der.).	13
Figura 3. Momento óptimo para usar el software en el MDM. Adaptada de BASF, 2023.....	14
Figura 4. Escenarios para aplicación sectorizada: óptimos A), B) y C) ; y no adecuados D) y E).	15
Figura 5. Recorrido del dron sobre el lote (flecha) y el solapamiento de imágenes tomadas. Adaptado de Xarvio, 2024.....	16
Figura 6. Sombreados en la imagen según el horario de vuelo. Adaptada de Xarvio, 2024.....	16
Figura 7. Mapas brindados por Xarvio. Fuente: BASF.....	17
Figura 8. Modelos de drones: A) DJI Agras T30, B) DJI Agras T50	18
Figura 9. A) Delta T, Adaptado de Wolf & Downer (2021), Sprayers101. B) Uso del anemómetro	19
Figura 10. Evaluación de parámetros de calidad del agua para la aplicación. A) Conductividad eléctrica, B) y C) pH previo y luego de ser corregido con buffer, respectivamente.....	20
Figura 11. A) Comparación de un caldo cortado compuesto por Zidua + Atrazina + Glifosato, donde se aprecia la separación de fases testigo con caldo cortado y separación de fases (izq.) vs. adicionando A35T gold (der.). B) Testigo con caldo cortado y separación de fases (izq.). Tratamiento con ALL ok + A35T (der.). C) Testigo con tratamiento con ALL OK + A35T (izq.). Tratamiento cortado solo con A35T gold (der.) y D) testigo con caldo cortado (izq.). Trat. con 600cc de ALL OK aun caldo cortado (medio). Trat. con 800cc de ALL OK (der.).....	22
Figura 12. Establecimiento La Guapa. A) Ubicación en la provincia de Buenos Aires. B) Cercanía a la localidad de Tandil y C) lote con las áreas a aplicar delimitadas.....	23
Figura 13 A. Aplicación de productos fitosanitarios con Dron DJI Agras T30 teniendo en cuenta las medidas de seguridad. A) Dron volando, B) conducción del dron, C) pastilla XR Teejet 01y D) elementos de protección personal.....	25
Figura 14. Planimetría del Establecimiento La Guapa.....	27
Figura 15. Informe del lote 18 Cañadón, obtenido por DJI SmartFarm (DJI, 2025).....	28
Figura 16 A) Especies leñosas con vegetación activa al momento de la aplicación. B) Especies leñosas en estado senescente post aplicación.	29

RESUMEN

La creciente demanda por sistemas productivos más eficientes y sostenibles impulsa la adopción de herramientas de agricultura de precisión que permitan optimizar el uso de insumos sin comprometer la productividad. En este marco, el presente trabajo corresponde a la Práctica Profesional Supervisada realizada en la empresa Latitud Sur, donde se evaluó el uso de drones para aplicaciones sectorizadas de herbicidas. El proceso inició con el relevamiento de un lote del Establecimiento La Guapa, Tandil, Buenos Aires, mediante un dron multiespectral, cuyos datos fueron procesados en Xarvio, un software especializado para generar un mapa de infestación y el correspondiente mapa de prescripción. Además, se evaluó la calidad del agua del caldo, detectándose valores de dureza elevados (280 ppm), típicos de la zona de Tandil, y una CE de 0,8 µS/cm. Se implementó un adecuado acondicionamiento mediante soluciones buffer para asegurar la eficacia del tratamiento. También se analizaron variables ambientales críticas (Delta T, viento, temperatura y humedad) para garantizar condiciones óptimas de pulverización. La operación se efectuó con un dron DJI Agras T30, comparándose su desempeño frente a una aplicación de cobertura total con avión pulverizador, de manera teórica. El análisis económico, ambiental y social reveló reducciones sustanciales en el uso de insumos: 80,5% en agua y envases, y 93,4% en combustible y emisiones de CO₂. A pesar de un mayor costo operativo por hectárea, el ahorro generado por la aplicación selectiva resultó en un beneficio económico neto superior al 65% respecto de la alternativa aérea. Desde la dimensión social, la tecnología permitió disminuir riesgos de exposición a plaguicidas y favoreció el acceso a innovación por parte de pequeños y medianos productores mediante servicios de pulverización tercerizados. En conclusión, la aplicación sectorizada de herbicidas con drones se presenta como una herramienta estratégica para la transición hacia sistemas agrícolas más rentables, seguros y ambientalmente responsables, consolidándose como una alternativa viable y tecnológica para el manejo eficiente de malezas.

I. INTRODUCCIÓN

Lejos de ser una actividad estática, la agricultura atraviesa un proceso de evolución continuo, fomentado por los desafíos contemporáneos y el acelerado avance tecnológico. A nivel mundial, debe responder al crecimiento demográfico, el cambio climático y la degradación de los recursos naturales (Guebsi et al., 2024). A ello se suma la creciente demanda de alimentos inocuos y la necesidad de gestionar sosteniblemente el suelo y el agua (Aparicio & De Gerónimo, 2024). Paralelamente, la agricultura ha experimentado una profunda transformación en los últimos 100 años, impulsada por el desarrollo de innovaciones tecnológicas y, más recientemente, por la digitalización. La agricultura digital permite incrementar la eficiencia de los sistemas productivos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la sustentabilidad ambiental a largo plazo mediante un uso más preciso de los recursos (Rejeb et al., 2022).

Al igual que el contexto mundial, nuestro país enfrenta la necesidad de impulsar estrategias productivas más sostenibles, en cumplimiento con los compromisos asumidos tanto a nivel nacional como internacional, especialmente los establecidos, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. En este sentido, es fundamental incorporar las nuevas tecnologías, incluyendo aquellas vinculadas con la robótica aplicada al sector agropecuario, desde una perspectiva que integre las dimensiones económica, social y ambiental (Minaverry, 2019; ODS, 2023). Este enfoque transdisciplinario debe sustentarse en las bases físico-biológicas de los sistemas productivos involucrados.

Actualmente, los vehículos aéreos no tripulados (VANT) están adquiriendo una creciente relevancia en el sector. Un VANT es un dispositivo volador que sigue un recorrido predefinido mediante piloto automático y coordenadas GPS, o es controlado manualmente mediante radiomando (Ahirwar et al., 2019). El uso de drones en el ámbito agropecuario ha adquirido creciente relevancia en los últimos años, posicionándose como una herramienta clave para la optimización de diversas prácticas agrícolas y pecuarias. El uso de VANT y herramientas digitales proporciona datos detallados y en tiempo real que facilitan la toma de decisiones agronómicas (Zhang & Kovacs, 2012). La utilización de la información de manera inteligente y eficiente resulta indispensable para maximizar el valor de la actividad productiva al menor costo posible (Ahirwar et al., 2019). Estas soluciones no serían posibles sin la utilización de potentes softwares especializados que procesan las imágenes tomadas y las analizan junto a toda la cantidad de datos obtenidos para iniciar el círculo de encontrar nuevas soluciones.

Las especies indeseables o denominadas malezas constituyen uno de los principales factores bióticos que afectan la productividad agrícola, definiéndose como aquellas especies vegetales que crecen en un lugar y momento indeseados (Fernández et al., 2018). Estas especies compiten por recursos esenciales como agua, luz y nutrientes, y además pueden ser hospederas de patógenos e insectos perjudiciales o generar pérdidas económicas por mermas de rendimiento, menor calidad de granos y aumento en los costos de cosecha (Fernández et al., 2018). Existen diversas estrategias de control de malezas, incluyendo métodos físicos, químicos, mecánicos. Entre ellos, el control químico mediante herbicidas ha demostrado ser históricamente el más efectivo (Fernández et al., 2018). Sin embargo, la aplicación excesiva de estos compuestos ha provocado consecuencias ambientales significativas, como la contaminación de ríos, arroyos y agua potable, y ha favorecido la aparición de poblaciones de malezas resistentes (Aparicio & De Gerónimo, 2024; Hulme, 2023; Mayora et al., 2024). Estas problemáticas reducen la eficiencia del manejo incrementando los costos directos e indirectos para el productor, afectando la sostenibilidad de los sistemas productivos y la salud humana. Como alternativa sostenible surgen las aplicaciones dirigidas donde se aplica únicamente en las áreas donde se detectó la maleza problema, evitando

así aplicaciones innecesarias sobre el resto del lote. Este enfoque se implementa mediante tecnologías de detección y dosificación selectiva, como los sistemas *Weed Seeker*, las pulverizadoras con corte por sección y los drones con cámaras multiespectrales.

Un caso particular, donde especies arvenses son consideradas maleza, ocurre cuando se desarrollan especies arbustivas leñosas en pastizales naturales. Esto se fundamenta en que su presencia se asocia con una marcada disminución de la producción forrajera y dificultades en el manejo del ganado a pastoreo (Peláez et al., 2014). En esta línea, la agricultura de precisión (AP) constituye una estrategia clave para optimizar el manejo de malezas, integrando información geoespacial, sensores y sistemas de aplicación selectiva (Ríos-Hernández, 2021). El uso de tecnologías como drones permite identificar y tratar manchones de malezas de manera localizada, reduciendo el uso de herbicidas y minimizando el impacto ambiental (Zhang & Kovacs, 2012; Dutta & Goswami, 2020). Estas herramientas permiten monitorear grandes áreas, realizar análisis rápidos, ajustar dosis y mejorar la eficiencia operativa, ofreciendo un enfoque más sustentable de los sistemas productivos (Nobre et al., 2024; Zhang et al., 2022).

OBJETIVOS

Objetivo general

En el marco de una PPS, examinar el re-diseño de los sistemas productivos a partir del uso de drones y su impacto económico, ambiental y social.

Objetivos específicos

- Aprender a utilizar software específico para realizar mapeo digital de malezas.
- Calibrar drones aplicadores, incluyendo la preparación del caldo de pulverización, corrección del agua, elección de pastillas, etc.
- Asperjar herbicidas a campo de manera localizada manipulando drones.
- Elaborar un análisis comparativo de las diferentes estrategias de aplicación de herbicidas en un determinado escenario productivo.
- Confeccionar un análisis tridimensional (ambiental, económico y social) de una aplicación sectorizada particular e interpretación de las soluciones agronómicas.

II. DRONES EN EL ÁMBITO AGROPECUARIO

Innovaciones y tecnologías en el agro

Con la creciente incorporación de tecnologías digitales en el sector agropecuario, han surgido gradualmente los servicios agrotécnicos digitales como un nuevo modelo de prestación (Xie et al., 2024). El reto que surge radica en lograr una adecuada integración entre las tecnologías de procesos y las necesidades concretas del productor. Las soluciones agronómicas generan valor agregado al comprender las particularidades de cada situación productiva, lo que permite un asesoramiento más preciso y una correcta aplicación de las herramientas tecnológicas disponibles (Enkerlin Hoeflich et al., 1997).

El proceso de extensión implica una interacción directa con los productores, basada en la escucha activa de sus problemáticas. Este enfoque busca ofrecer soluciones agronómicas innovadoras, facilitar su implementación y acompañar el proceso de adopción mediante demostraciones prácticas a campo. Así, se promueve la incorporación efectiva de nuevas herramientas en los sistemas productivos. Se trata de un proceso dinámico y continuo: la incorporación de nuevas técnicas puede generar problemáticas emergentes, como sucedió con el uso reiterado y excesivo de herbicidas que provocó el incremento de los casos de resistencia en las malezas, cuyo principal impulso fue la intensificación agrícola (Hulme, 2023). En este contexto, el rol del Ingeniero Agrónomo, en articulación con otros profesionales, es fundamental para identificar y superar dichas limitaciones (Fernández et al., 2018).

