



# Diseño de tratamientos localizados para el control de avena loca en trigo

El conocimiento de la distribución espacial de las malas hierbas permite diseñar tratamientos localizados donde se aplica el herbicida sólo en zonas infestadas. Un mapeo de precisión de la infestación de malas hierbas junto con el conocimiento de la persistencia espacial en sucesivos años permitirá diseñar mapas de tratamiento con herbicidas en fase temprana en años sucesivos.

I.L. Castillejo-González<sup>1</sup>, A.I. de Castro<sup>2</sup>, A. García-Ferrer<sup>1</sup>, F. López-Granados<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática. ETSIAM. Universidad de Córdoba

<sup>2</sup> Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC. Córdoba

### Sistemas de Control Localizado de Malas Hierbas

**L**a agricultura intensiva actual tiene como principal objetivo obtener el máximo de producción agrícola mediante una alta tecnificación. En el caso del control de malas hierbas, tradicionalmente se ha considerado cada parcela como una unidad homogénea en la que no se controla la variabilidad espacial existente, programando aplicaciones de fitosanitarios de manera uniforme. En función de la distribución espacial de las malas hierbas en cada parcela, parte de la superficie agrícola puede recibir un tratamiento innecesario. Para corregir este tipo de actuación aparece la agricultura de precisión, y en concreto el Control Localizado de Malas Hierbas (CLMH), conjunto de técnicas agrícolas que tienen como principal objetivo la aplicación selectiva o dirigida de tratamientos con el fin de optimizar el proceso productivo. Estos tratamientos permiten diseñar un sistema de aplicación de herbicida en aquellas zonas donde esté presente la mala hierba, ajustando el volumen de producto a aplicar en función de la densidad de mala hierba, del umbral económico de la



## “El conocimiento de la persistencia espacial en trigo permitiría diseñar mapas de tratamiento con herbicidas a partir de las infestaciones observadas en años anteriores”



aplicación, de las propias características de las distintas especies de malas hierbas presentes en cada rodal, o incluso del grado de resistencia a los herbicidas. En el caso de la mayor parte de los cultivos cerealísticos cultivados en bajo condiciones de clima Mediterráneo, y en concreto en las parcelas de trigo en España, se observa que la avena loca (*Avena sterilis* L.) es una de las malas hierbas más abundantes. Su alta competitividad con el cultivo hace que sea deseable su erradicación de los cultivos, con objeto de no mermar la producción, así como no aumentar el banco de semillas para años sucesivos. En este sentido, y teniendo en cuenta que el alto coste de los herbicidas avenicidas, así como los objetivos marcados tanto por la Comisión Europea como por el Gobierno Español de desarrollar nuevas técnicas que permitan minimizar el uso de herbicidas (y otros pesticidas), se plantean los sistemas de CLMH como una herramienta de gran potencial para la reducción de uso de herbicida, obteniendo un control de las malas hierbas más sostenible.

Un aspecto clave del CLMH es la necesidad de obtener mapas de infestaciones de malas hierbas adecuados, precisos y en las fechas de aplicación con objeto de aprovechar al máximo las aplicaciones

localizadas de herbicidas. En la mayoría de los análisis de control de malas hierbas en cultivos se suele realizar el tratamiento en una etapa temprana del crecimiento del cultivo. Sin embargo, la discriminación mediante teledetección de algunas combinaciones cultivo-malas hierbas, ej. malas hierbas gramíneas en cultivos de cereal, presentan muchas dificultades para la clasificación de ambas especies en fases tan tempranas en comparación a la realización de su mapeo en la fase tardía del cultivo. Estas complicaciones se deben, principalmente, a que ambos tipos de plantas presentan un comportamiento espectral muy parecido en la fase inicial del cultivo,

a que en ese momento los rodales de la mala hierba son muy pequeños y a que la falta de densidad del cultivo en estados tan avanzados de crecimiento hace que el suelo también interfiera en la discriminación (Thorpy y Tian, 2004). Una alternativa a la discriminación en fases tempranas es la detección en fases tardías de cultivo, debido a que las diferencias fenológicas cultivo-mala hierba pueden ser suficientemente acusadas para permitir un incremento en la respuesta espectral de cada especie. En este caso, la detección de malas hierbas en estados fenológicos tardíos del cultivo presenta un gran potencial si la superficie de cultivo se encuentra

