

Este trabajo se encuentra alineado con los objetivos de intercambio de conocimiento, experiencias y recursos de valor recogidos en la Asociación Nacional de Agricultura de Precisión (ANAP)

CONTROL DE MALAS HIERBAS EN MAÍZ EN EL CONTEXTO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ana I. de Castro¹, Carlos Martín², José María Montull³, José Manuel Peña⁴

¹ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), CSIC. Madrid

² BayerCropscience S.L., Quart de Poblet, Valencia

³ CEO-IPMwise. Agrotecnio, Universitat de Lleida. Lleida

⁴ Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias (ICA), CSIC, Madrid

La gestión de los cultivos evoluciona con los tiempos adaptándose a las nuevas herramientas disponibles. En el caso de las malas hierbas, las prácticas de manejo se han visto condicionadas también por aspectos legales, ambientales y socio-económicos. Esta situación se refleja claramente en el cultivo del maíz, de alta importancia tanto a nivel mundial como nacional, cuyas producciones son gravemente afectadas por las infestaciones de malas hierbas y su control se ha visto mermado por las nuevas normativas. Sin embargo, las recientes herramientas tecnológicas y digitales generan nuevas oportunidades para el control óptimo de las malas hierbas en maíz en el contexto de la Agricultura de Precisión, con aplicaciones localizadas, dosis adecuadas y en el momento oportuno.

LA IMPORTANCIA DE LAS MALAS HIERBAS EN EL CULTIVO DEL MAÍZ

Desde la antigüedad, los agricultores han escardado los maizales a mano o con ayuda de animales o maquinaria para eliminar la competencia de las malas hierbas; actualmente, todavía se hace así en millones de hectáreas en el mundo. El maíz es un cultivo especialmente sensible a la presencia de malas hierbas (mh), siendo, además, uno de los cereales más tecnificados y productivos del mundo, donde el uso de herbicidas está muy generalizado por ser una de las formas más eficaces para el control de mh.

Es difícil determinar las pérdidas de producción derivadas de la competencia de mh en maíz, ya que éstas dependen de factores muy variables como el estado del cultivo, la especie de mh, su patrón de emergencia o



Figura 1. Dron DJI Matrice 300RTK tomando imágenes en maíz.

su densidad, aunque en términos generales se estiman en pérdidas potenciales del 40% (Oerke 2006). Sí está constatado que el maíz es muy sensible a la competencia de mh en los primeros estados de desarrollo afectando en gran medida a la producción, por lo que el control temprano es la medida más aconsejada (Dorado & Fernández-Quintanilla, 2017).

Los herbicidas deben cumplir su función de eliminar las mh de forma eficaz a la vez que generan el menor impacto ambiental, por lo que el diseño de los tratamientos debe hacerse de manera optimizada, tanto en dosis, localización, como momento adecuados.

AGRICULTURA DE PRECISIÓN COMO ESTRATEGIA DE MANEJO PARA EL CONTROL DE MALAS HIERBAS Y LA REDUCCIÓN DE APLICACIONES HERBICIDAS

La Agricultura de Precisión (AP) tiene como objetivo realizar un manejo localizado del cultivo ajustando la aplicación de insumos y labores a las necesidades reales de cada punto de la parcela. Tanto órganos de la administración europea (Consejo Europeo

de Agricultura y Pesca, AGRIFISH Council) como nacionales, el MAPA en el caso de España, han apostado por el fomento de la AP como estrategia para lograr un uso sostenible y eficiente de los productos fitosanitarios (incluyendo los herbicidas) y alcanzar, a su vez, el reto de reducir las aplicaciones de estos productos, ambas propuestas recogidas en el Pacto Verde Europeo y la estrategia De la Granja a la Mesa.

