

Impacto del manejo localizado en el control de *Sorghum halepense* y el rendimiento del maíz

Impact of site-specific management on *Sorghum halepense* control and maize yield

José Manuel Peña, Irene Borra-Serrano, César Fernández-Quintanilla, Ana I. de Castro, Gustavo A. Mesías-Ruiz, José G. Guerra & José Dorado*

Grupo tec4AGRO, Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Madrid, España

(*E-mail: jose.dorado@csic.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.34977>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

Sorghum halepense (cañota) es una mala hierba que tiende a distribuirse espacialmente de forma agregada en los cultivos de maíz. En un estudio de dos años realizado en La Poveda (CSIC, Madrid), se investigó la eficacia de la Agricultura de Precisión (AP) en su control, mediante: 1) el seguimiento de la dinámica espacio-temporal de los rodales de cañota en un campo de maíz con el procesamiento de imágenes aéreas UAV; 2) la aplicación localizada del herbicida nicosulfuron según el mapa generado en etapa temprana con imágenes aéreas; y 3) la cuantificación del rendimiento del cultivo en áreas tratadas y no tratadas con cañota, así como libres de mala hierba. El análisis del mapa previo al tratamiento herbicida en 2022 reveló una distribución aleatoria de cañota, con rodales de tamaño medio de 0,4 m², variando entre 0,01 m² y 5 m². Las parcelas tratadas con herbicida localizado mostraron un control del crecimiento espacial, evidenciado en la campaña siguiente (2023) con un tamaño promedio de 1,0 m², oscilando entre 0,02 m² y 12 m². En contraste, los rodales no tratados aumentaron significativamente su tamaño (media 3,8 m²; rango entre 0,01 m² y 122 m²). El rendimiento disminuyó notablemente en zonas infestadas sin tratamiento respecto a las zonas tratadas y/o libres de cañota. Estos resultados subrayan las ventajas de la AP en el control de la cañota, demostrando cómo la detección y manejo localizado de rodales podrían reducir hasta un 95% el uso de herbicidas y mitigar la competencia con el cultivo de maíz.

Palabras clave: Agricultura de precisión, teledetección, UAV, cañota, dinámica de poblaciones.

ABSTRACT

Sorghum halepense (Johnsongrass) is a weed that tends to spatially distribute in an aggregated manner in maize crops. In a two-year study conducted at La Poveda (CSIC, Madrid), the effectiveness of Precision Agriculture (PA) in controlling this weed was investigated by: 1) monitoring the spatio-temporal dynamics of Johnsongrass patches in a maize field using UAV aerial image processing; 2) site-specific application of the herbicide nicosulfuron according to the early-stage map generated from aerial imagery; and 3) quantification of crop yield in Johnsongrass treated and untreated areas, as well as weed-free. The analysis of the map prior to herbicide treatment in 2022 revealed a random distribution of Johnsongrass, with patches averaging 0.4 m² in size, ranging from 0.01 m² to 5 m². Site-specifically treated plots showed spatial growth control, evidenced in the subsequent season (2023) with an average patch size of 1.0 m², ranging from 0.02 m² to 12 m². In contrast, untreated patches significantly increased in size (average 3.8 m²; ranging between 0.01 m² and 122 m²). There was a notable decrease in yield in untreated infested areas compared to treated and/or Johnsongrass-free areas. These findings underscore the advantages of PA in Johnsongrass control, demonstrating how detection and site-specific patch management can reduce herbicide use by up to 95% and mitigate competition with the maize crop.

Keywords: Precision agriculture, remote sensing, UAV, Johnsongrass, population dynamics.

INTRODUCCIÓN

La cañota (*Sorghum halepense* L. Pers.) es una de las malas hierbas perennes más comunes y problemáticas en maíz en varias regiones de España (Andújar *et al.*, 2011b). El crecimiento a partir de rizomas subterráneos, unido a la gran producción de semillas, contribuyen al rápido incremento de la población, lo que hace a la cañota difícil de controlar (Andújar *et al.*, 2012, 2014). Numerosos estudios han demostrado que esta mala hierba tiene una distribución agregada e irregular (Barroso *et al.*, 2012; Andújar *et al.*, 2017). Todas estas características la convierten en un objetivo adecuado para los tratamientos localizados (SSWM, del inglés *site-specific weed management*) con herbicidas específicos de postemergencia (Andújar *et al.*, 2013; Barroso *et al.*, 2016).