**Foto 1**  
Situación del trigo en la etapa fenológica senescente (planta amarilla) y las malas hierbas en maduración (planta verde)



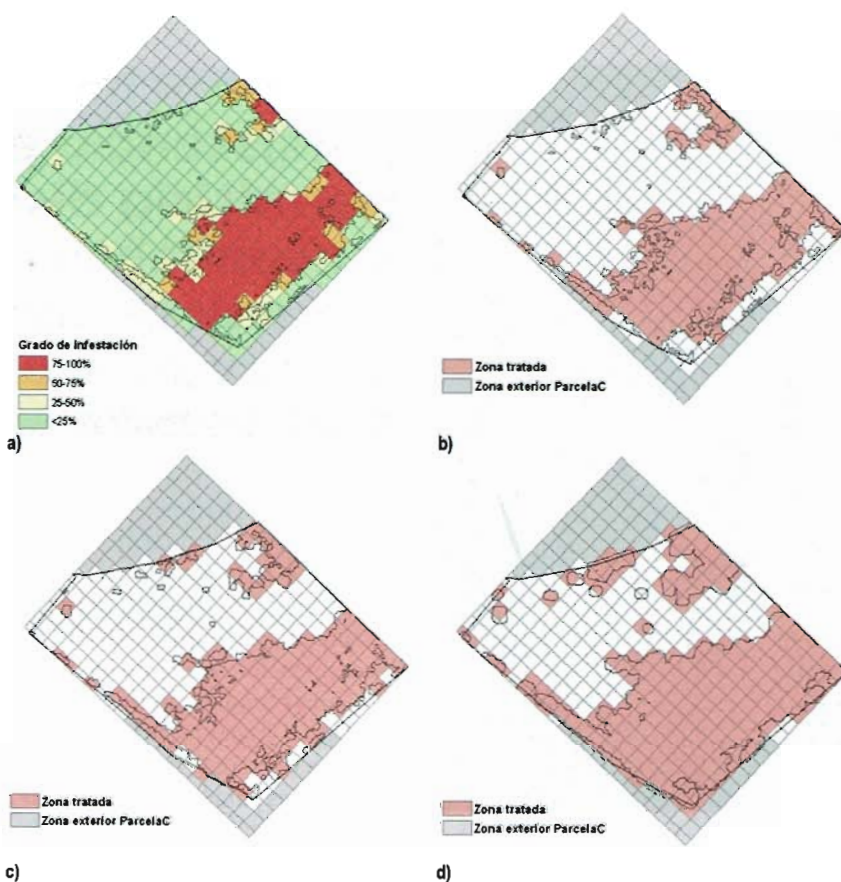


totalmente cubierta, las malas hierbas superan la altura del cultivo y las diferencias espectrales entre el cultivo y las malas hierbas están presentes y son cuantificables (López-Granados, 2011). Esta circunstancia se observa en las infestaciones de avena en trigo, donde su caracterización espectral permite una discriminación precisa de ambas especies gramíneas cuando las malas hierbas se encuentran en un estado inicial de maduración con la planta verde y el trigo se encuentra en un estado avanzado de maduración con la planta parcialmente amarilla o senescente (Gómez-Casero et al., 2010) (**Foto 1**). Por tanto, el mapeo de malas hierbas en épocas tardías de cultivo está dirigido a utilizar dichos mapas en aplicaciones en pre-emergencia en años sucesivos.

