

Prueba piloto sobre la generación de mapas de malas hierbas con drones y la aplicación variable de herbicidas en maíz

Field test on the generation of weed maps with UAVs and the variable rate spraying of herbicides in maize

José María Montull^{1,2,*}, Ana I. de Castro³, Carlos Martín⁴ & José Manuel Peña⁵

¹ IPM advice, S.L., Lleida, España

² DCEFA, Universitat de Lleida, Lleida, España

³ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, INIA-CSIC, Madrid, España

⁴ Bayer Crop Science, Quart de Poblet, España

⁵ Grupo Tec4agro, Instituto de Ciencias Agrarias, ICA-CSIC, Madrid, España

(*E-mail: josemaria.montull@udl.cat)

<https://doi.org/10.19084/rca.34975>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

En la actualidad existe tecnología disponible para realizar tratamientos a dosis variable en los cultivos. La dificultad es identificar adecuadamente las especies de malas hierbas y así poder ajustar las dosis de herbicida a las especies presentes en cada punto de la parcela. Por esto, el objetivo del presente trabajo es realizar un ensayo en campo para estudiar el potencial de la integración de la tecnología disponible: detección remota utilizando UAV y análisis de imagen, diseño de mapas de aplicación variable basados en las recomendaciones de IPMwise y finalmente, aplicación con un pulverizador capaz de aplicar dosis variable boquilla a boquilla. Los ensayos se llevaron a cabo en dos parcelas de maíz situadas en el NE de España. Se realizó un tratamiento de pre-emergencia con productos diferentes para forzar la variabilidad y posteriormente, un vuelo con UAV a 40m de altura utilizando una cámara RGB y otra multi-espectral. Posteriormente se utilizó el software Agisoft Photoscan para alinear las imágenes y se procesaron utilizando un algoritmo OBIA avanzado. La dosis de herbicida a aplicar se calculó por especie y densidad utilizando el DSS IPMwise para una cuadrícula de 1x1m² y el mapa generado se cargó en un pulverizador AGRIFAC Condor. Considerando un umbral de tratamiento de 1planta/m² se consiguió un ahorro de herbicida superior al 38%. La evaluación de eficacia fue 22 días tras el tratamiento y se constató que las eficacias obtenidas estuvieron en línea con las previstas aunque en zonas con muy baja densidad, no se detectaron malas hierbas en la misma línea del cultivo.

Palabras-clave: Dosis variable, IPMwise, Detección remota, OBIA

ABSTRACT

Currently, there is technology available to develop treatments at variable rates on crops. The difficulty is to properly identify the weed species and thus be able to adjust the doses of herbicide to the species present at each point of the plot. For this reason, the objective of this work is to carry out a field trial to study the potential of the integration of the available technology: remote sensing using UAV and image analysis, design of variable application maps based on IPMwise recommendations and finally, application with a sprayer capable of applying variable rates nozzle by nozzle. The trials were carried out in two corn fields located at NE Spain. A pre-emergence treatment was carried out with different products to force variability and subsequently, a UAV flight at 40m height using an RGB camera and a multi-spectral camera. Agisoft Photoscan software was used to align the images and they were processed using an advanced OBIA algorithm. The dose of herbicide to be applied was calculated according to species and density using the IPMwise DSS for a 1x1m² grid and the generated map was loaded into an AGRIFAC Condor sprayer. Considering a treatment threshold of 1 plant/m², herbicide savings of more than 38% were achieved. The effectiveness evaluation was 22 days after the treatment and it was found that the efficiencies obtained were in line with those predicted, although in areas with very low density, no weeds were detected within the crop line.

Keywords: Variable rate, IPMwise, Remote sensing, OBIA

INTRODUCCIÓN

Los avances en el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la generación de mapas de malas hierbas en momentos tempranos que permiten la aplicación oportuna y específica de herbicidas siguiendo estrategias de agricultura de precisión (AP), han impulsado el interés de la industria en llevar esta tecnología a nivel comercial. Para ello, también es necesario integrar un Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) que recomiende el herbicida y la dosis adecuados según el tipo y densidad de malas hierbas detectadas en los mapas. El objetivo global de este trabajo fue demostrar la posibilidad de un control optimizado de malas hierbas utilizando técnicas de agricultura de precisión. Para ello, se coordinaron varias empresas y grupos de investigación con el fin de proporcionar e integrar la tecnología necesaria para alcanzarlo mediante los siguientes puntos: 1) teledetección con drones y análisis de imágenes (a cargo del grupo de investigación Tec4agro, del CSIC), 2) sistema de soporte a la decisión IPMwise (a cargo de la empresa IPM Advice SL, spinoff de la UdL), y 3) pulverizador comercial de dosis variable con barra de aplicación boquilla a boquilla (de las empresas Bayer Agrosience, Bardenas Comercial y Sertagro).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en dos campos comerciales de maíz denominados Sodeto y Moncalver en la provincia de Huesca, en el NE de España. con coordenadas centrales $X=727.465$, $Y=4.642.560$, y $X=731.259$, $Y=4.624.030$ (sistema UTM, zona 30-N), respectivamente. Ambas parcelas presentaban con rastros del cultivo anterior (cebada) sobre los cuales se sembró maíz en segunda cosecha, y contaban con riego por aspersión. Se aplicaron diversos tratamientos herbicidas en ambas