Las tecnologías autónomas han cobrado creciente relevancia debido a su capacidad para optimizar tiempos, mejorar la precisión y aumentar la eficiencia operativa. El empleo de drones y sistemas autónomos permite reducir en más de un 30% los costos de aplicación y aumentar la precisión en la dosificación de insumos (Katekhar & Cheruku, 2022). Lejos de desplazar mano de obra, estas herramientas demandan capacitación continua y reconversión de perfiles laborales hacia funciones más técnicas y vinculadas a la gestión de datos (Pino, 2019). Un ejemplo de esta transición es el reemplazo del piloto físico por un programador especializado capaz de operar, mantener y actualizar el software de los equipos agrícolas, como la pantalla de un tractor o la computadora de una maquinaria de última generación (DJI, 2024; BASF, 2023). En este contexto, el personal capacitado destaca por su valor cuando se considera el criterio de uso de la maquinaria en cuestión y la responsabilidad de registrar la información de las aplicaciones.

Aplicaciones de drones en el sector agropecuario

Los sistemas de procesamiento de imágenes, promovidos por el uso de drones, han popularizado su utilización en la agricultura para el monitoreo sanitario y fisiológico de cultivos, así como para la creación de mapas de relevamientos topográficos, planialtimétricos y georreferenciados como los de distribución de malezas (Dutta & Goswami, 2020). De este modo, se obtienen mapas detallados en plazos significativamente menores que con los métodos tradicionales, los cuales resultan fundamentales, también, para el diseño de curvas de nivel, sistemas de riego, planificación de siembras y manejo localizado de adversidades bióticas, contribuyendo a un manejo más eficiente del terreno (Pino, 2019). Asimismo, el uso de sensores multiespectrales y cámaras de alta resolución permite identificar zonas con estrés hídrico, deficiencias nutricionales o presencia de plagas y enfermedades antes de que sean visibles a simple vista, facilitando una toma de decisiones más precisa y oportuna (Ríos-Hernández, 2021). Alternativamente, empresas como Ganader-IA en Uruguay han demostrado que los drones pueden emplearse también para tareas de arreo o encierro del ganado, así como para estimar el peso de los animales mediante

procesamiento de imágenes aéreas y algoritmos específicos, lo cual permite mejorar la eficiencia de los sistemas productivos ganaderos sin necesidad de manipulación directa (Ganader-IA, s.f.). En síntesis, los drones representan una herramienta multifuncional con un amplio potencial para contribuir a un sistema agropecuario más preciso, eficiente y sustentable. No obstante, su aprovechamiento óptimo requiere no solo inversión en tecnología, sino también marcos normativos claros que permitan su implementación segura y regulada (TN, 2025).

Uso de tecnologías en el manejo de malezas

La interpretación de los mapas previamente mencionados permite evaluar la viabilidad de pulverizaciones sitio-específica de herbicidas, optimizando la dosis de producto aplicada, mejorando la eficacia y rentabilidad del control, y reduciendo el impacto ambiental de las pulverizaciones (Nobre et al., 2024).

Entre otras ventajas de la aplicación de productos fitosanitarios con drones, se destaca la reducción del contacto del operario con los productos, la disminución del volumen de aplicación y la mejora en la uniformidad del tratamiento. Sin embargo, en países como Argentina aún persiste una falta de normativa específica que regule su uso en aplicaciones agrícolas, lo que limita su expansión a gran escala (Aapresid, s.f.).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Práctica Profesional Supervisada

Durante el mes de octubre de 2024, realicé una Práctica Profesional Supervisada (PPS) en la empresa Latitud Sur, con el objetivo de completar mi formación profesional y obtener el título de grado. Para ello, desarrolle diversas tareas orientadas a aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en un contexto productivo real.

Latitud Sur

Latitud Sur es una consultora, ubicada estratégicamente en la ciudad de Tandil (Fig. 1), con área de influencia en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires (SEB), dedicada a la experimentación e implementación de tecnologías y soluciones agronómicas, con un enfoque en la producción sostenible y eficiente. Entre los servicios que presta se pueden mencionar: asesoramiento y consultoría agropecuaria, realización de ensayos comparativos (de rendimiento y evaluación de materiales precomerciales y comerciales), de manejo (evaluación nutricional, fecha de siembra y densidad) y de fitosanitarios (evaluación de control, performance, fitotoxicidad, residualidad, persistencia y tratamientos de semillas), experimentación en desarrollos biológicos y bioestimulantes, *screening* de tolerancia a herbicidas, experimentación en cultivos alternativos, extensión demostrativa y jornadas técnicas, programa red cultivar (maíz, soja, fina, girasol) y análisis de laboratorio de suelo, semilla y cultivos. La empresa se especializa en la implementación de soluciones agronómicas mediante una red de ensayos ubicados en diversas localidades del SEB como Balcarce, Necochea, Mar del Plata y San Cayetano, entre otras. Además, actúa como productora agropecuaria con una fuerte influencia en la región, lo que le permite aplicar los conocimientos adquiridos en sus ensayos y brindar respuestas efectivas.



Figura 1. Campo experimental de la empresa consultora Latitud Sur en Tandil. Adaptada de Latitud Sur, <https://www.latitudsuragro.com/>

Actividades desarrolladas

La experiencia se basó en la implementación de herramientas de AP orientadas al manejo sitio-específico de malezas. En ese marco, se integraron instancias de mapeo, capacitación y aplicación práctica, con el objetivo de evaluar la eficiencia de las tecnologías disponibles y su aplicabilidad en campo.

Entre las principales actividades realizadas, se destacan:

- Mapeo Digital de Malezas (MDM) con dron.
- Capacitación sobre la preparación del caldo.
- Aplicaciones sectorizadas de herbicidas.
- Análisis comparativo de las tecnologías de aplicación selectiva disponibles.
- Experiencia práctica de aplicación aérea con dron Agras en el control de leñosas.
- Análisis bajo la triple dimensión, evaluando de manera integral la experiencia práctica en contraposición con la alternativa más factible.
- Interpretación de los desafíos técnicos y operativos, con la incorporación de las soluciones agronómicas.

Mapeo digital

El mapeo digital mediante herramientas de AP representa un componente clave para la toma de decisiones agronómicas. A través del análisis combinado de imágenes satelitales y vuelos complementarios con drones, se brinda a los productores un panorama integral sobre el estado y evolución de sus campos productivos. Las imágenes capturadas por sensores de alta resolución se procesan mediante plataformas específicas, lo que permite generar productos agronómicos precisos y confiables a nivel de parcela. Entre los principales resultados obtenidos se encuentran: identificación de parcelas, distribución espacial y temporal de la emergencia del cultivo (*plantability*), conteo de plantas (*plant counting*), evaluación de cobertura vegetal (*canopy cover*), caracterización de grupos de madurez (*phenotyping*), estimación de altura de plantas y generación de mapas de malezas (*weed maps*), entre otros.

Para la captura de datos se emplearon los drones con los que contaba la consultora, ambos de la línea DJI: Mavic 2 y Mavic 3M (Fig. 2). Estos equipos permiten vuelos automatizados con gran precisión, facilitando la recolección de imágenes multiespectrales en distintas bandas. El procesamiento posterior se realiza mediante plataformas que incorporan algoritmos de detección de patrones basados en técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) y parametrización adaptada a las condiciones específicas de cada cultivo o ambiente. Esta integración tecnológica permite transformar datos brutos en herramientas de gestión eficientes para una agricultura de alto rendimiento y bajo impacto.



Figura 2. Drones DJI Mavic 2 con cámara RGB (izq.) y Mavic 3 con cámara multiespectral (der.).

El proceso de MDM consta de tres etapas:

- 1- Se sobrevuela el lote completo con un dron equipado con cámaras multiespectrales o de alta resolución para detectar la presencia y distribución de la maleza objetivo.
- 2- Las imágenes obtenidas se procesan mediante un software específico que, a partir de algoritmos de clasificación y segmentación, y se genera un mapa de prescripción. Este mapa, bajo el formato de archivo, puede ser cargado tanto en drones aplicadores como en pulverizadoras terrestres con tecnología de corte por sección. Estas últimas surgen como alternativa al *Weed Seeker* o *WeedIt*.
- 3- Se realiza la aplicación dirigida.

Xarvio Field Manager

Xarvio es una plataforma *Field manager*, la cual indica la cantidad precisa de caldo para evitar excedentes que haya que desechar, permitiendo generar aplicaciones sectorizadas a partir de imágenes tomadas por drones. La misma permite hacer siembra variable, fertilización variable, *spray timer* (momento exacto según fenología donde la aplicación es más eficaz), MDM y Monitoreo Pro.

Hoy en día, el software se puede usar en postemergencia de soja y maíz diferenciando malezas emergidas de dichos cultivo (*Green on Green*) o en barbechos químicos (*Green on Brown*; Fig. 3). El mismo sirve para identificar las especies no deseadas, su localización y en qué proporción se encuentran para, a partir de eso, tomar decisiones para efectuar el control.

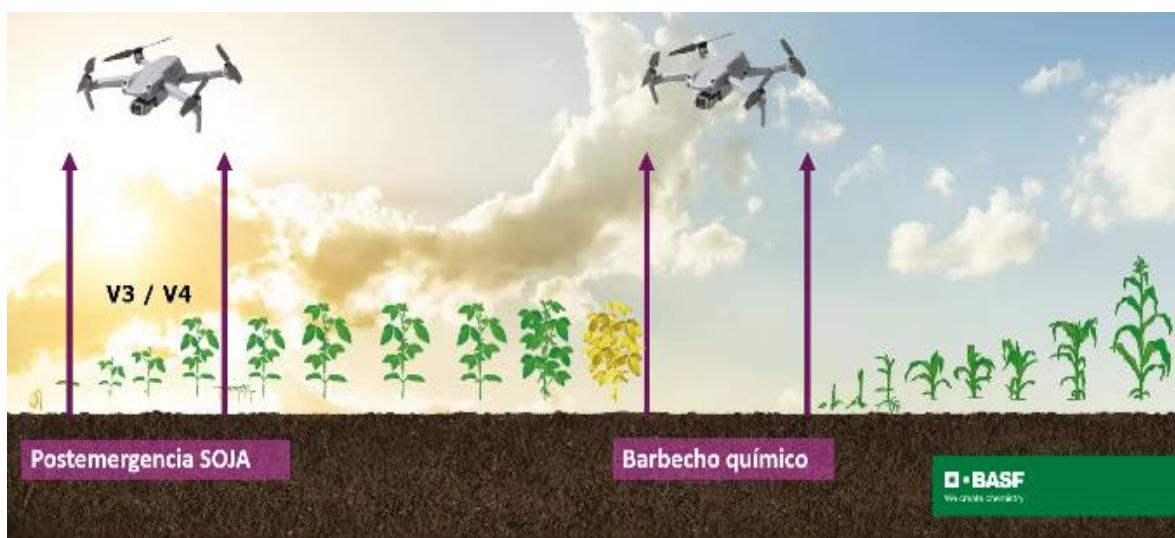


Figura 3. Momento óptimo para usar el software en el MDM. Adaptada de BASF, 2023.

Consideraciones operativas

El éxito del MDM depende tanto de la calidad de las imágenes como del correcto procesamiento y compatibilidad con el equipo aplicador. Entre los aspectos más relevantes a considerar se destacan:

1- La elección del lote adecuado (Fig. 4).

El lote debe tener manchones y no estar altamente infestado.

2- La captura de imágenes para el mapa de relevamiento.

Existen una serie de recomendaciones que orientan para una adecuada captura de imágenes y su posterior procesamiento.

- Disponer de una cámara RGB con una resolución mínima de 20 MPx para garantizar una adecuada calidad de imagen.
- Tamaño de píxel de 2,8 cm²/ px.
- Óptima altura de vuelo, la cual es específica para cada modelo y se ajusta según el tamaño de píxel deseado (Tabla 1). Este valor se determina mediante el programa GSD Calculator, que estima la altura de vuelo ideal de acuerdo con las características del dispositivo empleado.

