

Nuevas tecnologías para la optimización en maíz del uso de herbicidas radiculares

Soluciones que mezclan tecnología y conocimientos agronómicos en agricultura de precisión

El uso de herbicidas radiculares es común en el cultivo del maíz porque presenta una serie de ventajas indiscutibles, como son: eliminación del pisoteo de plantas, facilidad de incorporación mediante las lluvias primaverales o el riego por aspersión, relativamente amplia ventana de aplicación, espectro amplio de control y ausencia de problemas de resistencia generalizados

Sin embargo, su uso indiscriminado también lleva asociados una serie de problemas a considerar: riesgo de contaminación de aguas subterráneas, imposibilidad de “localizar” tratamientos dado que se desconoce dónde van a aparecer los problemas de malas hierbas más importantes y eficacia variable respecto las condiciones de suelo y al sistema de riego.

Estos problemas relacionados con el uso de este tipo de herbicidas, principalmente cloroacetamidas y triazinas, están llevando a que su uso se encuentre cuestionado en Europa.

De hecho, son recientes los episodios de contaminación de aguas ocasionados por S-metolaclo y terbutilazina y que han llegado al punto de que no se ha renovado la autorización del uso de S-metolaclo a nivel europeo. La caída de las autorizaciones de herbicidas de estos grupos no son nuevas, de hecho, algunos de los históricamente utilizados, como la atra-

J.M. Montull¹, I. Zigolo¹, J.M. Llenes².

¹ Grupo de Investigación en Malherbología y Ecología Vegetal. Agrotecnio-CERCA Center, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria Universitat de Lleida.

² Unitat de Malherbologia del Servei de Sanitat Vegetal, DARP, Generalitat de Catalunya, Lleida.

Durante los últimos años se vienen desarrollando diferentes trabajos con el objetivo de optimizar el uso de herbicidas para el control de las malas hierbas del maíz que nos permitan mantener los rendimientos con una menor cantidad de insumos, haciendo que su producción sea más eficiente y sostenible. En este artículo, nos vamos a centrar en el tratamiento localizado en bandas y la aplicación a dosis variable.





Una opción interesante para reducir el uso de herbicidas radicales es su localización en la línea de la siembra del cultivo.

CUADRO I

RECOMENDACIONES DE DOSIS DE HERBICIDA A APLICAR SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO. FUENTE: BASF-AGRO FRANCIA.

Porcentaje de materia orgánica	Suelo: franco limoso, limoso profundo, franco arcilloso, arcilloso, arcillo-limoso, arcillo-calcáreo	Suelo: arenoso, limoso grueso
Menor 3%	1,2 l/ha	1 l/ha
Mayor o igual al 3%	1,4 l/ha	1,2 l/ha

zina y el alacloro, se prohibieron durante la década de 1990 por contaminación de aguas subterráneas y la misma terbutilazina, no se puede aplicar más que un año de cada tres.

Sin embargo, el uso de herbicidas en maíz es común dado que las malas hierbas que potencialmente lo afectan tienen una capacidad competitiva elevada y crecen en condiciones ideales de temperatura, irrigación y nutrición. Por esto, se utilizan mezclas de ingredientes activos para conseguir un espectro de control y eficacia suficientes y se siguen manteniendo en el mercado formulados que pertenecen al mismo grupo como la dimetnamida-P y la petoxamida por lo que es esencial un buen uso de los mismos para evitar que sigan el mismo camino que el S-metolacoloro.

La principal ventaja desde el punto de vista del buen uso de fitosanitarios y

fertilizantes del cultivo del maíz es que, junto con la remolacha, son los cultivos extensivos más tecnificados que podemos encontrar en los principales sistemas de regadío en España.