### Estabilidad de los rodales de malas hierbas

Debido al coste que supone la generación de mapas precisos de infestación de malas hierbas, es importante minimizar la frecuencia de mapeo. En este sentido, la estabilidad y el comportamiento de cada mala hierba son críticos. Es por ello que se plantea la necesidad de conocer perfectamente la estabilidad de la infestación de avena loca en trigo. Este conocimiento nos permitirá diseñar tratamientos de CLMH eficientes al considerar, no sólo la distribución espacial de la infestación de mala hierba del cultivo anterior, sino la predicción de su posible expansión. En este sentido, Castillejo-González et al., 2019 realizó distintos análisis multitemporales de parcelas naturalmente infestadas de avena en trigo para conocer su comportamiento. La distribución espacial de las infestaciones de distintas parcelas se obtuvo a partir del trabajo realizado por Castillejo-González et al., 2014.

Un primer análisis que se debe hacer en este sentido es ver la tendencia de cambio a lo largo del tiempo, es decir, ver la tendencia de propágación que tiene la avena desde el año que se ha detectado espacialmente (año  $t_0$ ) al siguiente año de cultivo de trigo (año  $t_1$ ). Para el estudio anteriormente mencionado, se trabajó en parcelas de trigo en Andalucía, donde lo más usual es ver rotaciones trigo-girasol. En este caso,



**Figura 1** Diseño de tratamientos localizados de malas hierbas: a) Grado de infestación de malas hierbas; b) zona tratada para infestación detectada en año previo ( $t_0$ ); c) zona tratada para infestación detectada en año previo ( $t_0$ ) + 1 metro (localización del 25% de las nuevas infestaciones); d) zona tratada para infestación detectada en año previo ( $t_0$ ) + 4 metro (localización del 50% de las nuevas infestaciones)

se estudió la evolución de cambios de las infestaciones en años no sucesivos, conociendo que la avena no emergió en el año intermedio cuando se observó cultivo de girasol. La tendencia temporal observada en la distribución de las avenas en las parcelas marca un incremento generalizado de la superficie de éstas. Este incremento muestra la necesidad de tratar con herbicida con idea de que la infestación no se extienda por toda la superficie cultivada posteriormente. Tras conocer el porcentaje de cambio de cada uso del suelo (trigo/avena) en cada parcela en los dos años estudiados, también fue interesante conocer si existió agregación en la localización de las malas hierbas o si éstas se encontraron dispersas por toda la imagen. Una agregación en los datos nos indica que la infestación de avenas se distribuye en rodales, lo que facilita el diseño de mapas de tratamiento localizado de herbicida tanto para el año de estudio

como para años sucesivos. En todos los casos estudiados se observó una marcada autocorrelación espacial positiva, es decir, un claro agrupamiento de las infestaciones de avenas en las parcelas. Este agrupamiento indica la conveniencia de diseñar aplicaciones localizadas de herbicida donde sólo se traten aquellas zonas infestadas, dejando sin tratar aquellas zonas libres de malas hierbas. Adicionalmente, en el caso de conocer la densidad de la infestación, se podría diseñar un tratamiento de aplicación variable que se adaptara perfectamente a las características del cultivo.

Una vez que se comprobó si existía o no cierto grado de agregación en la situación espacial de las avenas, fue necesario comprobar si la aparición de nuevas avenas estaba influenciada o no por la situación espacial de las avenas anteriores. Con este análisis se pretendió determinar si la dispersión de la semilla se realizó a distancias cortas

## “Debido al coste que supone la generación de mapas precisos de infestación de malas hierbas, es importante minimizar la frecuencia de mapeo”

de la fuente o si por el contrario estuvo muy influenciada por factores externos como el viento o la maquinaria agrícola, que alejan su germinación de la fuente. En general, distancias de dispersión cortas pueden implicar un patrón espacial agregado de plántulas, lo que facilitaría conocer el comportamiento de la mala hierba con vistas a proponer mapas de CLMH más ajustados para años sucesivos. Los análisis de distancia de propagación de infestaciones de avena mostraron que las nuevas plantas de avena emergidas estaban claramente influenciadas por las ya presentes en años anteriores. Los valores medios observados mostraron una distribución exponencial donde el 25%, 50% y 75% de las nuevas infestaciones emergieron a 1 m, 4 m, y 9 m de las infestaciones origen. Esta información nos permite prever el comportamiento de la mala hierba, diseñando el tratamiento de herbicida considerando la expansión probable de la mala hierba en el siguiente cultivo.