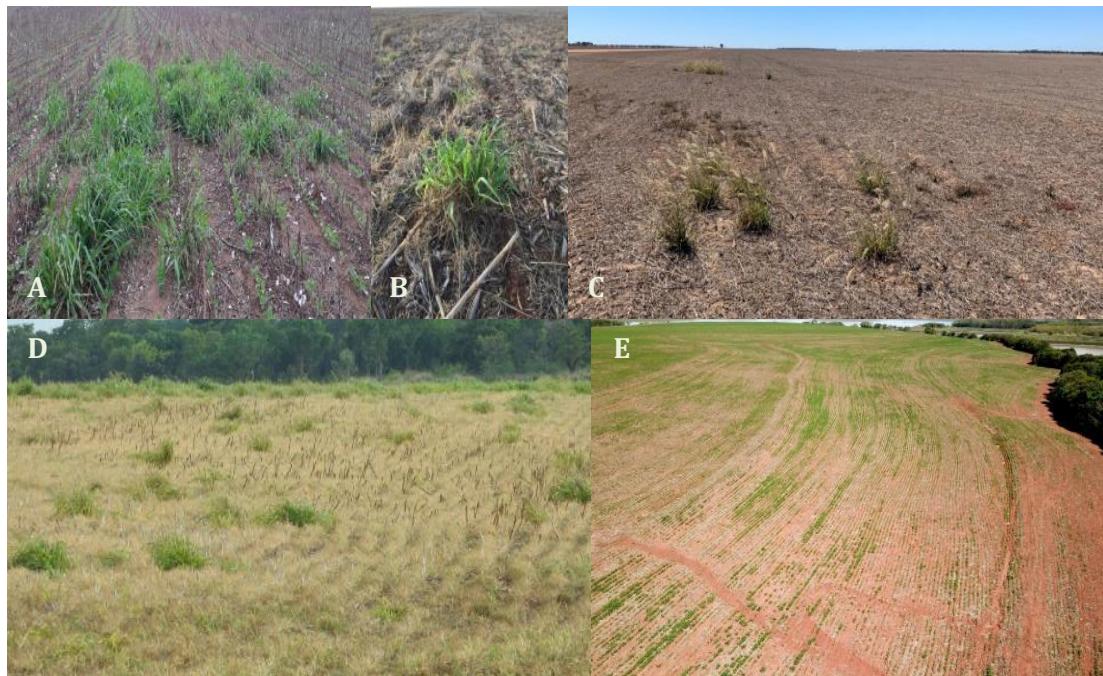


Figura 4. Escenarios para aplicación sectorizada: óptimos A), B) y C); y no adecuados D) y E).

Tabla 1. Altura de vuelo según el modelo de drone. Adaptado de GSD Calculator.

DRONE	ALTURA DE VUELO (m)
eBee X S.O.D.A.	120
DJI Phantom 4pro	105
DJI Mavic 2 Pro	110
DJI Mavic 2 Zoom	120
DJI Mavic Air 2	115
DJI Mavic Air 2S	110
Sensor zemmuse x3	65
DJI Matrice 300 w/P1 (24mm)	150

- Establecer una sobreposición de imágenes del 70/70% para asegurar una adecuada correspondencia entre tomas consecutivas (Fig. 5).

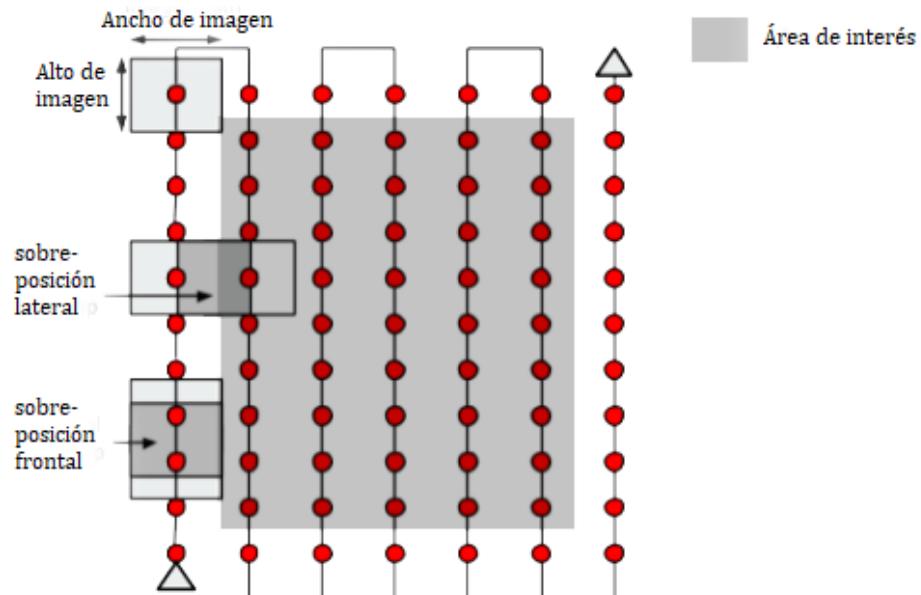


Figura 5. Recorrido del dron sobre el lote (flecha) y el solapamiento de imágenes tomadas. Adaptado de Xarvio, 2024.

- Asegurar condiciones adecuadas de luminosidad y viento durante el vuelo.

Se recomienda realizar los vuelos únicamente con vientos inferiores a 15 km/h y en condiciones de luminosidad constante, ya que las variaciones de luz provocan sombreados. No se debe volar a primeras horas de la mañana, al mediodía ni al atardecer, para evitar la proyección de sombras. Asimismo, la hora óptima de vuelo varía según la época del año: por ejemplo, en verano no es recomendado volar al mediodía, ya que la incidencia solar perpendicular al suelo (90°) genera ruido en las imágenes que puede alterar el procesamiento del algoritmo (Fig. 6).

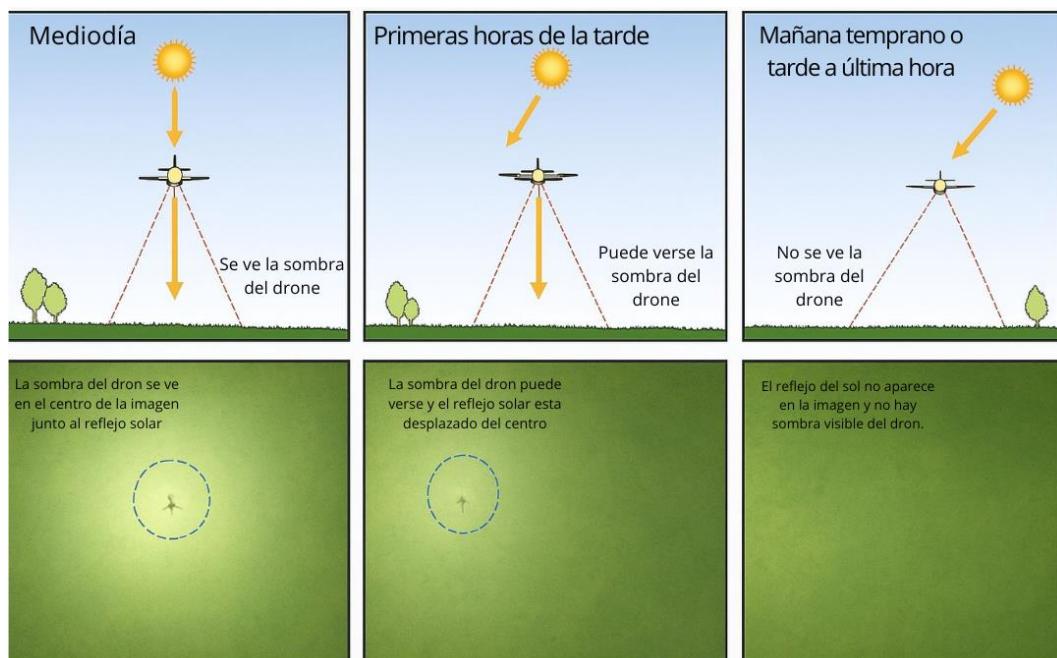


Figura 6. Sombreados en la imagen según el horario de vuelo. Adaptada de Xarvio, 2024.

Una vez obtenidas las imágenes se prosigue de la siguiente manera:

- 1- Análisis con Xarvio.

Las imágenes se cargan en la nube, lo que constituye una ventaja al no requerir equipos con alta capacidad de procesamiento. Xarvio procesa los archivos en un plazo inferior a 24 horas y devuelve el ortomosaico junto con la prescripción sectorizada ON/OFF.

2. Pulverización sectorizada a partir de la prescripción.

La prescripción se obtiene a partir del ortomosaico (Fig. 7), es decir, de la composición de todas las fotografías en una única imagen del lote trabajado. Este mapa puede cargarse en cualquier equipo pulverizador compatible (Tabla 2).

Tabla 2. Equipos compatibles con el archivo brindado por Xarvio.

Vía	Marca y Modelo del equipo	Modelo del monitor
Terrestre	Metalfor	Trimble CFX750 Field IQ Trimble GFX750 (Version 12.40). Precision IQ Raven CR12 Agres isoview 32
	Caiman	Trimble CFX 750 Field IQ E-CON (Version 4.73)
	Golondrin	Arag Bravo 400 s
	STARA Imperador 3000/ 4000/ 3.0/ Gladiador 2300	TOPPER 5500
	JACTO Uniport (2030/ 2530/ 3030/ 4530)	OMNI 700
	Jonh Deere R4038/ M4025/ M4030/ M4040	Trimble CFX 750 Field IQ
	PLA 120J/ 125J/ SIA 3300/ SIA 3600	Monitor JD GS3/ GS4/ GS5
		Monitor JD GS3/ GS4/ GS5
Aérea (Drones)	DJI	T10/ T20/ T25/ T30/ T40/ T50



Figura 7. Mapas brindados por Xarvio. Fuente: BASF.

Consideraciones de aplicaciones sectorizadas

La aplicación sectorizada de herbicidas es una herramienta óptima en escenarios con presencia de manchones o malezas de hasta 15 cm de altura (Xarvio, 2025). Si un lote presenta un nivel de infección cercano al 90% o una elevada dispersión de malezas, es fundamental evaluar la

situación con objetividad ya que, desde el punto de vista logístico y económico, puede resultar más conveniente realizar una aplicación total.

Durante la aplicación sectorizada pueden presentarse errores de georreferenciación conocidos como *buffer*, generalmente de 5x5 o 9x9 m. Esto puede deberse a la precisión del GPS de la maquinaria, las diferencias entre la pulverizadora y el satélite utilizado, así como la velocidad de avance de la maquinaria (Guebsi et al., 2024). Estos errores generan desajustes al momento de abrir y cerrar los aspersores, lo que puede traducirse en aplicaciones imprecisas. En lotes con alta dispersión de malezas, los *buffers* tienden a superponerse, resultando en una aplicación prácticamente total.

El **mapa de presión de malezas** indica la ubicación y concentración de estas, mientras que el **mapa de aplicación** es generado por el sistema a partir de un *buffer*, identificando la presencia de malezas según el tamaño de píxel seleccionado. Por ejemplo, un píxel de 5x5 metros implicaría una aplicación a 15 metros de ancho. Se recomienda comenzar con esta configuración y evaluar la sensibilidad del sistema, procurando minimizar los errores de georreferenciación. Sin embargo, no siempre es posible ya que el ancho de aplicación depende de la máquina y cómo interpreta ese mapa. Por consiguiente, un píxel más grande (como 9x9 m) puede traducirse en una aplicación más generalizada y menos precisa.

En zonas donde la antena RTK (*Real-Time Kinematic*), esté a mayor altura, aumentando el margen de error, puede ser más conveniente utilizar un píxel de 3x3 metros con una aplicación a 9 m de ancho, siempre que la pulverizadora sea compatible (Xarvio, 2025). Esta estrategia permitiría un ahorro mayor de insumos.