Generalmente, los herbicidas se aplican de forma uniforme en la parcela (dosis única aplicada uniformemente en toda la superficie), utilizando recomendaciones a nivel de comarca agrícola y sin entrar en la flora realmente presente en la parcela. Esto es así porque la mayor parte de ingredientes activos que controlan gramíneas anuales se deben aplicar en preemergencia o postemergencia muy precoz de las malas hierbas para ser realmente efectivos.

Esta limitación en el tiempo disponible para el tratamiento con algunos herbicidas condiciona la toma de decisiones y dificulta la detección e identificación adecuada de las especies de forma que se puedan

adoptar técnicas de agricultura de precisión para el control de las malas hierbas en este cultivo.

Tratamiento en bandas en el momento de la siembra

Una opción interesante para reducir el uso de herbicidas radicales es su localización en la línea de la siembra del cultivo. Esto nos permite disminuir el uso de herbicidas ya que la superficie tratada no es el 100% de la parcela sino una banda que puede estar entre los 15 y los 30cm de anchura localizada en la línea de siembra. Así, la competencia inicial por las malas hierbas se elimina mediante el tratamiento herbicida y posteriormente, cuando el cultivo puede verse afectado por las malas hierbas que crecen en la entrehilera, estas se eliminan utilizando labores mecánicas o herbicidas de postemergencia.

La realización de este tipo de tratamientos se suele hacer de forma simultánea a la siembra, acoplado en la misma sembradora un equipo de pulverización con una boquilla detrás de cada línea de siembra.

Para cultivos de escarda como el maíz, que se suelen sembrar a 75cm entre filas, una anchura de banda tratada de 25cm implica una reducción de superficie tratada, y por tanto, de herbicida aplicado de un 66%. Hay varias consideraciones a tener en cuenta con este tipo de tratamientos y es el manejo de las malas hierbas en la entrehilera del cultivo.

Por una parte, está el hecho de que, en suelos con buena fertilidad, el crecimiento puede ser muy rápido y el primer pase de postemergencia con cultivador o de forma química debería realizarse cuando el maíz alcance 2-3 hojas, especialmente si la densidad de malas hierbas es muy alta.

Por otra parte, si vamos a controlar las malas hierbas de forma mecánica, hay que tener en cuenta la capacidad de

trabajo de los equipos y la coordinación con el momento de riego para asegurar la traficableidad de la parcela y posteriormente al pase, tiempo suficiente para que se sequen las malas hierbas arrancadas.

Otra ventaja del pase mecánico, es que nos puede servir para localizar el fertilizante de cobertera nitrogenado justo al lado de las plantas del cultivo lo que nos permitirá disminuir costes a la vez que frena el vigor de las malas hierbas en la entrehilera ya que dispondrán de menos nitrógeno que el cultivo.

Aplicación variable de herbicidas de absorción radicular

La dosificación variable de herbicidas radiculares la podemos entender como una aplicación teniendo en cuenta los factores que van a afectar su eficacia. En este caso, los principales factores que van a afectarla son dos: la cantidad de arcilla presente en el suelo, es decir, su textura, y el contenido de materia orgánica.

Ya en la etiqueta de algunos herbicidas (**cuadro I**) se expresa la dosis a aplicar según el tipo de suelo y la cantidad de materia orgánica. En general, suelos ligeros y pobres en materia orgánica requieren de menos dosis para alcanzar la misma eficacia que en suelos pesados. Esta variación en la dosis depende también del ingrediente activo ya que las mismas clo-roacetamidas son mucho más dependientes del tipo de suelo que, por ejemplo, los herbicidas inhibidores de la ALS.

La aplicación variable de estos insu-mos nos permite limitar el riesgo de con-taminación de aguas dado que, en suelos ligeros, donde el riesgo es mayor, ajustamos la dosis a la baja manteniendo la eficacia. En el **cuadro II** se pueden ver los herbicidas que tienen absorción radicular o en los tejidos jóvenes y están autoriza-dos en maíz en España.