En el contexto de SSWM, el objetivo principal de la detección de rodales de malas hierbas es generar datos fiables que puedan ser utilizados en maquinaria de precisión. En este sentido, el desafío consiste en poder crear mapas de malas hierbas en etapas tempranas para llevar a cabo el tratamiento localizado durante la misma campaña agrícola. Existen varios estudios que describen el procedimiento de adquisición de imágenes de alta resolución espacial, utilizando tanto teledetección con plataformas aéreas y satelitales (Peña *et al.*, 2013; Martín *et al.*, 2023), como sensores terrestres (Andújar *et al.*, 2011a), orientados a diseñar estrategias de SSWM en postemergencia temprana.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar con imágenes UAV la dinámica de los rodales de cañota en un campo cultivado de maíz durante dos años consecutivos, analizando la influencia de SSWM en la expansión espacial y temporal de estos rodales, así como en la producción del cultivo. Este conocimiento en condiciones de campo es esencial para planificar medidas eficaces de prevención y control en el contexto de la AP.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se ha realizado en un campo de tres hectáreas de maíz en la finca experimental del CSIC La Poveda (Arganda del Rey, Madrid) con infestación natural de *S. halepense*. La zona se

caracteriza por un clima mediterráneo continental con inviernos fríos, veranos calurosos y una precipitación media anual de unos 400 mm. El tipo de suelo es franco arenoso, con un contenido de materia orgánica del 1,6%. El maíz se cultivó en regadío, en hileras separadas 0,75 m y una densidad de 85.000 plantas por hectárea, siendo manejado de forma convencional en cuanto a laboreo y fertilización. El diseño experimental ocupó una superficie total de una hectárea, la cual se dividió en seis parcelas de 137,5 m × 12 m, coincidiendo la dimensión menor con el ancho de la barra pulverizadora (i.e. 12 m). Los tratamientos experimentales se realizaron de forma alterna, es decir, tres parcelas recibieron un tratamiento localizado contra cañota con nicosulfuron (Nisshin®, Agriphar-Alcotan, 50 g a.i. kg⁻¹) en una fase temprana del crecimiento del cultivo (4 hojas desplegadas), mientras que las otras tres parcelas alternas no recibieron ningún tratamiento específico contra cañota. Toda la superficie del campo fue tratada contra hoja ancha con dicamba + prosulfuron (Casper®, Syngenta, 200 + 20 g a.i. ha⁻¹).

La adquisición de imágenes aéreas se llevó a cabo con un UAV modelo DJI Matrice 300 RTK y una cámara RGB modelo Zenmuse P1. El plan de vuelo del UAV se diseñó con un solapamiento frontal y lateral del 70%, y a una altitud de 15 m sobre la superficie. Los mapas de cañota se realizaron en 2022, justo antes del tratamiento herbicida localizado, y en la misma fecha de 2023, siguiendo el procedimiento descrito en Peña *et al.* (2013).

El rendimiento del maíz se estimó con los datos tomados en 46 puntos muestrales de 1 m² recogidos manualmente y distribuidos de forma aleatoria en todos los tratamientos, manteniendo el mismo número de muestras en zonas con y sin cañota. El efecto del tratamiento localizado sobre el rendimiento se analizó estadísticamente con un Modelo Lineal General univariante (v29.0; IBM SPSS Statistics, Chicago, IL, USA). El contraste de medias se realizó con el test de Tukey B ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra diversos mapas del área de estudio obtenidos con imágenes UAV, los cuales incluyen las seis parcelas experimentales, donde

