

TELEDETECCIÓN DE MALAS HIERBAS EN CULTIVOS EN FASE TEMPRANA: UN DESAFÍO AGRONÓMICO TRANSVERSAL

F. López-Granados, M. Jurado-Expósito, J. M. Peña-Barragán, M.T. Gómez-Casero, A. de Castro, J.J. Caballero-Novella, D. Gómez-Candón, L. García-Torres
Instituto de Agricultura Sostenible-IAS/CSIC, Apdo 4084, 14080-Córdoba, flgranados@ias.csic.es

Resumen: Se discuten brevemente los condicionantes que presenta la detección de malas hierbas en fase temprana utilizando imágenes remotas. En concreto, se describen las resoluciones espectral y espacial que requieren las imágenes para lograr dicho objetivo, los problemas de similitud espectral entre malas hierbas-cultivo en fases tempranas de desarrollo y cómo solventarlos con la utilización de las imágenes procedentes de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Finalmente, se presenta el estado actual de las investigaciones utilizando imágenes UAV en el marco del *Proyecto RHEA-European Commission – 7 Frame Programme*.

Palabras clave: agricultura de precisión; imágenes de satélite, aéreas o de vehículos aéreos no tripulados; resoluciones espectral y espacial; robots para control localizado; similitud espectral.

INTRODUCCIÓN

Control Localizado de Malas Hierbas y Teledetección. Aunque las malas hierbas en los cultivos se distribuyen en rodales o agregados, su control se realiza asumiendo una distribución uniforme, incluso cuando existe tecnología disponible para dirigirlo únicamente a las zonas infestadas. Si nos centramos en control localizado mediante herbicidas, éstos pueden aplicarse ajustando la dosis según densidad de malas hierbas o su composición, considerando por ejemplo, malas hierbas resistentes a herbicidas o bien que sean de hoja ancha o estrecha. Cualquier de estas alternativas requiere monitorizar las emergencias bien con muestreos de campo o detección utilizando sensores.

Las malas hierbas pueden ser detectadas y mapeadas por *sensores próximos* instalados en cosechadoras, tractores o robots autónomos (BURGOS-ARTIZZU *et al.*, 2011) y por *sensores remotos* situados en plataformas espaciales (satélites) y aéreas, bien sean éstas tripuladas o no (LÓPEZ-GRANADOS, 2011). La mayoría de ambos tipos de sensores se basan en que la respuesta espectral de las plantas es única (se conoce como *firma espectral*) y varía a lo largo de su ciclo de vida según el estado fenológico. Tanto para sensores próximos como remotos, hay que considerar tres aspectos complejos: métodos robustos de *adquisición de imágenes*, de *análisis* de éstas y de *diseño de zonas*

de control, de ahí que la detección de malas hierbas se considere un *objetivo agronómico transversal* en el que hay que incorporar muchos y muy diversos parámetros. Ahora bien, aunque se han realizado grandes esfuerzos los últimos años, en la discriminación de malas hierbas aún quedan numerosos puntos por resolver y sigue siendo un reto a nivel científico y empresarial. Por ello, en este trabajo se discutirán las distintas variables que condicionan el éxito de la discriminación y la cartografía de malas hierbas utilizando imágenes remotas para su control localizado. Se presentarán principalmente los problemas de abordar una discriminación en estado fenológico temprano. Entre éstos destacan: 1) la similitud espectral que muestran en dichos estados las malas hierbas y cultivo, y 2) las limitaciones y oportunidades que presentan las imágenes remotas disponibles. En este trabajo sólo nos referiremos a la cartografía de malas hierbas con sensores remotos, si bien en LÓPEZ-GRANADOS (2011) se pueden consultar los avances en investigaciones con sensores próximos.

TELEDETECCIÓN DE MALAS HIERBAS: ESTADO FENOLÓGICO TARDÍO vs TEMPRANO

La discriminación de malas hierbas en *estados fenológicos tardíos* (floración o inicio de senescencia) se basa en que: 1) no hay interferencias entre las reflectividades de malas hierbas, cultivo y suelo, 2) malas hierbas y cultivo suelen tener una maduración desigual lo que se traduce en una mayor diferenciación espectral, y 3) las malas hierbas son relativamente estables en su localización en años sucesivos y ello facilita que los mapas de las infestaciones de un año puedan ser útiles los años siguientes (caso de malas hierbas gramíneas en cereal) o incluso el mismo año si el control con herbicidas de pre-emergencia no fue el adecuado (caso de infestaciones crucíferas en cereal). En el Grupo de *Malherbología, Agricultura de Precisión y Teledetección* (Instituto Agricultura Sostenible-CSIC-Córdoba) hemos desarrollado investigaciones para obtener mapas de infestaciones de malas hierbas en estados tardíos con imágenes multiespectrales procedentes de aviones convencionales (LÓPEZ-GRANADOS *et al.*, 2006; PEÑA-BARRAGÁN *et al.*, 2007; 2010) y de satélites de alta resolución espacial como QuickBird (píxel en multiespectral: 2,4 m; DE CASTRO *et al.*, 2010).

