

Tesis doctoral

Discriminación de infestaciones de malas hierbas crucíferas en cultivos anuales de invierno utilizando imágenes de alta resolución espacial mediante métodos basados en píxeles, objetos y redes neuronales para su control de precisión

Autor: Ana Isabel de Castro Megías

Directoras: Montserrat Jurado Expósito y Francisca López Granados

Disponible: <http://hdl.handle.net/10396/9477> (Base Helvia, UCO)
www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1016319 (Base TESEO)

Lugar: Instituto de Agricultura Sostenible IAS-CSIC, Córdoba

Fecha: 8 de marzo 2013

Calificación: *Cum laude*

Desde finales del siglo XX la sociedad ha demandado el desarrollo de nuevas técnicas agrícolas que optimicen los recursos sin degradar el medio ambiente, buscando un equilibrio entre agricultura productivista y exigencias medioambientales. En este contexto surge la **Agricultura de Precisión**, una técnica de gestión de parcelas agrícolas que incorpora la variabilidad espacial de los factores implicados en el rendimiento de los cultivos, realizando aplicaciones dirigidas o localizadas y en la dosis óptima de los insumos necesarios (semillas, riego, fertilizantes y fitosanitarios). Esta técnica permite reducir costes, optimizar la producción agrícola, aumentar la rentabilidad para los productores y obtener beneficios ecológicos y ambientales (Robert, 2002; Srinivasan, 2006).

Esta preocupación económica y medioambiental, junto con el excesivo consumo de productos fitosanitarios en Europa (7.964 M ? en 2009, www.aepla.es), se ha visto plasmada en el Reglamento (CE) 1107/2009 para la *Comercialización de Productos Fitosanitarios*, dentro del cual se ha definido la Directiva 2009/128/CE para el Uso Sostenible de Plaguicidas, destacando como elementos clave “*el fo-*

mento del bajo consumo (reducción de las aplicaciones) y la utilización de dosis adecuadas en función de las infestaciones de malas hierbas”. Esta Directiva ha sido recientemente traspuesta al Real Decreto 1311/2012 (BOE nº 223 del 15 de septiembre de 2012), en el que *se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios*, que va a tener una gran repercusión en la forma de acometer la gestión agrícola, con especial relevancia en el uso de herbicidas.

El desarrollo de la agricultura de precisión se ha hecho posible gracias a la emergencia de tecnologías entre las que cabe destacar la **Teledetección**, que permite obtener información sobre grandes áreas agrícolas permitiendo la discriminación y mapeo de las distintas cubiertas vegetales presentes en dichas zonas mediante técnicas de análisis y clasificación digital, dada la diferencia en el comportamiento espectral intrínseco de cada una de ellas (López-Granados, 2011).

El objetivo de esta Tesis Doctoral ha sido desarrollar una metodología robusta y precisa para la detección de rodales de malas hierbas crucíferas en estado fenológico tardío en cultivos de invierno (trigo, habas y guisantes), aplican-

do técnicas de teledetección en imágenes de alta resolución espacial, para la planificación de estrategias de control localizado en situaciones de post-emergencia en la misma campaña y/o de pre-emergencia en sucesivos años.

Para ello se midió la firma espectral de varios cultivos de invierno (trigo y habas) y de malas hierbas crucíferas (principalmente *Diplotaxis* spp. y *Sinapis* spp.) con un espectrorradiómetro de campo y se aplicaron técnicas de Análisis Discriminante y Redes Neuronales (Perceptrón Multicapa y Función de Base Radial) para analizar estadísticamente los datos hiperespectrales y multiespectrales obtenidos con el fin de seleccionar las longitudes de onda, bandas e índices de vegetación, así como el momento fenológico más adecuado, para la discriminación entre el cultivo y las malas hierbas. Posteriormente, se evaluó el uso de imágenes aéreas y de satélite de alta resolución espacial (QuickBird) para elaborar mapas de infestación de rodales de *Diplotaxis* spp. y *Sinapis* spp. en estado fenológico tardío (inicio de floración) en cultivos de invierno aplicando distintos métodos de clasificación (índices de vegetación y Máxima Probabilidad). Para finalizar, se utilizaron los mapas de infestaciones de malas hierbas obtenidos con las imágenes anteriores para elaborar los mapas de tratamiento localizado, tanto a escala parcela como a escala comarcal, que permitan realizar aplicaciones dirigidas únicamente a las infestaciones.

De los trabajos anteriormente descritos se han podido obtener los siguientes resultados:

1. La discriminación entre las malas hierbas crucíferas y los cultivos de trigo y habas fue posible mediante el análisis de las firmas espectrales tomadas con espectrorradiómetro de campo. Las tres técnicas evaluadas (Análisis Discriminante, Perceptrón Multicapa y Función de Base Radial) permitieron clasificar de forma satisfactoria tanto las firmas multiespectrales como las hiperespectrales de cultivo y mala hierba. Los mejores resultados se obtuvieron con la red Perceptrón Multicapa, con valores de precisión por encima del 98,1%, y en algunos casos del 100%, permitiendo seleccionar en cada caso las longitudes de onda o índices de vegetación con mayor potencial para la discriminación de las malas hierbas crucíferas en imágenes remotas.