Respecto a los monitores de las pulverizadoras terrestres, es crucial que cuenten con la capacidad de realizar corte por sección, una función disponible en más del 80% de los equipos actuales (Tabla 2; Rejeb et al., 2022). Además, es necesario que la licencia del sistema esté activa. En el caso de pulverizadoras con corte pico por pico, el ahorro es aún más significativo, ya que dependerá de la cantidad de cortes que el equipo permite realizar (Pino, 2019).

Drones aplicadores

El **DJI Agras T30** (Fig. 8A) posee una capacidad de carga de 30 l, con un ancho de pulverización de hasta 9 m, dependiendo del tipo de boquillas utilizadas y las condiciones ambientales. Está equipado con 16 boquillas, cámaras FPV duales y un sistema de radar omnidireccional que le permite operar con seguridad en entornos complejos. Su capacidad operativa puede alcanzar hasta 16 ha/h, siendo una opción eficiente para cultivos extensivos como soja, trigo o maíz (DJI, 2023).



Figura 8. Modelos de drones: A) DJI Agras T30, B) DJI Agras T50

El **DJI Agras T50** (Fig. 8B), lanzado más recientemente y adquirido por la empresa a principio de 2025, introdujo mejoras significativas en capacidad, estabilidad y versatilidad. Con un tanque de 40 l y un ancho de trabajo de hasta 10 m, este modelo incorpora un diseño de doble rotor coaxial que mejora la estabilidad durante el vuelo y permite transportar cargas más pesadas. Además, incluye un sistema de radar 4D omnidireccional, y la posibilidad de intercambiar el módulo pulverizador por un tanque de fertilizantes sólidos, lo que amplía su rango de aplicaciones (DJI, 2024).

Condiciones operativas al aplicar

Para una correcta pulverización es necesario considerar el delta T (Fig. 9A). Este parámetro representa la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura del punto de rocío proporcionando información sobre la velocidad de evaporación de las gotas asperjadas y la probabilidad de deriva.

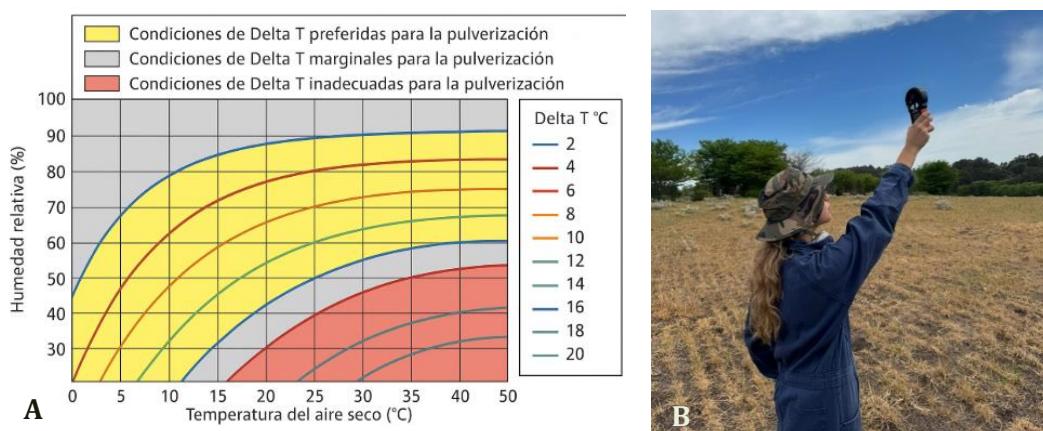


Figura 9. A) Delta T, Adaptado de Wolf & Downer (2021), Sprayers101. B) Uso del anemómetro.

Se recomienda volar a una altura mínima de 3 m para evitar problemas de inversión térmica, ya que al volar demasiado bajo se generan corrientes de aire que pueden provocar una distribución desigual del caldo, lo que disminuye la eficacia de la aplicación, y aumentar el riesgo de deriva contaminando áreas no deseadas (Salyani & Cromwell, 1992).

Este comportamiento del flujo se relaciona con el vórtice, o vórtex: movimiento circular del aire que se forma debajo de los rotores del dron. Este efecto favorece la penetración y cobertura del producto al dirigir las gotas hacia el cultivo. Sin embargo, si la altura es insuficiente, la turbulencia puede invertir dicho flujo y hacer que las gotas asciendan en vez de depositarse de manera uniforme en el blanco (Nobre et al., 2024).

Para asegurar una aplicación adecuada y evitar ráfagas por fuera del rango, también es indispensable que las condiciones ambientales sean las óptimas: el viento debe ser inferior a 15 km/h, verificado mediante pronósticos confiables y anemómetro (Fig. 10B). Además, el vuelo debe realizarse perpendicular a la dirección del viento para minimizar los riesgos de deriva (Salyani & Cromwell, 1992).

Calidad de agua y preparación del caldo

Para asegurar la eficacia del caldo de aplicación es indispensable realizar previamente un análisis de calidad del agua. Los principales parámetros para considerar son la salinidad y el pH (Aapresid, 2012). En esta experiencia, el análisis se efectuó con agua local de napa, la cual registró una dureza de 280 ppm. Considerando que valores superiores a 180 ppm se clasifican como agua dura, el

resultado obtenido corresponde a un agua muy dura, característica en la zona de Tandil. El acondicionamiento se realizó con una solución buffer y una tinción azul, donde cada gota representaba 10 ppm de dureza. Se añadieron 28 gotas hasta lograr el cambio de coloración, confirmando así el valor medido de 280 ppm. La conductividad eléctrica obtenida fue de 0,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 12). La CE es un indicador indirecto del contenido total de sales disueltas, pero no discrimina el tipo de iones presentes, por lo que un valor bajo no garantiza la ausencia de dureza del agua. Por ello, además de medir CE, es necesario evaluar parámetros específicos como dureza (Ca/Mg) y pH para determinar adecuadamente la calidad del agua

El pH del agua analizada fue ligeramente alcalino (7,70), valor relativamente elevado por interferir en la eficacia de los productos fitosanitarios (Fig. 10B). Para corregirlo se empleó WR4, un regulador de pH con capacidad secuestrante de cationes. La adición inicial de 200 cc/1000 l de caldo redujo el pH a 6,25; valor adecuado para insecticidas y fungicidas (6-7,5). Sin embargo, dado que la aplicación se realizaría con herbicidas, cuyo rango óptimo se sitúa entre 4-6, fue necesario continuar ajustando. Con la incorporación de 400 cc/1000 l adicionales se alcanzó un pH de 5,67, valor aún elevado, por lo que se agregaron 114 cc/1000 l más hasta obtener un pH final de 4,96 (Fig. 10C). En total, se utilizaron 714 cc/ 1000 l para lograr el pH adecuado, indicado visualmente por una tinción rosada. Aplicando a la práctica, para el tamaño del tanque de agua del dron, aproximadamente de 500 l, corresponde emplear una cantidad de 350cc.



Figura 10. Evaluación de parámetros de calidad del agua para la aplicación. A) Conductividad eléctrica, B) y C) pH previo y luego de ser corregido con buffer, respectivamente.

En las pulverizaciones con drones, suele emplearse un caudal considerablemente menor que en las aplicaciones terrestres e incluso aéreas. En consecuencia, aunque las dosis de producto

fitosanitario se ajustan a lo indicado en el marbete, el caldo resultante presenta una elevada concentración, lo que aumenta el riesgo de corte del caldo y, por ende, pérdida de eficacia. Para evitar incompatibilidades fisicoquímicas, se recomienda realizar pruebas de compatibilidad a pequeña escala, evaluando distintos tipos y dosis de coadyuvantes.

Agentes compatibilizadores de mezclas

Como se mencionó previamente, al pulverizar con bajos volúmenes de caldo, más de la mitad corresponde a productos fitosanitarios. Esto incrementa el riesgo de corte y consecuentemente se pierde eficacia. Para evitar que esto ocurra, resulta conveniente aplicar agentes compatibilizadores de manera preventiva.

La empresa de agroquímicos Alltec BIO brindó las siguientes opciones:

- Aceites: recomendados cuando la demanda atmosférica es elevada. Ejemplo: A35T GOLD.
- Coadyuvantes: presentan mejor desempeño en otoño e invierno. Ejemplos: A35T o ALL OK.

Asimismo, estos productos permiten limpiar el equipo del dron aplicador cuando se emplean formulaciones muy densas que pueden adherirse y provocar obstrucciones en filtros y picos. Su mecanismo de acción consiste en poner los componentes en fase líquida.

Para las mezclas de herbicidas preemergentes previstas para la campaña se realizaron pruebas con testigos y tratamientos con adyuvantes, con el fin de determinar la formulación preventiva más eficaz para evitar el corte. Las evaluaciones se extendieron durante 10 minutos, tiempo aproximado de aplicación de un dron, para verificar que el caldo permanezca correctamente emulsionado. Las mezclas y resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Pruebas de herbicidas preemergentes y coadjuvantes para los diferentes cultivos.

Cultivo	Herbicidas y Coadyuvantes	Dosis y caudal ady. *
Maíz	Zidua + Atrazina + Glifosato (Fig. 11A)	300 cc A35T Gold
	Atrazina + S- metalocloro + Glifosato (Fig. 11B)	600 cc ALL OK preventivo + 200 A35 T (Fig. 11C)
	Accuron pack + Glifosato + Atrazina	600 cc ALL OK preventivo
Girasol	Flurocloridona + S-metalocloro + Glifosato (Fig. 11D)	800 cc ALL OK preventivo
Soja	Zidua + Glifosato	100 cc A35T
	Metribuzin + Sulfentrazone + Glifosato	300 cc A35T gold

*Dosis expresada en cc por ha, aplicada en un caldo de 10/12 L.



Figura 11. **A)** Comparación de un caldo cortado compuesto por Zidua + Atrazina + Glifosato, donde se aprecia la separación de fases testigo con caldo cortado y separación de fases (izq.) vs. adicionando A35T gold (der.). **B)** Testigo con caldo cortado y separación de fases (izq.). Tratamiento con ALL ok + A35T (der.). **C)** Testigo con tratamiento con ALL OK + A35T (izq.). Tratamiento cortado solo con A35T gold (der.) y **D)** testigo con caldo cortado (izq.). Trat. con 600cc de ALL OK aun caldo cortado (medio). Trat. con 800cc de ALL OK (der.).

Indicaciones y orden de productos para la correcta preparación de la mezcla

Primero se debe llenar el tanque hasta las tres cuartas partes con agua y, a continuación, incorporar los correctores y coadyuvantes sintéticos. Transcurridos 30 minutos, se recomienda iniciar la preparación de la mezcla de fitosanitarios, agregándolos según su solubilidad: primero los gránulos dispersables (WG), luego los polvos mojables (WP), las suspensiones concentradas (SC), los concentrados emulsionables (EC), los concentrados solubles (SL) y, por último, los aceites foliares (estos últimos debido a su bajo pH). Finalmente, completar el cuarto restante del tanque con agua.

IV. EXPERIENCIA PROFESIONAL

Relevamiento del lote

Descripción de la unidad productiva y sus intereses

En una primera instancia, se realizó una evaluación integral de cada unidad productiva, considerando sus condiciones edáficas, topográficas y logísticas. Este análisis permitió identificar factores críticos para la planificación de las aplicaciones, como la accesibilidad al lote, la naturaleza del blanco objetivo (tipo de maleza) y los objetivos específicos de control.