parcelas en preemergencia para forzar la variabilidad entre las diferentes zonas del experimento (Tabla 1). El diseño experimental consistió en delimitar zonas de tratamiento con un ancho de base de 18m y una longitud variable dependiendo de las dimensiones y forma de cada parcela experimental, resultando 2,74ha en Sodeto y 1,89ha en Moncalver. Se intercalaron 6 zonas control entre los tratamientos. El objetivo de estos tratamientos fue incrementar la variabilidad en las infestaciones (especies y densidades) y así someter a los algoritmos de identificación a escenarios de diversa complejidad.

Los vuelos con dron para tomar imágenes de ambas parcelas se realizaron el 7 de julio de 2022, unos 15 días después de los tratamientos de preemergencia. Se utilizó un dron DJI modelo Matrice 300-RTK. Los vuelos se realizaron a una altura de 40 m sobre el suelo y utilizando dos cámaras simultáneamente, una de espectro visible-RGB modelo DJI Zenmuse-P1 (<https://www.dji.com/es/zenmuse-p1>) y otro modelo multispectral, Parrot Sequoia+ (<https://www.parrot.com/en/shop/accessories-spare-parts/other-drones/sequoia>). Posteriormente, se utilizó el software comercial Agisoft Photoscan para alinear las imágenes, construir la geometría y la nube de puntos y, finalmente, generar el ortomosaico de cada parcela (Figuras 1a, 1b), con información georreferenciada con el apoyo de puntos de control adquirido en tierra con un GPS diferencial modelo Trimble R2 (Figura 1c).

Los ortomosaicos se procesaron utilizando un algoritmo avanzado de Análisis de Imágenes Basado en Objetos (OBIA) generado por el grupo Tec4agro específicamente para este trabajo y adaptado de versiones anteriores (Peña *et al.*, 2013; Pérez-Ortiz *et al.*, 2015). El algoritmo se compuso de una secuencia de fases que incluyen segmentación, detección de hileras de cultivos, discriminación de cultivos,

Tabla 1 - Tratamientos aplicados en pre-emergencia para forzar la variabilidad

Tratamiento	Producto	Dosis (ml/ha)	Especies que se esperaba que sobrevivieran al tratamiento
1	S-Metolachlor 31,25% + Terbutilazine 18,75%	3.500	Ricio de cebada / <i>Abutilon theophrasti</i>
2	Isoxaflutol 22,5% + Thiencarbazone 9%	440	Ninguna
3	Isoxaflutol 24%	300	Gramíneas
4	Pendimethalin 33%	3.000	<i>Echinochloa</i> /Ricio de cebada/ <i>Xanthium</i>
5	DMTA-P 72%	1.400	Dicotiledóneas
6	Sulcotrione 30%	750	<i>Amaranthus</i> spp.