En el contexto de la AP, el control localizado de mh (SSWM, por sus siglas en inglés) consiste en la aplicación de tratamiento herbicida u otra medida de control sólo en las zonas infestadas, adaptando el tratamiento a la cobertura y tipología de mh presentes. Son las nuevas tecnologías, como la teledetección (imágenes de dron y satélite), inteligencia artificial, robótica, análisis masivo de datos (big data), sistema de soporte a la decisión (DSS), etc., las que están permitiendo elaborar mapas de mh y mapas de prescripción con alta precisión y ajustar los tratamientos a la flora de cada punto de la parcela.

La utilización de técnicas de control localizado de mh ha constatado ahorros hasta del 80% en el uso de

herbicidas, por ejemplo, en el control de crucíferas en trigo con imágenes de satélite de alta resolución (QuickBird) (de Castro et al., 2013) o control de plántulas de mh en algodón (de Castro et al., 2018), control de grama en cubiertas vegetales de viñedos (de Castro et al., 2020) y control de sorgo o cañota en maíz (Peña et al., 2021) con imágenes de dron.

NUEVAS NORMATIVAS EN HERBICIDAS

El uso de los herbicidas de preemergencia se considera muy eficaz para controlar la mayor parte de gramíneas y dicotiledóneas anuales, siendo escasos los ejemplos de resistencia a los ingredientes activos autorizados en este momento. Sin embargo, entre los principales inconvenientes de este tipo de herbicidas está el riesgo de contaminación de aguas subterráneas, dado que generalmente, se trata de ingredientes activos con persistencia en el suelo. De hecho, en las principales zonas regables de nuestro país donde se cultiva maíz están apareciendo residuos de herbicidas, por lo que existe una gran presión para optimizar su uso y reducir estos residuos. Existen tres vías de contaminación posibles: a) escorrentía en caso de excesos de riego o lluvia torrencial, b) deriva en el momento del tratamiento y c) movimiento del herbicida hacia capas freáticas.

El S-metolacloro se convirtió, tras la caída del registro de alacloro y acetocloro, en el ingrediente activo más utilizado en el control de mh gramíneas en pre-emergencia del maíz. Sin embargo, a pesar de las reducciones de uso tanto en ámbito anual como plurianual, no se han observado disminuciones significativas en los valores de contaminación. Es por esto que el día 12 de diciembre de 2023 la Comisión Europea redactó el Reglamento de Ejecución 2024/20 para no renovar la autorización del uso del S-metolacloro, siendo el 23 de julio de 2024 la fecha límite para

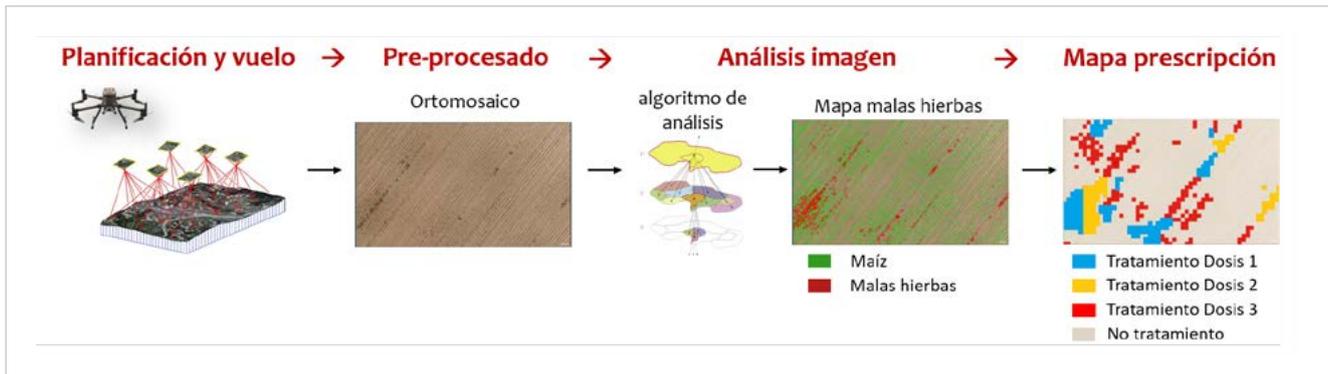


Figura 2. Protocolo para la elaboración de Mapas de Prescripción a partir de imágenes tomadas con dron.