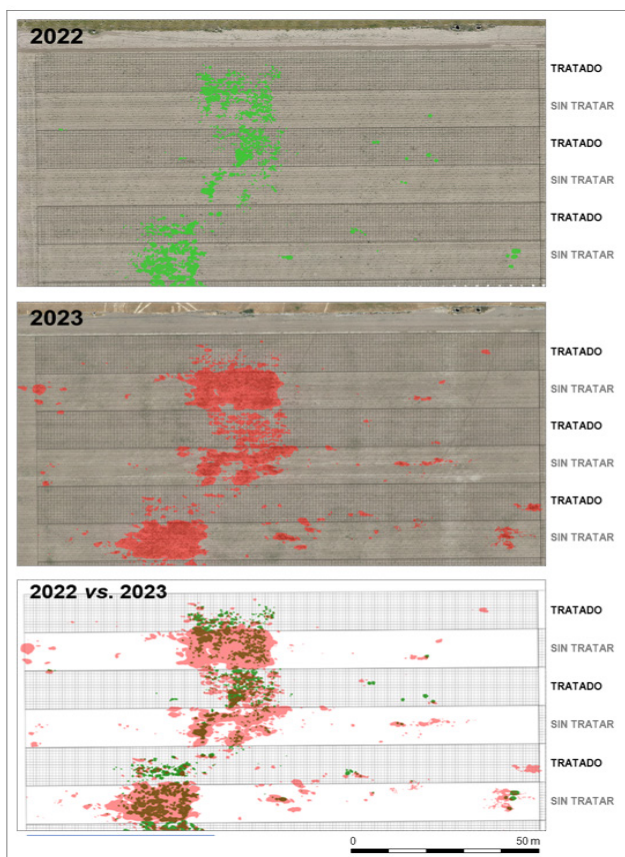


Figura 1 - Mapas de las seis parcelas experimentales incluidas en el estudio, representando los rodales de cañota antes de la aplicación localizada herbicida (2022) y su evolución en la siguiente campaña (2023). Las parcelas tratadas se marcan con trama gris. El mapa inferior (2022 vs. 2023) refleja los rodales que crecen (rojo), se mantienen (marrón) o desaparecen (verde).

se puede observar la distribución espacial y la evolución temporal de cañota en función de los tratamientos. El mapa de 2022 representa la distribución natural de esta mala hierba en etapa temprana del cultivo de maíz, antes de implementar los tratamientos (SSWM y sin herbicida), confirmando su modelo agregado y aleatorio con rodales de tamaño variable, desde 0,005 m² (equivalentes a una planta) hasta áreas de 4,81 m², siendo el tamaño medio de 0,39 m². En conjunto, estos rodales suponían menos del 3% de la superficie total del campo (Tabla 1), lo que confirma el alto potencial de aplicar técnicas de AP para reducir el uso de herbicidas en más del 95% de la superficie.

En la campaña agrícola siguiente (año 2023), la dinámica espacial de cañota evolucionó de forma diferente en función de los tratamientos. Por un lado, el manejo SSWM controló su crecimiento, observando un ligero incremento del tamaño medio de los rodales (0,98 m²), con variaciones que oscilaban entre 0,017 m² y 12,03 m². A pesar del control relativo de la mala hierba, estas nuevas emergencias en parcelas con SSWM produjeron un ligero descenso del rendimiento del maíz en comparación con las parcelas sin cañota (Tabla 2).

Por otro lado, los datos registrados en los rodales no tratados mostraron un aumento en el tamaño medio de hasta 3,83 m², en gran medida debido al incremento de aquellos de mayor tamaño, cuya

Tabla 1 - Evolución del área infestada con cañota en parcelas tratadas con herbicida localizado (parcelas 1, 3 y 5) y en aquellas donde no se aplicó ningún tratamiento herbicida específico contra esta mala hierba (parcelas 2, 4 y 6)

Año	Parcela nº	Tratado herbicida	Área infestada cañota		Tamaño rodales cañota (m ²)		
			total (m ²)	relativa (%)	mínimo	máximo	media
2022	1	Sí	34,3	2,1	0,008	5,83	0,50
	2	No	60,1	3,6	0,001	7,44	0,51
	3	Sí	48,2	2,9	0,002	9,28	0,29
	4	No	17,1	1,0	0,003	0,89	0,17
	5	Sí	22,4	1,4	0,002	1,78	0,18
	6	No	95,5	5,8	0,012	3,63	0,68
Media antes de herbicida			46,3	2,8	0,005	4,81	0,39
2023	1	Sí	57,1	3,5	0,027	15,32	0,64
	2	No	306,8	18,6	0,001	118,86	6,97
	3	Sí	127,5	7,7	0,005	12,05	1,45
	4	No	222,0	13,4	0,017	31,42	1,85
	5	Sí	69,1	4,2	0,019	8,72	0,85
	6	No	297,4	18,0	0,001	214,07	2,66
Media parcelas SSWM			84.6	5.1	0.017	12.03	0.98
Media parcelas sin herbicida			275.4	16.7	0.006	121.45	3.83

Tabla 2 - Rendimiento de maíz (kg ha⁻¹) en 2022 en parcelas con presencia o no de cañota, usando herbicida de forma localizada o sin herbicida en postemergencia. SEM: error estándar de la media. Tratamientos con la misma letra en la misma columna no eran significativamente diferentes ($P < 0,05$)