Por otra parte, si nos planteamos realizar *tratamientos localizados de post-emergencia en fase temprana*, la discriminación y cartografía de las malas hierbas en el cultivo permanece como uno de los desafíos más importantes en control localizado debido a: 1) las malas hierbas gramíneas en cereales y las malas hierbas dicotiledóneas en cultivos de hoja ancha tienen firmas espectrales y apariencia muy similares, 2) las malas hierbas en fases tempranas se suelen distribuir en rodales pequeños, y 3) la reflectividad del suelo suele interferir la detección ya que el cultivo aún no ha cubierto las zonas entre-hileras. En las secciones siguientes aclararemos qué parámetros se deben considerar para solventar estos tres problemas.

RESOLUCIONES ESPECTRAL Y ESPACIAL: TIPO DE IMÁGENES

La resolución *espectral* se refiere al número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, lo que permite distinguir entre imágenes multiespectrales (normalmente entre 3 y 7 bandas de unos 100 nm de ancho) e hiperespectrales (adquieren información en varias decenas e incluso centenas de bandas estrechas < de 5 nm de ancho). Unida a esta resolución, está la *espacial* que indica las dimensiones del objeto más pequeño que puede ser discriminado. HENGL (2006) determinó que son necesarios al menos 4 píxeles para detectar el objeto más pequeño (en nuestro caso, plantas de malas hierbas y cultivo en fases tempranas). Por ejemplo, si el objeto más pequeño es un rodal de 1 m² (1 x 1 m), deberíamos utilizar una imagen con una resolución ≤ 0,5 m. Las imágenes aéreas de aviones convencionales pueden alcanzar esas resoluciones, mientras que las

imágenes multiespectrales de satélite con la mejor resolución espacial disponibles son las de GeoEye-1 con 1,64 m píxel. Así, si pretendemos discriminar una planta que en estado temprano ocupa 9 cm², necesitaremos imágenes con píxel = 1,5 cm. Sin embargo, como se ha indicado, actualmente ni satélites comerciales ni aviones convencionales generan imágenes con dicha resolución espacial.

IMÁGENES PROCEDENTES DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV): PROYECTO RHEA

Para obtener la elevada resolución espacial mencionada, recientemente se han desarrollado los vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles, UAV*) cuyo potencial en Malherbología es enorme debido a que: 1) se pueden programar a demanda, en momentos críticos del cultivo y con gran flexibilidad, 2) trabajan con total autonomía incluso en días nublados, y 3) generan imágenes con tamaño de píxel desde pocos mm a varios cm (dependiendo de la lente de la cámara y de la altura de vuelo). Estas características son impensables en otro tipo de imágenes. Por ello, nuestro Grupo de Investigación ha iniciado una línea de trabajo dentro del Proyecto RHEA (*Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management*) (www.rhea-project.eu) cuyo objetivo global es desarrollar una flota de robots que incluye unidades autónomas terrestres y aéreas.

Nuestra aportación en el proyecto RHEA consiste en: 1) utilizar las imágenes que generan las unidades autónomas aéreas (UAV) para discriminar suelo desnudo, malas hierbas y cultivo en estados tempranos, y 2) diseñar los mapas de tratamientos según las infestaciones. Basándose en éstos, los robots terrestres dotados de sistemas de actuación y de pulverización realizarán el control de las malas hierbas en función de su localización y composición (gramíneas y/o dicotiledóneas).

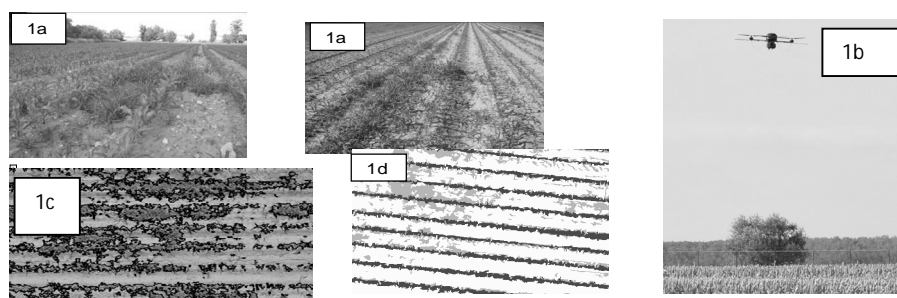


Figura 1. 1a) Maíz y rodales de malas hierbas en fases tempranas; 1b) Vehículo aéreo no tripulado-UAV; 1c) Imagen tomada con UAV que ha sido segmentada en objetos (píxeles homogéneos adyacentes): hileras maíz y rodales malas hierbas; 1d) Imagen clasificada: hileras maíz y rodales malas hierbas