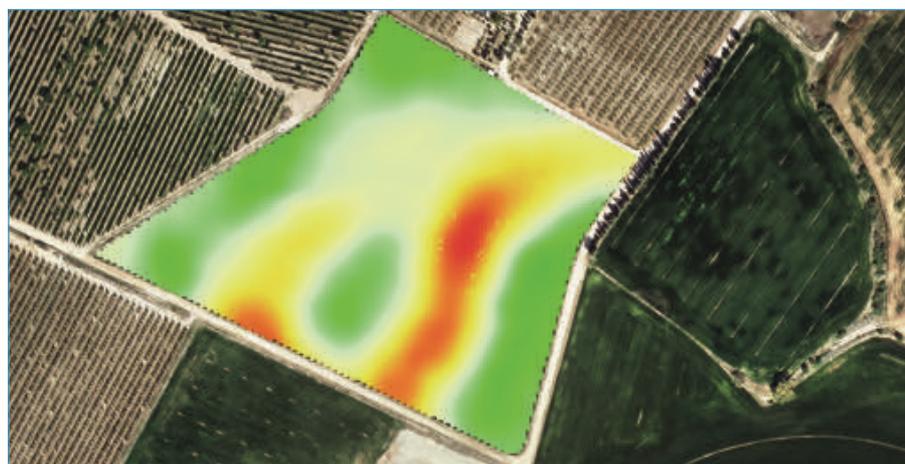
A día de hoy, y dentro del ámbito de las técnicas y tecnologías de la agricultura

CUADRO II

HERBICIDAS DE ABSORCIÓN RADICULAR AUTORIZADOS EN ESPAÑA Y SUS LIMITACIONES DE USO. ENERO DE 2025.

Formulado	Limitaciones de uso
CLOMAZONA 36%	-
CLOMAZONA 8% + MESOTRIONA 15%	-
DIMETENAMIDA-P 21,25% + PENDIMETALINA 25%	-
DIMETENAMIDA-P 72%	-
ISOXAFLUTOL 22,5% + TIENCARBAZONA-METIL 9%	Un año de cada dos
ISOXAFLUTOL 24%	-
MESOTRIONA 10%	-
MESOTRIONA 50% WG	-
PENDIMETALINA 27,5% + CLOMAZONA 5,5%	-
PENDIMETALINA 33%	-
PENDIMETALINA 36,5%	-
PENDIMETALINA 40%	-
PENDIMETALINA 45,5%	Un año de cada dos
PETOXAMIDA 30% + TERBUTILAZINA 18,75%	Un año de cada tres
PETOXAMIDA 60%	Un año de cada dos
SULCOTRIONA 17,3% + TERBUTILAZINA 32,7%	Un año de cada tres
SULCOTRIONA 30%	-
TERBUTILAZINA 30% + DIMETENAMIDA-P 26,5%	Un año de cada tres

FIG. 1 Mapa de conductividad eléctrica aparente (CEa) obtenido con un sensor Veris 3100.



de precisión, hay diferentes sensores que nos permiten estimar la variabilidad intra-parcelaria de propiedades de los suelos. Un ejemplo de estos sensores son los que miden la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa). Estos sensores se utilizan cada vez más para comprender y evaluar cómo varía espacialmente el suelo, y también para definir zonas de manejo

diferenciado en parcelas agrícolas, tanto en cultivos extensivos como en plantaciones frutícolas. Como la CEa varía en una escala espacial similar a la de muchas propiedades físico-químicas del suelo, esta tecnología está siendo ampliamente aceptada y utilizada. En la **figura 1** podemos ver un mapa de CEa de una parcela realizado utilizando un sensor Veris 3100.

FIG. 2 Eficacia esperada de una mezcla de SpadeFlexx a 285 ml/ha +1 l/ha de Spectrum en un suelo ligero y con menos de 1,5% de materia orgánica. Fuente: IPMwise.