El área de estudio se encuentra en el Establecimiento La Guapa, una explotación agrícola-ganadera que cuenta con una superficie total de 951 ha. La unidad productiva cuenta con 66,65 ha ubicadas cerca de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina ($37^{\circ}29'30.59''$ S, $59^{\circ}00'18.53''$ O; Fig. 12A-B-C). Se encuentra en una altitud de aproximadamente 188 m s.n.m., cuyo relieve pertenece al sistema serrano de Tandilia (Topographic Map, 2024). El clima de la región se caracteriza como templado oceánico (CFB, Köppen), con una precipitación media anual cercana a los 889mm con mayor concentración de lluvias en los meses de verano (Campo et al., 2010).

Dado que se sitúa en una zona serrana, presenta sectores con restricciones para el acceso y operación de maquinaria agrícola terrestre. La solicitud hecha a Latitud Sur consistió en intervenir sobre especies leñosas invasoras para habilitar nuevas áreas de pastoreo, conservando únicamente los árboles necesarios para proporcionar sombra al ganado.

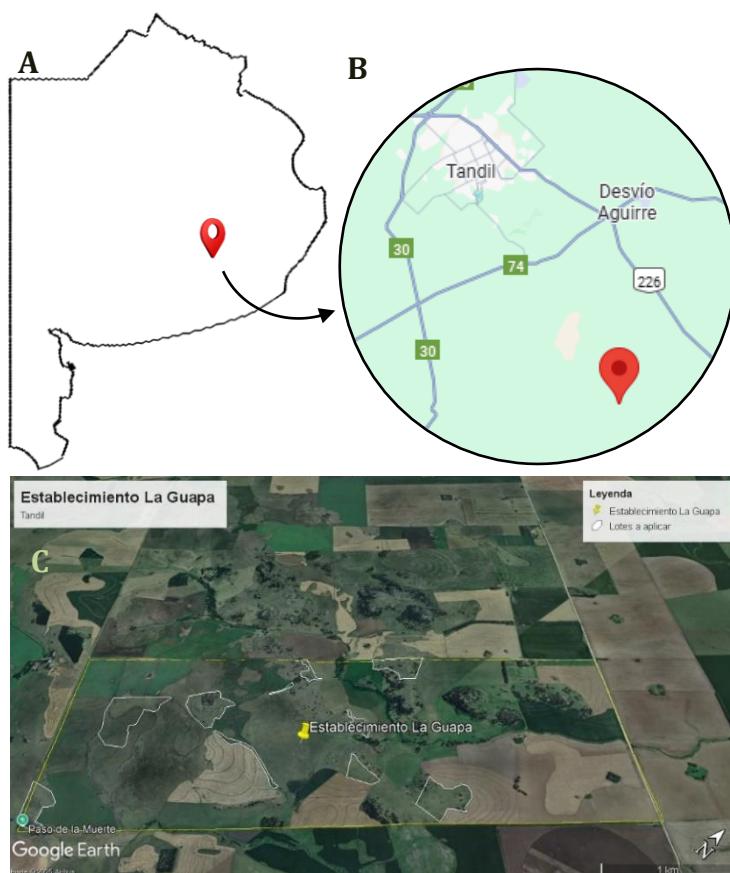


Figura 12. Establecimiento La Guapa. **A)** Ubicación en la provincia de Buenos Aires. **B)** Cercanía a la localidad de Tandil y **C)** lote con las áreas a aplicar delimitadas.

Los sectores a tratar corresponden a pasturas naturales con topografía compleja, incluyendo áreas en laderas de cerro. Presentan distintos niveles de infestación por malezas leñosas invasoras, entre las que se destacan las Fabáceas comúnmente denominadas "Acacios" (*Gleditsia triacanthos* L.), "Chilca" (*Baccharis tandilensis* Seg.) y "Senecio" (*Senecio* sp.). Estas especies objetivo coexisten con los árboles que se prevé conservar, como *Eucalyptus globulus* (Labill.), destinados a proveer áreas de sombra.

Aplicación sectorizada en La Guapa

Prescripción y ejecución del control químico

Tras el sobrevuelo del lote con el DJI M3M para la detección y georreferenciación de malezas leñosas, se elaboró un ortomosaico como mapa de aplicación y se delimitó con precisión el área a asperjar, correspondiente a la superficie afectada por las leñosas. Esta área comprendía 13 ha, equivalentes al 19,5% del total, mientras que no era necesario tratar las 53,65 ha restantes (80,5% de la superficie).

Posteriormente, se prescribió el siguiente tratamiento químico: 6,6 l de agua + 3 l de *Pastar Gold* EW (CORTEVA: Aminopyralid 5,9% + Picloram 11,6% + Triclopyr butoexil ester 20,9%; de Productos Fitosanitarios CASAFE, 2025) + 200 cc de aceite coadyuvante Adventure EC (Esteres metílicos 75%) + 200 cc de fertilizante foliar *Sinergia* (Sulfato de amonio líquido 40%). El herbicida seleccionado es selectivo y sistémico, destinado al control de malezas de hoja ancha de porte herbáceo, semi-arbustivo y arbustivo, en áreas de pasturas de gramíneas (Guía de Productos Fitosanitarios CASAFE, 2025). Se utilizó el agua local previamente corregida. Finalmente, la pulverización se efectuó empleando un Dron DJI Agras T30 (Fig. 13A-B). Es importante aclarar que para tratar con químicos se tomaron todas las medidas de precaución y seguridad correspondientes (Fig. 13D).

Discusión de controles alternativos de especies leñosas

Debido a la complejidad topográfica, el control mecánico de malezas leñosas mediante maquinaria agrícola de arrastre o autopropulsada resultaba sumamente difícil e incluso casi imposible, por lo que no fue considerado en el presente análisis. En consecuencia, las alternativas de control químico consistían en aplicación manual con mochila o cobertura total mediante avión pulverizador. Sin embargo, dada la extensión del campo y la cantidad y tamaño de las plantas a asperjar, el uso de mochila resultaría altamente demandante en mano de obra y tiempo, además de requerir estrictas medidas de seguridad para los operarios (Boonupara et al., 2023), por lo que esta opción se descartó por impráctica. Por consiguiente, la alternativa restante es la pulverización aérea que, aunque no permite cumplir con el requisito de conservar los árboles destinados a sombra debido a la cobertura total de la aspersión, fue seleccionada para el análisis comparativo teórico en el presente trabajo.



Figura 13 A. Aplicación de productos fitosanitarios con Dron DJI Agras T30 teniendo en cuenta las medidas de seguridad. B) conducción del dron, C) pastilla XR Teejet 01y D) elementos de protección personal.

Para la aplicación, se cargaron en el dron el mapa de prescripción elaborado por el Ingeniero agrónomo y el plan de vuelo correspondiente. Con esta información, la aplicación se realizó de manera sectorizada según el esquema generado por el software y las recomendaciones técnicas del profesional (Tabla 3, Fig. 14). Además, se utilizó la aplicación DJI SmartFarm, desde la cual se monitorearon los parámetros operativos y se obtuvo el informe final del vuelo. Como ejemplo, en la Fig. 15, se presenta el informe del lote 18 Cañadón, que posee una superficie total de 2 ha, de las cuales se aplicaron 1,82 ha, utilizando un volumen total de 19,69 L, equivalente a un caldo operativo de 10,81 L/ha. No obstante, en determinadas zonas, algunos árboles fueron identificados manualmente como obstáculo, por lo que la aplicación en estos sectores debió efectuarse de forma manual.

Tabla 3. Esquema de aplicación.

Lote	Target	Sup. (ha)	Observaciones
22 Cerro	Senecio	4	No aplicar ni acacios ni eucalyptus
16A y 15E	Senecio	19	No aplicar acacios. Cuidado pasturas.
7 ^a	Senecio	9	No aplicar acacios.
		32	
24	Senecio	11	Esperar confirmación.
18 cañadon	Acacios	2,2	No aplicar resto de árboles.
10 (contra 9)	Chilcas + Acacios	1,8	No aplicar resto de árboles.
10 (vertiente)	Chilcas + Acacios	2,2	No aplicar resto de árboles.
10 (contra 11)	Chilcas + Acacios	0,45	No aplicar resto de árboles.
12 (cerro)	Chilcas	10	No aplicar árboles en general.
14 (cerro)	Chilcas	7	No aplicar árboles en general.

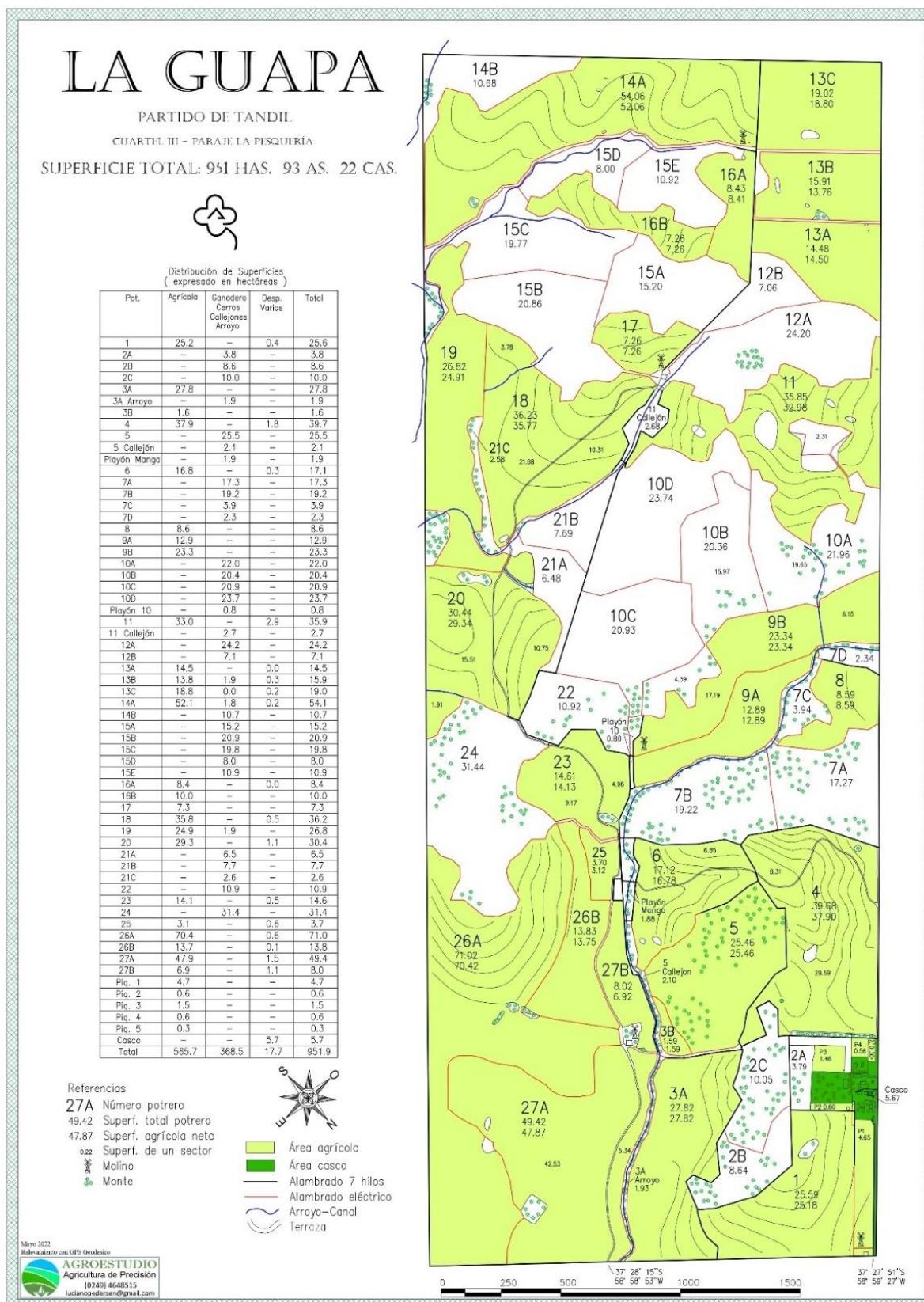


Figura 14. Planimetría del Establecimiento La Guapa.