ESTADO ACTUAL EXPERIMENTACIÓN PARA DETECCIÓN DE MALAS HIERBAS TEMPRANAS

En mayo de 2011 hemos iniciado la experimentación en campos de maíz infestados de diversas malas hierbas en estados tempranos (Figuras 1a: *Sorghum halepense*, *Cyperus rotundus*, *Ecbalium elaterium*, entre otras) sobre los que hemos realizado vuelos con un UAV (Figura 1b: ejemplo UAV) con cámara multiespectral (visible + infrarrojo cercano) cuyas imágenes presentan píxeles desde pocos mm a 2-3 cm según las diferentes alturas de vuelo que hemos establecido (30, 60 y 100 m). Una de las características diferenciadoras de las imágenes procedentes de UAV es que éstos cubren normalmente una superficie reducida en cada vuelo tomando lo que se denomina una *secuencia de fotogramas*. Cada fotograma debe ser unido o "mosaicado" a través de un procedimiento de cierta complejidad para crear una ortofoto completa, única y continua de toda la parcela de estudio. Ahora bien, esta ortofoto posee una alta variabilidad espectral intra-clases. Para minimizarla y aumentar la precisión de la discriminación, se debe realizar una *segmentación* de la

ortoimagen generando *objetos* que son agrupaciones de píxeles adyacentes homogéneos (Figura 1c). Una vez segmentada la ortoimagen, se procede al análisis de imagen propiamente dicho aplicando algoritmos de clasificación (ej.: Máxima Probabilidad, Árboles de Decisión, entre otros). Actualmente estamos en pleno desarrollo de mosaicado, segmentación de las orto-imágenes y clasificación (Figura 1d).

AGRADECIMIENTOS

El proyecto RHEA (ref.: 245986, financiación UE-7FP; 2010-14) lo integran: *Centro Automática y Robótica-coordinador (CSIC), Inst^o Ciencias Agrarias (CSIC), Inst^o Agricultura Sostenible (CSIC), Univs. Complutense Madrid (Facultad Informática) y Politécnica Madrid (ETSI Agrónomos y ETSI Industriales), Univs. Pisa y Florencia, CEMAGREF (Francia),* así como las empresas *CNH France S.A.; Tropical (Grecia); Soluciones Agrícolas de Precisión S.L. (España); AirRobot GmbH & Co. KG (Alemania); Cyberbotics Ltd y Bluebotics S.A. (Suiza); CogVis GmbH y Forschungszentrum Telekommunikation Wien Ltd (Austria); y CM Srl (Italia).*

BIBLIOGRAFÍA

- DE CASTRO, A.I.; JURADO-EXPÓSITO, M.; GÓMEZ-CASERO, M.T.; GÓMEZ-CANDÓN, D.; CABALLERO-NOVELLA, J.J.; LÓPEZ-GRANADOS, F. (2010). Discrimination of cruciferous weeds in wheat crops using QuickBird satellite imagery. IV International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, pp.133-137. Valencia. Spain.
- HENGL, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32, 1283-1298.
- LÓPEZ-GRANADOS, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51, 1-11.
- LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; PEÑA-BARRAGÁN, J.M.; GARCÍA-TORRES, L. (2006). Using remote sensing for identification of late-season grass weed patches in wheat. *Weed Science*, 54, 346-352.
- PEÑA-BARRAGÁN, J.M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; GARCÍA-TORRES, L. (2007). Mapping *Ridolfia segetum* patches in sunflower crop using remote sensing. *Weed Research*, 47, 164-172.
- PEÑA-BARRAGÁN, J.M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; GARCÍA-TORRES, L. (2010). Sunflower yield related to multitemporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision Agriculture*, 11, 568-585.
- BURGUS-ARTIZZU, X.P.; RIBEIRO, A.; GUIJARRO, M.; PAJARES, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 337-346.

Summary: Early multispectral detection of weeds: a cross-commodity agronomic objective. This work presents preliminary experiments carried out in the RHEA project (www.rhea-project.eu) with multispectral and very high spatial resolution imagery (pixel \leq 3 cm) from an unmanned aerial vehicle in order to classify weeds in maize fields at early phenological stages.

Keywords: precision agriculture, site-specific weed equipment, spectral similarity, unmanned aerial vehicles, spectral and spatial resolutions.