mantener la autorización de uso de este herbicida por los estados miembros. Por tanto, es importante tener en cuenta los cambios que se están produciendo estos últimos años en las hojas de registro de los productos fitosanitarios con el objetivo de mitigar riesgos ambientales. De las 3 vías de contaminación antes mencionadas, las dos primeras se pueden mitigar respetando las bandas de seguridad que vienen establecidas en la etiqueta. Y en general, para todos los formulados que contienen S-metolacloro, terbutilazina, petoxamida o dimetnamida hay que respetar una franja de seguridad de 20m hasta las masas de agua superficiales.

Para optimizar los tratamientos en preemergencia puede plantearse una aplicación a dosis variable dependiendo del tipo de suelo, ya que las arcillas y la materia orgánica tienen capacidad para adsorber gran cantidad de ingredientes activos. En muchas etiquetas se indica un "rango de dosis" priorizando las dosis más bajas en suelos ligeros y con tasas de materia orgánica inferiores al 2%. Así, después de una zonificación de la parcela se pueden generar mapas de tratamiento para realizar una aplicación variable con lo que nos aseguramos mantener la eficacia herbicida con la menor cantidad posible de fitosanitarios.

TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE MALAS HIERBAS

Existen en la actualidad herramientas tecnológicas que permiten optimizar el manejo de las mh, ya sea para la elaboración de mapas que indiquen la presencia de éstas, en la ayuda a la toma de decisiones indicando la materia activa y la dosis a aplicar o generando mapas de prescripción. A continuación, se presentan varios ejemplos.

Imágenes de dron y su análisis

Los drones son considerados una de las tecnologías más disruptivas incorporadas al sector agrario por su autonomía y flexibilidad para planificar los vuelos a demanda; su velocidad; su versatilidad, que le permite equiparse con sensores de diferente rango espacial y espectral; y la posibilidad de elaborar Modelos Digitales de Superficie (MDS) y extraer información tridimensional de los cultivos (Figura 1). Estas características los hacen especialmente útiles para implementar estrategias de AP, solventando algunas de las limi-

taciones de otras plataformas aéreas, como satélites o aviones tripulados, o terrestres.

La elaboración de mapas de precisión para el control de mh utilizando imágenes de dron requiere: i) planificar el vuelo definiendo los parámetros de altura, solapes y resoluciones espectrales y espaciales de acuerdo al objetivo malherbológico perseguido; ii) pre-procesado de las imágenes para generar una única imagen (ortomosaico) de toda la superficie de la parcela (en caso de ser necesario) así como el MDS, con lo que tendremos información de la altura de cada planta; iii) análisis de la imagen para generar el mapa de infestaciones; iv) elaboración del mapa de prescripción basado en el mapa de infestaciones y las características de la maquinaria de tratamiento (Figura 2). Puede consultarse más información en de Castro et al., 2018.

Imágenes de satélite: ejemplo de uso con el software FieldView

La herramienta FieldView (FV) de gestión de fincas puede ayudar a generar

Figura 3. Distribución heterogénea de malas hierbas.