Mezcla		Eficacia	
Herbicida:	Herbicida:	Mezcla	Spade-flexx
Spade-flexx (285 ml)	Spectrum (1 l)		
Estación:	Estado fenológico del cultivo:		
Todo el año	Pre-emergencia		
Condiciones de tratamiento:	Temperatura:		
Normales	10 °C - 16 °C		
Materia orgánica:			
<1.5%			
Cultivo:			
Maíz			
Estado fenológico:			
0-1 hoja			
Textura del suelo:			
Ligero			
Espece de mala hierba		Mezcla	Spectrum
-			
Abutilon theophrasti		96	73
Amaranthus bitoides		96	79
Amaranthus spp.		96	79
Chenopodium album		96	79
Cyperus rotundus		59	59
Datura stramonium		96	91
Digitaria sanguinalis		96	97
Echinochloa crus-galli		96	97
Echinochloa crus-galli, B-r		96	97
Panicum ssp.		96	96
Polygonum aviculare		93	0
Polygonum convolvulus L.		96	48
Polygonum lapathifolia		96	48
Polygonum persicaria L.		96	48
Portulaca oleracea		90	0
Rebrote de raigrás		91	91
Ricis de cebada		89	89

También, se están empezando a comercializar en nuestro país sensores montados en sembradoras que permiten estimar el contenido de materia orgánica del suelo en tiempo real durante la siembra para ajustar la dosis de semilla. Esta medición se hace en función de las diferencias en reflectancia de la luz que produce el suelo. Los suelos más oscuros contienen más humedad o materia orgánica que los suelos más claros. En base a esto, los sensores de luz en el espectro visible e infrarrojo cercano, sirven para aproximar el contenido de materia orgánica del suelo (Sudduth *et al.*, 1993). La materia orgánica es un factor importante ya que, entre otros, afecta a la retención de los herbicidas aplicados al suelo. Un ejemplo de esta tecnología es el sensor OpticMapper (Veris Technologies, Salinas KS, USA).

Generación de mapas de prescripción

Para que un pulverizador equipado con tecnologías de aplicación variable pueda ejecutar una aplicación variable es neces-

sario elaborar previamente un mapa de prescripción. Este mapa indicará al pulverizador dónde aplicar herbicida y con qué dosis. Para elaborar dicho mapa de prescripción se tendrán en cuenta las capas de arcilla/conductividad eléctrica aparente y materia orgánica además de las eficacias deseadas para calcular las dosis a aplicar en cada zona.

Este es otro cuello de botella en la toma de decisiones ya que, generalmente, se desconoce cómo afectan todos estos parámetros a la eficacia de los herbicidas y, por lo tanto, establecer la dosis óptima para cada punto de la parcela resulta una tarea difícil y arriesgada. Es ahí donde el DSS IPMWi se juega un papel importante ya que permite calcular la dosis adecuada para cada ubicación de la parcela, dependiendo de las especies, tipo de suelo y las condiciones de tratamiento. A modo de ejemplo podemos ver las **figuras 2 y 3**. En las mismas podemos ver la eficacia esperada de una mezcla de dos herbicidas en dos tipos de suelo diferentes que nos he-

mos encontrado en la parcela de la **figura 1**. Así, para obtener la misma eficacia en la zona de suelo ligero con poca materia orgánica, es suficiente con aplicar un 72% de la dosis requerida en la zona de suelo pesado y con 2,4% de materia orgánica.

Pulverización variable

El paso final en el control de las malas hierbas es la pulverización de la mezcla herbicida. En el caso de aplicaciones a dosis variable, los pulverizadores deberán incorporar las denominadas tecnologías de aplicación variable (o Variable-Rate Technologies, VRT, en inglés). El control del caudal de las boquillas se puede realizar por secciones de la barra de pulverización o bien de forma independiente para cada una de las boquillas. El nivel de control que incorpore el pulverizador determinará la resolución espacial del tratamiento y, en caso de realizarse en base a un mapa de prescripción, la resolución de éste (**figura 4**). Es decir, si la apertura o cierre de las boquillas se realiza por secciones y estas

FIG. 3 Eficacia esperada de una mezcla de SpadeFlexx a 400 ml/ha +1,4 l/ha de Spectrum en un suelo pesado y con entre 1,5% y 3% de materia orgánica. Fuente: IPMwise.