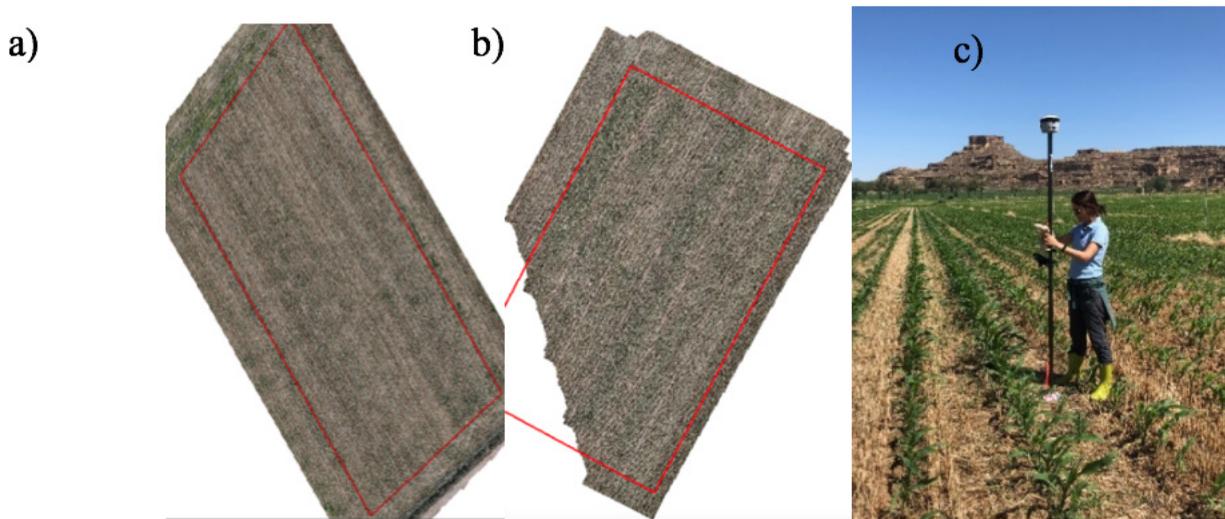


Figura 1 - Ortomosaico de Sodeto (a) y Moncalver (b), adquisición de puntos de control con GPS.

malezas y suelo desnudo/rastrojos utilizando parámetros espectrales y contextuales y refinamiento de los resultados de clasificación utilizando el algoritmo Random Forest (de Castro *et al.*, 2018).

A partir de los mapas de malezas generados en cada parcela, se generaron los mapas de tratamiento a partir de la especie y la densidad utilizando el DSS IPMwise (Montull *et al.*, 2020). Si bien el pulverizador utilizado (Cónдор AGRIFAC) puede leer archivos con una malla de hasta 0,25x0,25m², se realizó el tratamiento con una rejilla de dimensiones 1x1m².

El umbral de tratamiento fue 1 planta/m²; para esta densidad, el nivel de eficacia objetivo fue del 92%. Esta eficiencia objetivo aumenta linealmente hasta alcanzar una densidad de 300 plantas/m², donde se estableció un nivel de eficacia objetivo del 97%.

Según el estado fenológico y las condiciones de tratamiento, fueron necesarios 2,5l/ha de Cubix + 300g/ha de Laudis WG + 0,5l/ha de Biopower para conseguir un 97% de eficacia. Para conseguir un 92% de eficacia la dosis necesaria fue 2l/ha de Cubix + 240g/ha de Laudis WG + 0,4l/ha de Biopower. La evaluación de las eficacias en postemergencia se realizó 22 días después de la aplicación del tratamiento herbicida descrito (Figura 2).

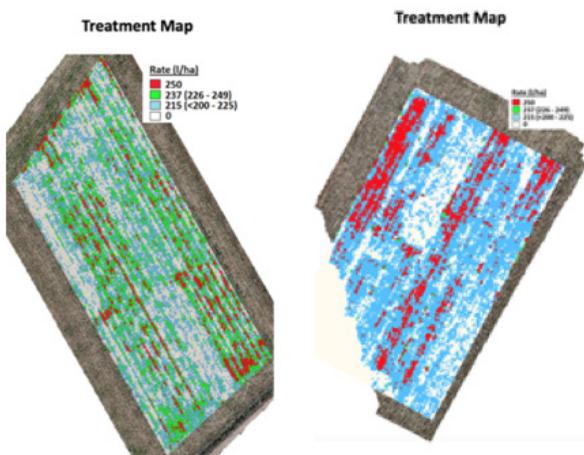


Figura 2 - Mapas de tratamiento (celdas de 1x1m²) a partir del mapa de infestación de Sodeto (Izquierda) y Moncalver (Derecha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de los tratamientos de preemergencia, la práctica totalidad de malas hierbas presentes eran ricio de cebada, el cultivo anterior. La cobertura y eficacia observadas justo tras el vuelo puede verse en la Tabla 2. Esta información sirve de base para su posterior uso como verdad sobre el terreno en la evaluación de tratamientos localizados aplicados a partir de los mapas generados con el dron.

Debido a la distribución variable del ricio de cebada y considerando un umbral mínimo de tratamiento de 1 planta/m², el área tratada según los mapas de tratamiento fue de 1,91 ha y 1,30 ha en Sodeto y

Tabla 2 - Densidad de malas hierbas y eficacia observada

Herbicida y dosis	Moncalver		Sodeto	
	Densidad (pl/0,1m ²)	Eficacia (%)	Densidad (pl/0,1m ²)	Eficacia (%)
No tratado	32,0	---	24,0	---
S-Metolachlor 31,25% + Terbutilazine 18,75% -3500	7,0	78,13	4,8	79,86
Isoxaflutol 22,5% +Thiencarbazono 9%-440	1,8	94,27	0,5	97,92
Isoxaflutol 24%-300	8,0	75,00	7,7	68,06
Pendimethalin 33%-3000	6,3	80,21	14,3	40,28
DMTA-P 72%-1400	5,0	84,38	8,0	66,67
Sulcotrione 30%-750	5,5	82,82	9,5	60,42

Moncalver, respectivamente, por lo que se asumió que el área libre de herbicida el tratamiento fue del 30,29% en Sodeto y del 31,46% en Moncalver. Sin embargo, esto no se corresponde exactamente con el área libre de herbicidas debido a la cuadrícula de 1x1m.