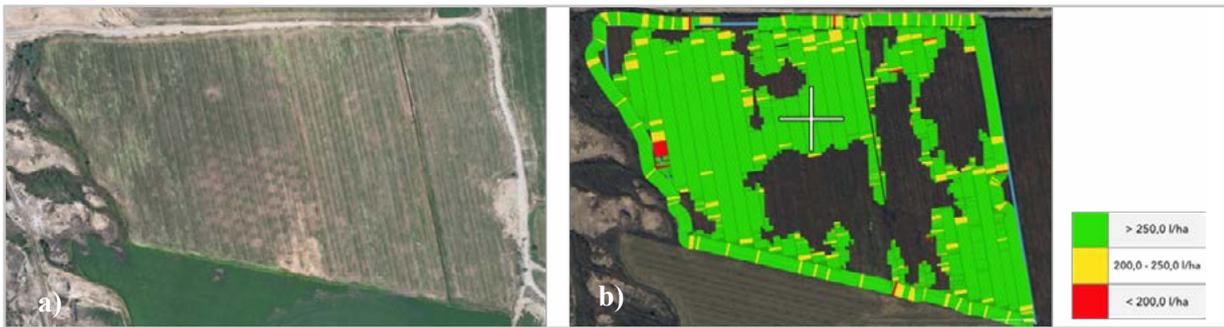


Figura 4. a) Imagen de la parcela adquirida por un dron; b) Mapa de prescripción para tratamiento herbicida obtenida en FieldView.

mapas de forma rápida y sencilla: proporciona un mapa de la parcela cada 5 días con una resolución de 10x10 m calculado mediante el índice Climate crop index (CCI) utilizando imágenes del satélite Sentinel 2; permite geo posicionar zonas y pines en las parcelas y adjuntar fotos; crea prescripciones basándose en mapas de cosecha, de suelo y antiguos tratamientos y permite juntar estas capas y editarlas; es compatible con la maquinaria que usa protocolo Isobus.

El proceso para crear prescripciones herbicidas con FieldView es sencillo: i) el agricultor comprueba que existe un reparto heterogéneo de mh en la parcela (Figura 3); b) a través de FV se descarga la imagen satelital más reciente; c) utilizando un dispositivo Tablet o smartphone podrá geo posicionarse en la imagen y seleccionar las zonas de interés; d) podrá añadir imágenes obtenidos con un dron (Figura 4a); e) una vez establecida la concordancia, podrá crear una prescripción herbicida con distintas dosis de tratamiento incluyendo zonas sin aplicación para aquellas áreas sin mh (Figura 4b). Las zonas de secano donde se practica la siembra directa o mínimo laboreo, las parcelas con rodales de mh perennes, las calles de aspersores o antiguos azarbes son situaciones apropiadas para el uso de esta herramienta FV.

Los mapas generados por ambas tecnologías (dron o softwares tipo

FieldView) permiten hacer un diseño óptimo de los tratamientos o medidas a realizar únicamente en las zonas infestadas de la parcela con los consiguientes ahorros económicos, entre otros beneficios, que ello conlleva (Figura 5).

Sistemas de soporte a la decisión (DSS): IPMwise

La aplicación de herbicidas selectivos a dosis variables cuando el cultivo está instalado resulta compleja por varios factores: a nivel parcelario se presentan generalmente varias especies diferentes de mh, que pueden ser muy distintas entre sí desde el punto de vista fisiológico y esto ocasiona susceptibilidades diferentes; el cultivo complica la detección mediante visión

artificial de las mh; en estadios precoces, las mh son difíciles de identificar.

Por todo esto, se entiende que el primer paso para llegar a una aplicación variable de herbicidas pasa por disponer de herramientas informáticas que nos faciliten la toma de decisiones. Es en este contexto en el que se plantea el desarrollo e implementación de IPMwise en España. El objetivo de IPMwise es facilitar la toma de decisiones a agricultores y técnicos para conseguir un control de mh más eficiente y sostenible a corto y largo plazo. Las herramientas incluidas en el sistema brindan opciones actualizadas para el control de mh y el conocimiento de los factores que afectan a las necesidades de dicho control y a su eficacia esperada.



Figura 5. Maquinaria de precisión aplicando de manera localizada solo en rodales de malas hierbas según mapa de prescripción.

PRUEBA PILOTO COMBINANDO TECNOLOGÍA DRON Y DSS PARA REDUCIR EL USO DE HERBICIDAS

Recientemente se han llevado a cabo varios ensayos piloto para evaluar la eficiencia del uso combinado de tecnología dron-DSS/IPMwise-pulverizadores inteligentes para generar mapas de prescripción de herbicidas compatible con los pulverizadores comerciales y evaluar su eficiencia en el control de plántulas de mh en maíz. Los ensayos se repitieron en dos campañas seguidas en cuatro parcelas comerciales de maíz en post-emergencia temprana y con diferentes manejos localizados en la provincia de Huesca, donde se tomaron imágenes visibles de alta resolución espacial con dron.