Mezcla		Eficacia	
Mezcla	Spade-flexx	Spectrum	
Herbicida:	Herbicida:	Cultivo:	
Spade-flexx (400 ml)	Spectrum (1.4 l)	Maíz	
Estación:	Estado fenológico del cultivo:	Estado fenológico:	
Todo el año	Pre-emergencia	0-1 hoja	
Condiciones de tratamiento:	Temperatura:	Textura del suelo:	
Normales	10 °C - 16 °C	Pesado	
Materia orgánica:			
1.5-3.0%			
Especie de mala hierba	Mezcla	Spade-flexx	Spectrum
-			
Abutilon theophrasti	96	97	68
Amaranthus bioides	97	89	75
Amaranthus spp.	96	96	75
Chenopodium album	96	94	75
Cyperus rotundus	53	0	53
Datura stramonium	97	84	89
Digitaria sanguinalis	96	86	96
Echinochloa crus-galli	96	91	96
Echinochloa crus-galli, B-r	96	90	96
Panicum ssp.	96	93	94
Polygonum aviculare	84	84	0
Polygonum convolvulus L.	93	84	42
Polygonum lapathifolia	93	84	42
Polygonum persicaria L.	93	84	42
Portulaca oleracea	79	79	0
Rebrote de raigrás	89	0	89
Rizos de cebada	87	0	87

FIG. 4 Prescripción para la parcela de la figura 2 en l/ha de caldo herbicida a aplicar de acuerdo al tipo de suelo en cada punto.



Conclusión

El hecho de tener en cuenta parámetros como las características del suelo (textura y cantidad de materia orgánica) y, además, la distribución espacial de todos estos parámetros dentro de la parcela permite llevar a cabo aplicaciones basadas en mapas a dosis variables. Todo ello ya es comercialmente posible gracias a la aparición en el mercado de sistemas de monitorización de alta resolución, de sistemas de ayuda a la decisión como IPMwise y de pulverizadores variables. Todas estas soluciones mezclan tecnología y conocimientos agronómicos a partes iguales en el contexto de la agricultura de precisión para conseguir una agricultura más sostenible y eficiente sin perder capacidad productiva. En el caso concreto de la aplicación de herbicidas, la solución presentada contribuirá, sin duda, a eliminar los episodios de contaminación de aguas que se hacen tristemente famosos de vez en cuando en España. ■

tienen, por ejemplo, una longitud de 3 metros, no tendrá sentido establecer zonas de aplicación selectiva de ancho inferior a 3 m.

Asimismo, también sería interesante disponer del mapa de aplicación que al-

gunos pulverizadores ya ofrecen donde se indica la dosis realmente aplicada en cada punto de la parcela y otros parámetros de trabajo. El mapa de aplicación debería ser lo más parecido posible al mapa de prescripción.



Mayor eficiencia en el uso de los nutrientes



Garantía de suministro de nitrógeno y el resto de nutrientes esenciales durante todo el ciclo de los cultivos

Ahorro de aplicaciones y mayor flexibilidad



Posibilidad de reducir las aplicaciones de fertilizantes y mayor tiempo para su aplicación

Imprescindibles para la protección del clima y del medio ambiente



Gama de fertilizantes con la menor huella de carbono del mercado y reducción sustancial de la contaminación de las aguas, sobre todo en zonas vulnerables

ENTECH® maximiza el uso de los nutrientes y la protección del medio ambiente



EuroChem Agro Iberia, S.L.
Consulta nuestro catálogo de productos en
www.eurochemiberia.com



EUROCHEM