Figura 15. Informe del lote 18 Cañadon, obtenido por DJI SmartFarm (DJI, 2025).

Para asegurar una cobertura completa y una aplicación eficaz, se realizaron tres pasadas por lote. Este recorrido es automatizado y no altera la dosis aplicada. Para el lote con leñosas el ancho de labor fue de 7 m y la altura de vuelo de 4,5 a 5 m. En el caso de especies herbáceas, se recomienda una altura mínima de 3 m. La pastilla utilizada fue XR Teejet 01 (Fig. 13C), provista de fábrica y no reemplazable en este modelo de dron. A partir del modelo T40 es posible modificar los aspersores.

V. SOLUCIONES AGRONÓMICAS

Control alcanzado en el blanco objetivo

La aplicación resultó efectiva y cumplió con el objetivo de controlar las especies leñosas (Fig. 16 B). Los resultados evidenciaron una notable disminución en su presencia y cobertura dentro del área tratada, demostrando que la estrategia aplicada fue adecuada. Asimismo, el control alcanzado redujo la competencia por recursos con las especies deseadas y a mejoró las condiciones del lote para las labores posteriores. Esto destaca la importancia de incorporar tecnologías de precisión y ajustar las dosis según la densidad y distribución espacial de las malezas, optimizando el uso de herbicidas y maximizando la eficacia del tratamiento



Figura 16 A) Especies leñosas con vegetación activa al momento de la aplicación. **B)** Especies leñosas en estado senescente post aplicación.

Análisis comparativo de estrategias

En la comparación de las tecnologías disponibles para la aplicación sectorizada de herbicidas (Tabla 4), se observa que cada una presenta ventajas y limitaciones asociadas a los objetivos de control y las condiciones particulares del lote.

Relevamiento y análisis multifuncional del cultivo

El uso de drones de **relevamiento** constituye una herramienta de alto valor estratégico, ya que permite generar mapas de alta resolución que integran información sobre la distribución y densidad de malezas, la cobertura del cultivo, los índices vegetativos (NDVI), las deficiencias nutricionales y las limitantes edáficas. Esta capacidad de diagnóstico integral convierte al relevamiento en una herramienta versátil y aplicable a múltiples fines, tanto en el ámbito agrícola como en la ganadería y en la gestión digital de los sistemas productivos.

Control de malezas sectorizado

- **Tecnología Weed Seeker:** se destaca por su elevada precisión y su capacidad de reducir significativamente la cantidad de herbicida asperjado, constituyendo la opción más

eficiente para el control selectivo. Sin embargo, su elevado costo de adquisición restringe la accesibilidad para contratistas y productores.

- **Pulverizadora terrestre de corte por secciones:** constituye una alternativa altamente viable en lotes extensivos debido a su amplia disponibilidad. Mediante la actualización del monitor, permite optimizar el uso de la maquinaria ya existente y combinar la información generada en los relevamientos con aplicaciones de alta eficiencia.
- **Drones aplicadores:** es una opción complementaria que, bajo condiciones específicas, como accesibilidad del lote, características de las malezas, cuidado del suelo y restricciones operativas, pueden reemplazar y/o complementar tanto a las pulverizadoras terrestres como a las aplicaciones aéreas tradicionales, aportando precisión y ahorro de insumos.

En síntesis, la elección de la estrategia óptima requiere evaluar el equilibrio entre precisión, costos y disponibilidad tecnológica, seleccionando la alternativa más adecuada según las particularidades de cada unidad productiva.

Tabla 4. Características de las estrategias de pulverización.

Estrategia	Costo*	Particularidades
Vuelo con M3M + prescripción + aplicación terrestre con corte por sección	12 USD/ha, (6 USD mapeo + 6 USD aplicación)	Alta compatibilidad con equipos del productor o contratistas.
Aplicación con Weed Seeker	12 USD/ha	No requiere mapeo previo. Aplicación en tiempo real, pero pocos contratistas la poseen.
Vuelo con M3M + prescripción + aplicación con drone Agras T50	21 USD/ha (6 USD mapeo + 15 USD aplicación)	Servicio completo con drones. Alta precisión, menos pisoteo, pero mayor costo unitario.
Aplicación con avión	12 USD/ha	Eficiente en tiempo operativo, mayor costo de insumos por aplicación total y menos sustentable, gran consumo de agua, emisiones de CO ₂ .

*valores para lotes extensivos.

Análisis comparativo bajo la triple dimensión

La experiencia práctica de control de especies leñosas fue contrastada, desde un enfoque tridimensional, con la alternativa considerada más factible en el escenario evaluado: aplicación aérea con avión bajo cobertura total.

Análisis económico

Los gastos de insumos y costos operativos de cada estrategia de control se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de insumos y costos operativos en dólar moneda norteamericana (U\$S) de efectuar el control de leñosas con drones o con avión. El costo total se calculó en función a la superficie a tratar en cada caso. La comercialización del herbicida se efectúa en bidones de 10 l, el aceite y el coadyuvante en botellas de 10 y 20 l respectivamente.

	Avión: cobertura total (66,65 ha)				Drone: aplicación sectorizada (13 ha)			
	I tot	U\$S/I	U\$S/ha	U\$Stot	I tot	U\$S/I	U\$S/ha	U\$Stot
Herbicida (3 l/ha)	200	35		6998,3	39	35		1365
Aceite (0,2 l/ha)	13,3	18,5		246,6	2,6	18,5		48,1
Coad. (0,2 l/ha)	13,3	33,3		444,3	2,6	33,3		86,7
Aplicación			12	799,8			15	195
Prescripción							6 *	400,2
Total				8489				2095

* En el costo de contratación se incluye la prescripción previa a la aplicación la cual se realiza en toda la superficie independientemente del área que será efectivamente tratada posteriormente.

La aplicación con avión pulverizador presenta un costo por hectárea estimado de **12 U\$S**, mientras que la realizada con dron cuesta **21 U\$S** (Tabla 5), valor que incluye el relevamiento y el procesamiento de imágenes. Si bien el costo por hectárea del avión pulverizador es inferior, la aplicación sectorizada con dron reduce ampliamente el uso de insumos al tratar únicamente las áreas infestadas, lo que se traduce en menores costos totales y, por ende, mayor rentabilidad para el productor (**U\$S/ total**), y una mejora en la eficiencia del uso de recursos (Tabla 6).

En contraste, el avión pulverizador, pese a su menor costo unitario y mayor capacidad operativa, al aplicar sobre todo el lote indistintamente de la vegetación presente, implica un consumo más elevado de agua, producto y combustible, aumentando tanto el gasto total como la huella ambiental.

Tabla 6. Consumo de recursos y emisiones de CO₂ según método de aplicación.

Aplicación	Agua (l)	Producto (l)	Bidones	Combustible (l)	CO ₂ (kg)
Avión	666,5	226,6	22,66	75,98	173,24 - Directas
Drone	130	44,2	4,42	5	11,4 - Indirectas

Formas de acceso a la aplicación sectorizada

La inversión inicial en un equipo completo de pulverización sectorizada constituye una barrera de entrada significativa para pequeños y medianos productores. No obstante, la expansión del mercado de drones agrícolas y la mayor disponibilidad de proveedores han favorecido una reducción progresiva de los costos, explicada por la dinámica de oferta y demanda: a medida que más empresas ingresan al sector y aumenta la capacidad de producción, la competencia presiona los precios a la baja, volviendo la tecnología más accesible.

Un ejemplo concreto se registró en la exposición AgroActiva 2025 (principio de año), donde un paquete completo del modelo DJI Agras T50 (incluyendo generador, baterías, dispersor, mixer y capacitación) se ofrecía a aproximadamente U\$S 40.000. A fin del corriente año, el DJI Agras T100, con mayores prestaciones, mantiene un precio cercano a los U\$S 40.000, mientras que el T50 se encuentra disponible en torno a los U\$S 25.000, lo que evidencia un abaratamiento relativo y una evolución favorable del mercado.

Aunque la inversión en drones aplicadores sigue siendo elevada, el retorno se vuelve tangible en escenarios donde se aplican herbicidas de alto costo o se requiere precisión en lotes heterogéneos. Además, la posibilidad de integrar los mapas de prescripción digital con

pulverizadoras terrestres, propias o de contratistas, permite reducir costos operativos y avanzar en una adopción gradual de la tecnología. En situaciones específicas, como la necesidad de aplicaciones ultra precisas o la existencia de limitaciones operativas, los drones aplicadores representan una alternativa viable y sustentable.

Es importante destacar que no siempre resulta imprescindible adquirir maquinaria para acceder a los beneficios de la aplicación sectorizada (Fig. 20). La contratación de servicios especializados constituye una vía práctica para muchos productores. En este sentido, el MDM cobra relevancia: una vez generado el archivo de prescripción en el formato correspondiente, puede cargarse en la pulverizadora del contratista, siempre que el monitor sea compatible. De este modo, se obtienen ventajas como el ahorro de insumos, la reducción de costos operativos y un menor impacto ambiental sin necesidad de inversión propia en equipos.

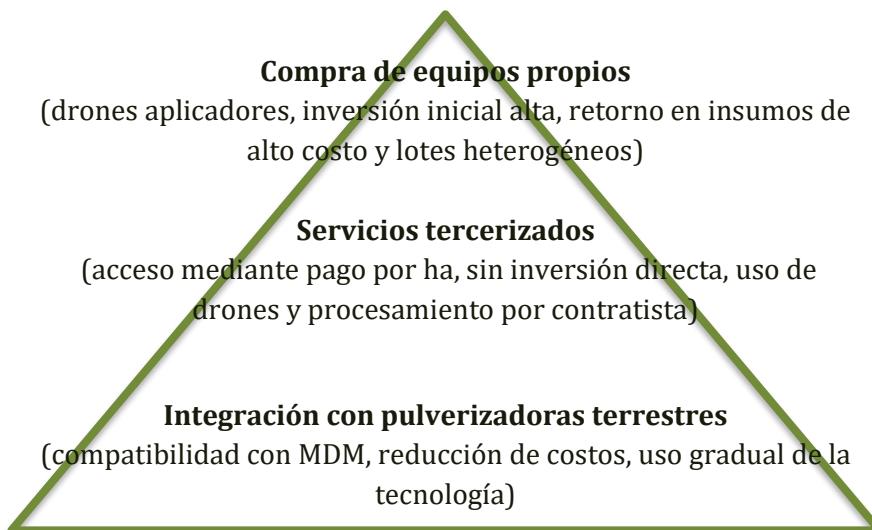


Figura 20. Formas de acceso a la aplicación sectorizada. Fuente: Elaboración propia.

Para la etapa de diagnóstico y generación de prescripciones se emplea un equipo de relevamiento, complementado con el software Xarvio *Field Manager*, que ofrece dos modalidades de uso:

- Procesamiento de imágenes a un costo de **3,0 U\$S/ha**, cuando el productor dispone de su propio dron.
- Servicio completo de vuelo y procesamiento a **6,5 U\$S/ha**, opción que además algunas empresas promocionan ofreciendo el primer vuelo sin costo.

Este esquema de servicios tercerizados y costos decrecientes de hardware contribuye a democratizar el acceso a la tecnología, promoviendo su escalabilidad en distintos sistemas productivos.

En síntesis, desde el punto de vista económico, la viabilidad de esta tecnología emergente depende de:

- Grado de infestación: cuanto menor sea la superficie afectada, mayor es el ahorro en insumos.
- Costo de los insumos: productos de alto valor económico generan retornos más rápidos.
- Frecuencia de uso: en caso de compra, un uso intensivo (propio o como servicio) acelera el recupero de la inversión.