La elaboración de los mapas de infestación de mh para cada parcela se realizó mediante un algoritmo avanzado de análisis de imagen basados en objetos e inteligencia artificial desarrollado por el grupo Tech4Agro (<https://tech4agro.csic.es/>). Para la generación del mapa de prescripciones se configuró una malla cuadrada con celdas de tratamiento adaptadas a la maquinaria empleada (equipo AGRIFAC Condor y equipo Amazone-UF02 con sistema AmaSwitch, ambos con pulverizadores dotados de barra de aplicación boquilla a boquilla), calculando en cada celda la dosis necesaria en función del tipo/densidad/cobertura de mh presentes y la prescripción propuesta por el DSS IPMwise, y considerando un umbral de tratamiento de 1 planta/m². La eficacia del tratamiento fue evaluada tres semanas después de la aplicación, constatando ahorros herbicidas entre el 39% y el 55% de la superficie de la parcela, según la casuística de cada campo y la maquinaria empleada, en comparación con un tratamiento convencional.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan nuevas oportunidades para el control de malas hierbas en maíz con el uso de

El uso de estas tecnologías para aplicaciones variables de herbicidas en el contexto de la AP mediante mapas de prescripción basados en imágenes de dron, IPMwise y maquinaria de precisión permite ahorros de hasta el 55%

nuevas herramientas tecnológicas, como imágenes de dron e imágenes satélite o herramientas como FieldView o IPMwise. El uso de estas tecnologías para aplicaciones variables de herbicidas en el contexto de la AP mediante mapas de prescripción basados en imágenes de dron, IPMwise y maquinaria de precisión permite ahorros de hasta el 55%.

Este trabajo se encuentra alineado con los objetivos de intercambio de conocimiento, experiencias y recursos

de valor recogidos en la Asociación Nacional de Agricultura de Precisión (ANAP), una organización independiente y sin ánimo de lucro que busca promover la AP y facilitar la transformación digital agrícola en España. Por tanto, animamos a todos los actores interesados en AP (administración, agricultores, investigadores, asesores, etc) a que compartan con ANAP sus conocimientos, experiencias o intereses para buscar soluciones conjuntas en línea con las directrices de sostenibilidad definidas por la Unión Europea. ■

AGRADECIMIENTOS

Investigación parcialmente financiada por los proyectos DECIMAL (PID2020-113229RB-C41), UAV4LessPest (PDC2021-121537-C22) y DigInvasive (TED2021-132401A-I00) de la Agencia Estatal de Investigación (MCIN/AEI/10.13039/501100011033), Fondos de Recuperación, Transformación y Resiliencia, y Unión Europea NextGenerationEU/PRTR. Agradecemos también la participación de Bayer C.S. y sus distribuidores Sertagro S.L., Bardenas Comercial S.L. y Fertiplan/Agrinova.



REFERENCIAS

- de Castro et al., 2013. Broad-scale cruciferous weed patch classification in winter wheat using QuickBird imagery for in-season site-specific control. *Precis. Agric.* 14, 392-413.
- de Castro et al., 2018. An Automatic Random Forest-OBIA Algorithm for Early Weed Mapping between and within Crop Rows Using UAV Imagery. *Remote Sens.* 2018, 10, 285
- de Castro et al., 2020. Mapping Cynodon Dactylon Infesting Cover Crops with an Automatic Decision Tree-OBIA Procedure and UAV Imagery for Precision Viticulture. *Remote Sensing*, 12(1), 56
- Dorado J. & Fernández-Quintanilla C. 2017. Principales malas hierbas y su gestión en cereales de invierno y maíz. *Grandes Cultivos* 14: 12-19
- Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests: Centenary review. *Journal of Agricultural Science* 144, 31-43.
- Peña et al., 2021. Drones y digitalización para el manejo localizado en maíz. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, 1044, 40-45