El ahorro de herbicida asociado a la aplicación de la variable se determinó comparando el volumen de mezcla aplicado en un supuesto de tratamiento convencional uniforme (250 l/ha en toda la parcela) y el volumen aplicado siguiendo los mapas de tratamiento.

- Pulverización uniforme en todo el campo:

Sodeto: $250 \text{ (l/ha)} * 2,74 \text{ ha} = 685,00 \text{ l.}$ Moncalver: $250 \text{ (l/ha)} * 1,89 \text{ ha} = 472,50 \text{ l.}$

- Pulverización variable:

Sodeto: $[\text{Promedio. } 215 \text{ (l/ha)} * 1,65 \text{ ha}] + [\text{Promedio. } 237 \text{ (l/ha)} * 0,01 \text{ ha}] + [\text{Promedio. } 250 \text{ (l/ha)} * 0,25 \text{ ha}] = 419,62 \text{ l.}$

Moncalver: $[\text{Promedio. } 215 \text{ (l/ha)} * 1,03 \text{ ha}] + [\text{Promedio. } 237 \text{ (l/ha)} * 0,01 \text{ ha}] + [\text{Promedio. } 250 \text{ (l/ha)} * 0,26 \text{ ha}] = 288,82 \text{ l.}$

Por tanto, el ahorro obtenido en la parcela de Sodeto fue de 265,38 litros y en la parcela de Moncalver de 183,68 litros, lo que significó un 38,74 % y un 38,87 % en cada parcela, respectivamente. Esto corresponde, al precio real de los herbicidas pulverizados, a un ahorro de 29,88 €/ha.

Eficacia de la pulverización basada en mapas de tratamiento

Las eficiencias obtenidas estuvieron en línea con lo esperado, observándose un control prácticamente total de las malas hierbas presente en la parcela. Aun así, algunos individuos aislados bajo la línea de cultivo no fueron bien controlados, lo que puede deberse a varias razones:

- 1) no fueron detectados en las imágenes tomadas con el dron debido a su ubicación debajo del cultivo,
- 2) no recibieron suficiente dosis debido al efecto paraguas que ejerce el cultivo,
- 3) el tratamiento se realizó con la barra a 3m sobre el objetivo, debido a que tiene un ancho de trabajo de 36m y las calles entre aspersores son de 18m de ancho, lo que pudo haber afectado la cobertura del tratamiento en algunas zonas.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer de este trabajo son las siguientes:

- La detección y el tratamiento variables son posibles con la tecnología disponible actualmente
- IPMwise DSS facilita la generación de mapas de aplicaciones variables por especie y densidad
- La detección y el tratamiento en la línea se complicaron por el rápido crecimiento del maíz.

AGRADECIMIENTOS

Estos trabajos se han llevado a cabo dentro del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad.

Agencia Estatal de Investigación. REF; PID2020-113229RB-C42 y por el proyecto UAV4LessPest (PDC2021-121537-C22/AEI/10.13039/501100011033)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- de Castro, A.I.; Torres-Sánchez, J.; Peña, J.M.; Jiménez-Brenes, F.M.; Csillik, O. & López-Granados, F. (2018) - An automatic Random Forest-OBIA algorithm for early weed mapping between and within crop rows using UAV Imagery. *Remote Sensing*, vol. 10, n. 2, art. 285. <https://doi.org/10.3390/rs10020285>
- Montull, J.M.; Taberner, A.; Bøjer, O. & Rydahl, P. (2020) - IPMwise: a Decision Support System for multispecies weed control in cereal crops. In: Chantre, G. & González-Andújar, J. (Eds.) - *Decision Support Systems for Weed Management*. Springer, Cham., p. 279-298. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44402-0_13
- Peña, J.M.; Torres-Sánchez, J.; de Castro, A.I.; Kelly, M. & López-Granados, F. (2013) - Weed mapping in early-season maize fields using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *PLoS ONE*, vol. 8, n. 10, art. e77151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077151>
- Pérez-Ortiz, M.; Peña, J.M.; Gutiérrez, P.A.; Torres-Sánchez, J.; Hervás-Martínez, C. & López-Granados, F. (2015) - A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, vol. 37, p. 533-544. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.08.027>