Análisis social

La pulverización con drones, en comparación con la realizada mediante aviones, reduce significativamente el riesgo de intoxicación del operario por productos fitosanitarios. Sin

embargo, dicho riesgo no se elimina por completo, ya que la operación requiere supervisión continua y debe efectuarse bajo el principio de “línea de vista”, que implica mantener contacto visual con el equipo para poder intervenir ante eventuales fallas. En consecuencia, el operador permanece en proximidad al área tratada, lo que mantiene un cierto grado de exposición. La inhalación de aire contaminado durante la aplicación constituye la principal causa de intoxicaciones agudas, originadas por la exposición a altas dosis en breves períodos de tiempo, que demandan atención inmediata y pueden resultar fatales (Boonupara et al., 2023; Landini et al., 2019). Asimismo, el uso de drones puede contribuir a minimizar los riesgos de accidentes laborales, como derrames u otros incidentes que ocasionan intoxicaciones cuando los fitosanitarios, tanto líquido como hidrosolubles, entran en contacto con la piel y se difunden en los tejidos (Ramírez & Lacasaña, 2001).

Los trabajadores agrícolas y las comunidades rurales presentan un mayor riesgo de intoxicación por agroquímicos que la población general, debido a su exposición a compuestos transportados por el aire (Boonupara et al., 2023). En este estudio, el volumen de caldo aplicado se redujo cinco veces al emplear aplicaciones localizadas en comparación con las de cobertura total (Tabla 6), lo que demuestra que el uso de drones contribuye a disminuir dicho riesgo.

La dimensión social de la sustentabilidad implica equidad intra e intergeneracional, es decir, garantizar que la innovación tecnológica no se concentre en pocos actores, sino que se traduzca en oportunidades más amplias para productores de diferentes escalas (Enkerlin Hoeflich et al., 1997; Minaverry, 2019). Bajo este enfoque, los drones no solo mejoran la productividad, sino que también pueden contribuir a reducir brechas socioeconómicas en el sector, mientras sean acompañados de políticas de capacitación, financiamiento y marcos regulatorios adecuados.

Por lo tanto, las soluciones digitales y de AP generan un beneficio social directo: reducen los riesgos para la salud de los operarios y democratizan el acceso a tecnologías avanzadas, especialmente para pequeños y medianos productores, favoreciendo la inclusión tecnológica en el sector (BASF, 2023; Rejeb et al., 2022).

No obstante, los resultados muestran que la adopción de drones aún enfrenta desafíos sociales y estructurales, como los costos iniciales de inversión, la necesidad de formación especializada y la falta de marcos normativos claros en muchos países (Zhang et al., 2022; Katekhar & Cheruku, 2022; TN, 2025). Pese a estas barreras, su potencial para mejorar la seguridad laboral, disminuir la dependencia de mano de obra intensiva y aumentar la resiliencia frente al cambio climático y la variabilidad del mercado de trabajo resulta indiscutible (Ahirwar et al., 2019; Guebsi et al., 2024).

Análisis ambiental

La elección del método de pulverización resulta decisiva, ya que cada alternativa presenta características propias que determinan su potencial de contaminación ambiental, considerando aspectos como la volatilización, la deriva y los efectos en áreas adyacentes (Boonupara et al., 2023). De hecho, uno de los principales problemas de la aplicación aérea de fitosanitarios es la deriva, es decir, la fracción del producto que no alcanza el blanco por perderse en la atmósfera o depositarse en áreas no objetivo. Durante la pulverización en zonas agrícolas, entre el 30 y el 50% de la mayoría de los agroquímicos se dispersan en el aire y entre un 10 y un 60% pueden desplazarse a más de 300 metros en función de las condiciones climáticas (Salyani & Cromwell, 1992; Boonupara et al., 2023). Este fenómeno, junto con la deposición en suelos y cuerpos de agua adyacentes, explica por qué cerca del 47% del producto no llega al objetivo permaneciendo en el ambiente y, consecuentemente afectando a los enemigos naturales de las plagas, reduciendo las poblaciones de polinizadores, causando contaminación ambiental y amenazando la salud humana

y animal (Ramírez & Lacasaña, 2001). En Argentina, evidencias recientes confirman esta problemática: se han detectado residuos de plaguicidas tanto en aguas superficiales, subterráneas como en agua destinada al consumo humano (Aparicio & De Gerónimo, 2024; Mayora, 2024). Como se indicó previamente, la aplicación localizada reduce el uso de insumos y, en consecuencia, la infiltración de sustancias químicas en las aguas subterráneas (Ahirwar et al., 2019).

En aplicaciones aéreas mediante aeronaves la presencia de vórtices de punta de ala contribuye a la desviación de las gotas de su trayectoria, lo que eleva el riesgo de deriva, especialmente cuando la liberación se efectúa a mayor altitud. En ese contexto, la pulverización con drones puede ofrecer una alternativa más controlada al permitir menor altura de vuelo y una mayor precisión de aplicación; sin embargo, la reducción de deriva o volatilización no está asegurada y depende de parámetros como la velocidad del dron, la altura, el tamaño de las gotas, el viento y la configuración de la boquilla.

Otra ventaja de las aplicaciones dirigidas es su eficacia en el control de malezas específicas, permitiendo controlar manchones resistentes sin exponer el resto del lote a principios activos alternativos, lo que contribuye a retrasar la aparición de nuevas resistencias (Hulme, 2023).

Los datos del presente trabajo refuerzan este potencial: se estima un ahorro del 80,5% en agua y envases plásticos, y una reducción del 93,4% en combustible, lo que se traduce en una disminución proporcional de las emisiones de CO₂ (Tabla 7). Esta reducción impacta directamente en la huella de carbono de la operación, disminuyendo su contribución al cambio climático y reforzando la sostenibilidad de la práctica agrícola (Enkerlin Hoeflich et al., 1997).

Desde esta perspectiva, la incorporación de drones no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también se alinea con los principios de sustentabilidad ambiental, entendida como el equilibrio entre productividad, preservación de recursos naturales y reducción de impactos negativos (Enkerlin Hoeflich et al., 1997; Minaverry, 2019).

Tabla 7. Ahorro de insumos en el método de aplicación seleccionado: drones.

Ahorro avión vs drones	Agua (l)	Envases plásticos	Combustible (l)	Emisiones CO ₂ (kg)
Cantidad	537	18,24	70,98	161,84
Porcentaje (%)	80,5	80,5	93,4	93,4

Análisis integral

Es relevante destacar que la aplicación localizada de agroquímicos mediante drones contribuye al cumplimiento de diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En primer lugar, favorece la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos, al constituir una práctica agrícola resiliente que incrementa la productividad y preserva los ecosistemas (ODS 2). Asimismo, promueve una mayor productividad económica a través de la modernización tecnológica y la innovación en el agro, desvinculando el crecimiento económico de la degradación ambiental (ODS 8).

Por otra parte, al reducir las emisiones de CO₂, el consumo de combustible, agua y envases plásticos, así como la dispersión de agroquímicos al ambiente, se contribuye a mitigar el cambio climático (ODS 13). Del mismo modo, la menor liberación de fitosanitarios al aire, agua y suelo disminuye sus efectos adversos en la salud humana (ODS 12), reduce la contaminación de aguas subterráneas por percolación (ODS 6) y limita la afectación de ecosistemas aledaños, resguardando la biodiversidad (ODS 15).

En síntesis, estas prácticas contribuyen, de manera directa o indirecta, a erradicar la pobreza, proteger el planeta y mejorar la calidad de vida y las perspectivas de las personas a nivel global (ODS, 2023).

En el actual escenario productivo, la incorporación de nuevas tecnologías (incluidas aquellas vinculadas con la robótica) constituyen un aspecto estratégico, ya que los drones son una herramienta para una agricultura eficiente y un futuro de alta tecnología (Pino, 2019). Este proceso debe desarrollarse desde una perspectiva objetiva y en consonancia con los principios de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental, dado que el manejo sustentable de malezas implica integrar la eficiencia productiva con la reducción de impactos ambientales (Efficatia, s.f.).

Más que una competencia entre aviones y drones aplicadores, el escenario futuro se orienta hacia un modelo holístico integral, en el que los drones se empleen para aplicaciones focalizadas, monitoreo y recolección de datos, mientras que los aviones mantengan su rol en grandes extensiones agrícolas (BASF, 2023).

A ello se suma la capacidad de los drones de relevamiento para generar mapas de alta resolución y monitorear grandes áreas en poco tiempo, lo que facilita identificar sectores que requieren tratamientos puntuales (Dutta & Goswami, 2020; Nobre *et al.*, 2024). Estas funcionalidades los posicionan como una herramienta estratégica dentro de la agricultura de precisión, donde la innovación tecnológica no solo contribuye a incrementar rendimientos, sino también a proteger el ambiente y garantizar la sostenibilidad a largo plazo (Pino, 2019; Zhang *et al.*, 2022).

Este esquema integrado favorece un manejo más eficiente y sostenible de los cultivos, en concordancia con las Buenas Prácticas Agrícolas y con estándares de sustentabilidad agrícola globales (Minaverry, 2019).

Desafíos técnicos y operativos

La batería constituye una limitante operativa del VANT, ya que condiciona directamente su autonomía (Pino, 2019). A mayor cantidad de recorridos dentro del lote, a mayor velocidad ocurre el consumo energético. Para mitigar esta restricción, la empresa adquirió dos baterías adicionales: mientras una se utiliza en la aplicación, las otras se cargan mediante un generador inverter de 12,000 IEP, mono cilíndrico con inyección electrónica.

En condiciones de terreno plano, una batería permite cubrir aproximadamente 1 ha de aplicación efectiva. En áreas irregulares, como zonas de cerros con mayor presencia de obstáculos y necesidad de maniobras adicionales, la cobertura se reduce a unos 0,8 ha. Se recomienda utilizar la batería hasta un 20% de su capacidad, reserva necesaria para asegurar su retorno punto de origen. En términos operativos, la batería ofrece una autonomía de aproximadamente 10 a 12 minutos, dependiendo de la topografía, y requiere entre 9 a 10 minutos para completar su carga. Si bien la adquisición de baterías adicionales constituye una solución parcial, el uso del generador implica consumo de combustible limitando la sostenibilidad energética de la operación. Además, el elevado costo de las baterías continúa siendo un factor restrictivo, generando un “cuello de botella” en la eficiencia de la aplicación y provocando demoras en la actividad.

La señal del VANT en el lote representa otra limitante: al alejarse demasiado del operador se pierde la comunicación, lo que impide monitorear la presencia de obstáculos, nivel de producto y otros parámetros críticos (Dutta & Goswami, 2020). Para mejorar la precisión y la confiabilidad de posicionamiento, estos equipos incorporan la antena relay, que optimiza la navegación y operación.