El estado fenológico más adecuado para llevar a cabo la discriminación de las malas hierbas crucíferas y los cultivos de invierno y por tanto, para la captura de las imágenes remotas, se alcanza cuando las firmas espectrales del cultivo y la mala hierba muestran sus máximas diferencias que, según se concluye de este estudio, corresponde con el estado de floración de las crucíferas (color amarillo intenso) y con el estado vegetativo del cultivo (color verde), generalmente observado entre finales de marzo y mediados de abril en las condiciones de clima mediterráneo de los campos estudiados en esta Tesis. Esta ventana temporal es amplia y permite extrapolar estos resultados a otras zonas del área mediterránea con similares condiciones agronómicas y climáticas (Resultados publicados en De Castro *et al.*, 2012a).

2. La aplicación de técnicas de teledetección en imágenes aéreas multiespectrales permitió clasificar de forma eficiente los rodales de malas hierbas crucíferas en trigo, habas y guisantes y elaborar mapas de infestación de crucíferas en estado fenológico tardío. Los índices de vegetación Rojo/Azul y Azul/Verde, así como el algoritmo de Máxima Probabilidad, fueron los métodos más precisos en las clasificaciones en los tres cultivos y se utilizaron para elaborar los mapas de tratamiento localizado para el control de crucíferas en post-emergencia o diseñar estrategias de control para campañas siguientes. El empleo de estos mapas de tratamiento permitiría obtener un ahorro del 71,9 al 95,5 % en aquellas zonas que no requieren tratamiento y del 4,3 al 12 % para las zonas que podrían necesitar tratamiento herbicida a dosis reducidas (Resultados publicados en De Castro *et al.*, 2012b).

3. La imagen multiespectral de alta resolución espacial del satélite QuickBird fue segmentada para seleccionar los campos de trigo presentes en la escena y eliminar el resto de usos de suelo (olivar, otros cultivos herbáceos, carreteras y ciudades), contabilizando un total de 263 campos de trigo repartidos por la imagen. La clasificación de los rodales de las malas hierbas crucíferas en dichos campos se llevó a cabo con mediante diferentes índices de vegetación y el algoritmo de Máxima Probabilidad, tanto a nivel de parcela (en varios campos individuales extraídos de la escena comple-

ta) como a escala comarcal (en la imagen formada por los 263 campos de trigo). Los clasificadores más precisos fueron el índice Azul/Verde y el algoritmo de Máxima Probabilidad, tanto en campos individuales como en la imagen completa. A escala comarcal, los resultados de las clasificaciones fueron ligeramente inferiores (89,45% y 91,30% de precisión global del mapa con el índice A/V y el algoritmo de Máxima Probabilidad, respectivamente) lo cual se atribuye a la alta variabilidad espectral de los diferentes campos de trigo repartidos en la imagen. De estos 263 campos, 184 estaban infestados por malas hierbas crucíferas.

4. La elaboración de mapas de tratamiento localizado con imágenes QuickBird permite extraer rápidamente información espacial de extensas superficies agrarias y diseñar diferentes estrategias de control de malas hierbas crucíferas consiguiendo reducir la cantidad de herbicida aplicado en post-emergencia. La utilización de mapas de tratamiento localizado en fase tardía del cultivo a escala comarcal permitiría un ahorro de herbicida del 61,31% para las zonas que no requieren tratamiento, y del 13,02% en aquéllas que podrán necesitar tratamiento herbicida a dosis reducidas (Resultados publicados en De Castro *et al.*, 2013).

Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por MICINN (AGL-2008-04670-

CO3-03), MINECO (AGL-2011-30442-CO2-01) y fondos FEDER. El CSIC financió la beca JAEPre-doc de la doctoranda Ana Isabel de Castro, dentro del programa “Junta para la Ampliación de Estudios.

Referencias bibliográficas

- DE CASTRO, A. I., JURADO-EXPÓSITO, M., GÓMEZ-CASERO, M. T., & LÓPEZ-GRANADOS, F. 2012a. Applying Neural Networks to Hyperspectral and Multispectral Field Data for Discrimination of Cruciferous Weeds in Winter Crops. *The Scientific World Journal*, 1-11. DOI:10.1100/2012/630390.
- DE CASTRO, A. I., JURADO-EXPÓSITO, M., PEÑA-BARRAGÁN, J. M., & LÓPEZ-GRANADOS, F. 2012b. Airborne multi-spectral imagery for mapping cruciferous weeds in cereal and legume crops. *Precision Agriculture*, 13, 302-321.
- DE CASTRO, A. I., LÓPEZ-GRANADOS, F., & JURADO-EXPÓSITO, M. 2013. Broad-scale Cruciferous Weed Patch Classification in Winter Wheat using QuickBird Imagery for In-Season Site-Specific Control. *Precision Agriculture*. DOI: 10.1007/s11119-013-9304-y.
- LÓPEZ-GRANADOS, F. 2011. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51, 1-11.
- ROBERT, P. C. 2002. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Precision Agriculture*, 247, 143-149.
- SRINIVASAN, A. 2006. Precision Agriculture: An Overview. En: Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications. Ed.: A. Srinivasan. Food Products Press. The Haworth Press. New York. 684 pp.