### Diseño de los tratamientos localizados

A partir del conocimiento de las infestaciones iniciales (año  $t_0$ ) y del conocimiento del grado de dispersión de la avena loca en trigo, se diseñaron tratamientos localizados para el control temprano en el cultivo de trigo siguiente (año  $t_1$ ) (**Figura 1**). Estos tratamientos se pueden determinar en función del grado de dispersión que se quiera considerar. Este diseño será más o menos eficiente respecto al tratamiento uniforme de la parcela, en función de la distribución espacial de la infestación en la parcela y de la dimensión y forma de ésta. Un punto destacado a la hora

de diseñar este tratamiento sería conocer el sentido del movimiento de la maquinaria agrícola que se utilice en cada parcela, con objeto de limitar con más exactitud la dirección de dispersión de las semillas. Igualmente, en zonas donde se observen vientos con una dirección claramente marcada, esta dirección debería ser considerada a la hora de planificar las zonas a tratar por mayor riesgo de futuras nacencias de malas hierbas.

### Conclusiones

Para las condiciones de cultivo evaluadas, los resultados del presente estudio muestran que la persistencia espacial de los rodales de avena loca en los campos de trigo es altamente dependiente de infestaciones previas, lo que permite la predicción de futuros comportamientos de infestación. Esto favorece el diseño de tratamientos de CLMH en años posteriores, aplicando el producto solo en las zonas infestadas. Los datos obtenidos mostraron que las mejores estrategias de manejo dependen de las condiciones agronómicas (por ejemplo, el rendimiento esperado del trigo) y el porcentaje de infestación observado en cada campo. Aunque en algunos casos el beneficio económico entre los tratamientos CLMH y los tratamientos homogéneos en toda la parcela es poco significativo, las autoridades alientan este tipo de técnicas para controlar las malas hierbas debido a su menor uso de herbicidas y, por tanto, su reducción de contaminación ambiental. Esta reducción en el aporte de herbicidas es más segura desde el punto de vista tanto ecológico como del consumidor y se ajusta a la legislación europea actual.

### Bibliografía

- Castillejo-González, I.L., de Castro, A. I., Jurado-Expósito, M., Peña, J.M., García-Ferrer, A., López-Granados, F. (2019). Assessment of the persistence of *Avena sterilis* L. patches in wheat fields for site-specific sustainable management. *Agronomy*, 9(30); doi:10.3390/agronomy9010030 (Open Access).
- Castillejo-González, I.L., Peña-Barragán, J.M., Jurado-Expósito, M., Mesas-Carrascosa, F.J., López-Granados, F. (2014). Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wild oat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBird imagery for site-specific management. *European Journal of Agronomy*, 59, 57-66.
- Gómez-Casero, M.T., Castillejo-González, I.L., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J.M., Jurado-Expósito, M., García-Torres, L., López-Granados, F. (2010). Spectral discrimination of wild oat and canary grass in wheat fields for less herbicide application. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(3), 689-699.
- López-Granados, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51(1), 1-11.
- Thorp, K.R., Tian, L.F. (2004). A review on remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agriculture*, 5(5), 477-508.

### Agradecimientos

Trabajo realizado por el Grupo de Investigación AGR-124 (Junta de Andalucía), compuesto por miembros del Grupo Imaping del Instituto de Agricultura Sostenible del CISC y del Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática de la Universidad de Córdoba. Los estudios han sido parcialmente financiados por el proyecto AGL2017-83325-C4-4R (Ministerio de Ciencia, Universidades e Innovación, Fondos FEDER: Fondo Europeo de Desarrollo Regional). La investigación de A.I. de Castro se financió a través del Programa Juan de la Cierva Incorporación.