Adopción de la tecnología por los productores

Aunque la demanda de servicios con drones aun no es generalizada entre los productores agropecuarios, su adopción muestra un crecimiento acelerado. En 2023, Argentina importó alrededor de 90 drones agrícolas, cifra que ascendió a 600 hacia agosto de 2024. Para 2025, se proyecta que el parque operativo alcance unas 2.000 unidades, evidenciando una marcada

tendencia de expansión en el uso de esta tecnología en el sector agrícola nacional (Fig. 21; Infocampo, 2025)

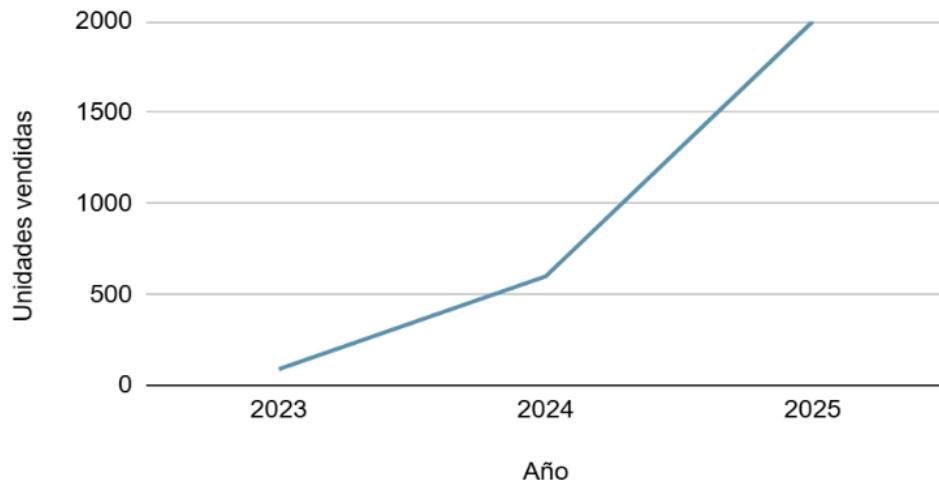


Figura 21. Mercado nacional de drones en los últimos 3 años. Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, Latitud Sur, al contar con un campo experimental propio, dispone de un espacio estratégico para exhibir sus capacidades tecnológicas mediante jornadas demostrativas. Estas actividades fortalecen su visibilidad, atraen potenciales clientes, captan el interés del público y consolidan, su posicionamiento como referente en agricultura de precisión.

Un actor clave en este proceso es Xarvio, perteneciente a BASF, que recomienda a la empresa a nuevos clientes, reforzando su imagen como pionera en la adopción y aplicación de tecnologías innovadoras. En esta línea, Latitud Sur se distingue por una evolución constante, incorporando herramientas que permiten brindar soluciones agronómicas a las problemáticas que enfrentan los productores.

En un corto período, a comienzos de 2025, la empresa incorporó el dron aplicador DJI Agras T50, reflejando su compromiso con la innovación tecnológica y la modernización de sus servicios. Esta incorporación responde a la necesidad de mantenerse competitiva como prestadora de servicios y actor relevante dentro del mercado agropecuario, lo que implica una búsqueda constante de equipamiento avanzado y alternativas de financiamiento adaptadas a la dinámica del sector. Hacia finales de 2025, se sumó el modelo DJI Agras T100, evidenciando el rápido progreso en tecnologías de aplicación aérea y del elevado nivel de adopción dentro de la AP.

Este comportamiento evidencia cómo las organizaciones se ven impulsadas a adoptar herramientas de última generación para conservar su competitividad, en un entorno marcado por la acelerada revolución tecnológica. Desde una perspectiva sociológica, esta tendencia puede interpretarse como una manifestación de la tecno-dependencia, dado que la sociedad contemporánea depende crecientemente de dispositivos y sistemas automatizados que influyen en la toma de decisiones y en la organización de las actividades cotidianas (Borgmann, 1999; Turkle, 2011). En el ámbito empresarial, esta dependencia se traduce en la actualización tecnológica permanente para evitar el rezago frente a competidores que adoptan nuevas herramientas de manera continua.

En una era digital en expansión, surge también el desafío de identificar y acercar soluciones modernas y eficaces a las necesidades del productor. Este proceso requiere una fase prolongada de prueba y error, ensayos a campo y validación de resultados para generar confianza a partir de

evidencias concretas. Con este propósito, la empresa mantiene un contacto cercano con productores y referentes del sector, revalidando las propuestas y mostrándose tanto en sus propios campos como en las estaciones experimentales de la firma. Estas instancias de intercambio se concretan en diversas jornadas a lo largo del año, en función de las problemáticas del ciclo productivo. Un ejemplo es la jornada realizada el 6 de marzo de 2025, en el marco del programa "Cultivar" que incluyó una sección dedicada a drones. Esta actividad permitió responder a las inquietudes que aún persisten en torno a una tecnología en expansión, que, pese a su crecimiento, continúa generando interrogantes entre los usuarios.

VI. CONSIDERACIONES FINALES

Los drones se emplean habitualmente como complemento de aviones y pulverizadoras terrestres; sin embargo, en superficies reducidas pueden incluso sustituirlos. En condiciones de difícil acceso y con altas exigencias de selectividad en la aplicación, como en el caso analizado, constituyen la única alternativa viable para abordar la problemática. La aplicación sectorizada con drones no solo representa un avance en la mecanización y digitalización, sino también una estrategia integral que responde simultáneamente a objetivos productivos, económicos y socioambientales. Su adopción se proyecta como un eje central en el desarrollo de un modelo agrícola más eficiente, resiliente y sostenible, capaz de afrontar los desafíos de los procesos productivos y del cambio climático desde una triple dimensión.

Este trabajo me dejó dos grandes aprendizajes: en primer lugar, que la tecnología no reemplaza la experiencia humana, sino que la complementa y, en segundo lugar, que la innovación en agricultura no radica únicamente en disponer de equipamiento avanzado, sino en saber utilizarlo con criterio y comprender su potencial. En esta línea, la inteligencia artificial no viene a sustituir al productor, sino a potenciar su capacidad de análisis y toma de decisiones. La tecnología, por sí sola, constituye una herramienta; el verdadero valor se encuentra en las personas que saben aplicarla de manera responsable y con conocimiento.

En cuanto a los logros alcanzados, la PPS me permitió insertarme en el ámbito laboral, ampliar mi red de contactos y desafiarme personal y profesionalmente en un sector caracterizado por la constante evolución tecnológica. Al mismo tiempo, me brindó aprendizajes que seguiré fortaleciendo, especialmente en el desarrollo de soluciones agronómicas adaptadas a las problemáticas cambiantes del día a día en el campo.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. (2012, enero 27). *Calidad de agua para pulverizaciones*. Fecha de último acceso: 4/12/2025. <https://www.aapresid.org.ar/blog/calidad-de-agua-para-pulverizaciones/>
- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(1), 2500–2505. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>
- Aparicio, V., & De Gerónimo, E. (2024). Pesticide pollution in Argentine drinking water: A call to ensure safe access. *Environmental Challenges*, 14, 100808. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100808>
- BASF. (2023). *Drones in agriculture*. BASF Agricultural Solutions. Fecha de último acceso: 20/08/2025. <https://agriculture.bASF.com/global/en/business-areas/digital-farming/drones-in-agriculture>
- Boonupara, T., Udomkun, P., Khan, E., & Kajitvichyanukul, P. (2023). Airborne pesticides from agricultural practices: A critical review of pathways, influencing factors, and human health implications. *Toxics*, 11(10), 858. <https://doi.org/10.3390/toxics11100858>
- Borgmann, A. (1999). *Technology and the character of contemporary life: A philosophical inquiry*. University of Chicago Press.
- CASAFE. (s.f.). *Guía online de productos fitosanitarios: Pastar gold*. Fecha de último acceso: 22/08/2025. <https://guiaonline.casafe.org/index.php/welcome/item/.prd=959.mrc=3050.emp=10.uso=25>
- Campo, A., Picone, N., & Fernández, A. M. (2010). Análisis anual de las precipitaciones en la ciudad de Tandil (noviembre 2008 – octubre 2009). *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 8, 177–195.
- DJI. (2024). *Agras T50 specifications*. DJI Agriculture. Fecha de último acceso: 20/08/2025. <https://www.dji.com/agras-t30>
- DJI. (2025). DJI SmarFarm (Versión 4.20.1). Aplicación móvil. SZ DJI Technology Co., Ltd.
- DJI Agriculture. (2025). *Tabla de precios AgroActiva 2025*.
- Dutta, G., & Goswami, P. (2020). Application of drone in agriculture: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(5), 181–187. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5d.10529>
- Efficatia.pro. (2022). *Manejo sustentable de malezas*. Fecha de último acceso: 20/08/2025. <https://efficatia.pro/manejo-sustentable-de-malezas/>
- Enkerlin Hoeflich, E., Cano-Santana, Z., & Dirzo, R. (1997). La sustentabilidad en la agricultura: criterios y perspectivas. *Gaceta Ecológica*, 44, 55–66.
- Fernández, O., Leguizamón, E. S., Acciari, H. A., Troiani, H. O., & Villamil, C. B. (2018). *Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo III: Historia y biología*. Bahía Blanca: Ediuns.
- Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones*, 8(11), 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
- Hulme, P. E. (2023). Weed resistance to different herbicide modes of action is driven by agricultural intensification. *Field Crops Research*, 292, 108819. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108819>
- Infocampo. (2025). *Drones para pulverización: los pros y contras de una tecnología con mucho para crecer en Argentina*. Fecha de último acceso: 4/12/2025. <https://www.infocampo.com.ar/el-uso-de-drones-para-pulverizacion-agricola-los-pros-los-contras-y-un-gran-pendiente/>

- Katekhar, V., & Cheruku, J. K. (2022). The application of drone technology for sustainable agriculture in India. *Current Agriculture Research Journal*, 10(3), 352–365. <https://doi.org/10.12944/CARJ.10.3.19>
- Latitud Sur. (s.f.). *Experimentación – implementación*. Fecha de último acceso: 19/08/2025. <https://www.latitudsuragro.com/>
- Mayora, G., Sagardoy, M. E., Repetti, M. R., Paira, A., Frau, D., & Gutiérrez, M. F. (2024). Spatiotemporal patterns of multiple pesticide residues in central Argentina streams. *Science of the Total Environment*, 906, 167014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167014>
- Minaverry, C. (2019). Algunas consideraciones sobre la sustentabilidad y el derecho. Instituto de Investigaciones Jurídicas y Sociales “Ambrosio L. Gioja”, Facultad de Derecho, UBA.
- Nobre, F. L. D. L., Santos, R. F., Herrera, J. L., Araújo, A. L. D., Johann, J. A., Gurgacz, F., ... & Prior, M. (2024). Use of drones in herbicide spot spraying: A systematic review. *Advances in Weed Science*, 41, e020230014. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00028>
- ODS. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Fecha de último acceso: 2/09/2025. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Peláez, D. V., de Villalobos, A. E., & Andrioli, R. J. (2014). Malezas leñosas en pastizales naturales: Ecología y manejo. En O. Fernández, E. Leguizamón & A. Acciari (Eds.), *Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y manejo* (1.ª ed.). Editorial de la Universidad Nacional del Sur – Ediuns.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>
- Ramírez, J. A., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 4(2), 67–75.
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Ingeniería Agrícola*, 11(4). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1469>
- Salyani, M., & Cromwell, R. P. (1992). Spray drift from ground and aerial applications. *Transactions of the ASAE*, 35(4), 1113–1120.
- TN. (2025, abril 21). *Drones para aplicaciones agrícolas: Una herramienta en auge que espera su marco legal*. Fecha de último acceso: 20/08/2025. <https://tn.com.ar/campo/2025/04/21/drones-para-aplicaciones-agricolas-una-herramienta-en-auge-que-espera-su-marco-legal/>
- Topographic Map. (2024). *Mapa topográfico de Tandil*. Fecha de último acceso: 26/08/2025. <https://es-ar.topographic-map.com>
- Turkle, S. (2011). *Alone together: Why we expect more from technology and less from each other*. Basic Books.
- Wolf, T., & Downer, R. (2021). *Understanding Delta T*. Sprayers101. Fecha de último acceso: 4/12/2025. <https://sprayers101.com/delta-t/>
- Xarvio. (2025). *xarvio FIELD MANAGER* (Software). BASF Digital Farming GmbH. <https://www.xarvio.com>
- Xie, C., Gao, Y., Zhong, Y., & Zhao, Z. (2024). Impact of digital agro-technology services on technical efficiency and income of small-scale farmers: Empirical study from mango production in China. *Agriculture*, 14(12), 2143. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122143>

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

Zhang, S., Sun, J., Onwude, D. I., Li, Z., & Chen, J. (2022). Applications of agricultural drones in crop production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107096>