Presencia de cañota	Tratamiento herbicida	Nº puntos muestrales	Rendimiento maíz			Peso 1000 granos		
			(kg ha ⁻¹)	SEM		(g)	SEM	
Sí	Si	12	7445.6	467.7	a	298.3	5.4	a
Sí	No	12	3261.2	311.6	b	223.1	9.3	b
No	Si	11	8091.8	535.0	a	272.8	5.8	a
No	No	11	8837.9	565.6	a	278.8	5.6	a

superficie se amplió hasta alcanzar los 121,45 m² (Tabla 1, Figura 1). Este crecimiento en las zonas infestadas no tratadas provocó que el rendimiento del maíz fuera significativamente inferior respecto a las zonas tratadas y libres de cañota (Tabla 2).

CONCLUSIONES

Nuestros resultados destacan los beneficios de aplicar técnicas de AP en el manejo de especies arvenses con distribución espacial agregada como es el caso de la cañota en cultivo de maíz. En particular, se ha evidenciado cómo la detección de rodales

y su tratamiento localizado podrían reducir significativamente el uso de herbicidas y mitigar la competencia potencial entre cultivo y mala hierba.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el proyecto *PID2020-113229RBC41/AEI/10.13039/501100011033*. La ayuda *FJC2021-047687-1* a Irene Borra-Serrano, dentro del programa Juan de la Cierva, está financiada por *MCIN/AEI/10.13039/501100011033* y fondos de la Unión Europea *NextGenerationEU/PRTR*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andújar, D.; Barroso, J.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2012) - Spatial and temporal dynamics of *Sorghum halepense* patches in maize crops. *Weed Research*, vol. 52, n. 5, p. 411–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00937.x>
- Andújar, D.; Ribeiro, A.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2011a) - Reliability of a visual recognition system for detection of johnsongrass (*Sorghum halepense*) in corn. *Weed Technology*, vol. 25, n. 4, p. 645-651. <https://doi.org/10.1614/WT-D-10-00082.1>
- Andújar, D.; Ribeiro, A.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2013) - Herbicide savings and economic benefits of several strategies to control *Sorghum halepense* in maize crops. *Crop Protection*, vol. 50, p. 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.04.003>
- Andújar, D.; Rodríguez, X.; Ribeiro, A.; San Martín, C.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2017) - A geometrical model to predict the spatial expansion of *Sorghum halepense* in maize fields. *Gesunde Pflanzen*, vol. 69, p. 73-81. <https://doi.org/10.1007/s10343-017-0388-6>
- Andújar, D.; Rueda-Ayala, V.; Dorado, J.; Gerhards, R. & Fernández-Quintanilla, C. (2014) - Multivariate analysis of the agricultural management presence of *Sorghum halepense* (L.) Pers. relationships in maize crops. *Gesunde Pflanzen*, vol. 66, p. 17-22. <https://doi.org/10.1007/s10343-013-0310-9>
- Andújar, D.; Ruiz, D.; Ribeiro, A.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2011b) - Spatial distribution patterns of johnsongrass (*Sorghum halepense*) in commercial corn fields in Spain. *Weed Science*, vol. 59, n. 1, p. 82-89. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00114.1>
- Barroso, J.; Andújar, D.; San Martín, C.; Fernández-Quintanilla, C. & Dorado, J. (2012) - Johnsongrass (*Sorghum halepense*) seed dispersal in corn crops under mediterranean conditions. *Weed Science*, vol. 60, n. 1, p. 34-41. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00099.1>
- Barroso, J.; Maxwell, D.B.; Andújar, D.; Dorado, J.; San Martín, C. & Fernández-Quintanilla, C. (2016) - Response of *Sorghum halepense* demographic processes to plant density and rimsulfuron dose in maize crop. *Weed Research*, vol. 56, n. 4, p. 304-312. <https://doi.org/10.1111/wre.12208>
- Martín, M.P.; Ponce, B.; Echevarría, P.; Dorado, J. & Fernández-Quintanilla, C. (2023) - Early-season mapping of Johnsongrass (*Sorghum halepense*), Common Cocklebur (*Xanthium strumarium*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in corn fields using airborne hyperspectral imagery. *Agronomy*, vol. 13, n. 2, p. 528-547. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020528>
- 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>