

DISCRIMINACIÓN DE MALAS HIERBAS CRUCÍFERAS EN CULTIVOS DE INVIERNO PARA SU APLICACIÓN EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

A. I. de Castro, M. Jurado-Expósito, J. M. Peña-Barragán, L. García y F. López-Granados.

Instituto de Agricultura Sostenible IAS-CSIC. Aptdo 4048, 14080 Córdoba. anadecastro@ias.csic.es

RESUMEN

En prospecciones de campo se constató que las malas hierbas crucíferas infestan los cultivos de invierno produciendo elevadas pérdidas en producción. Este trabajo consistió en la clasificación supervisada de rodales de crucíferas en cultivos de trigo, habas y guisantes utilizando imágenes aéreas y técnicas de teledetección para su aplicación en Agricultura de Precisión. En abril de 2007 se adquirieron tres imágenes aéreas multiespectrales en tres fincas de Córdoba, cultivadas de trigo, habas y guisantes e infestadas de crucíferas, y se tomaron datos con DGPS para la georreferenciación de las imágenes y de datos "verdad-terreno". Se realizó una clasificación supervisada basada en bandas e índices de vegetación, aplicando la técnica de separación de clases, empleando cuatro bandas y siete índices de vegetación: NDVI, RVI, B/G, R/B, R/G, NIR/B y NIR/G. Los resultados se validaron mediante Matrices de Confusión y estadísticos de clasificación. El mejor resultado se obtuvo con el índice R/B, aunque NDVI, RVI y B/G también fueron satisfactorios. Se elaboraron los mapas de infestación de crucíferas y se calculó la superficie ocupada por éstas para diseñar una estrategia de control localizado de herbicidas.

ABSTRACT

Multispectral aerial images (four bands: blue, green, red and near-infrared) of three fields located in Cordoba, were captured in April 2007, and remote sensing techniques were applied to classify weeds cruciferous patches in three winter crops: wheat, broad bean and peas and to carry out site-specific management. Class separation based on vegetation indexes and bands were used and corresponding confusion matrix and classification statistics were calculated. Cruciferous patches were efficiently discriminated with R/B, NDVI, RVI and B/G vegetation indexes. These results point out that to map cruciferous patches in winter crops and to design weed infestation maps using in precision agriculture, is feasible using aerial images and remote sensing techniques.

Palabras clave: índices de vegetación, teledetección, imágenes aéreas, R/B, mapa de infestación.

INTRODUCCIÓN

En prospecciones de campo en la campaña de Córdoba y Sevilla se constató que las malas hierbas crucíferas infestan con frecuencia los cultivos de invierno. Las crucíferas son especies muy competitivas y producen elevadas pérdidas en éstos cultivos (Mas and Verdú, 2003 y Miller *et al.*, 2006), persistiendo los rodales en años posteriores e infestando cualquiera de los cultivos incluidos en la rotación. Los herbicidas utilizados no realizan un adecuado control de crucíferas en pre-siembra y, en post-emergencia, si existen en el mercado para los cereales aunque no para las leguminosas, teniendo que recurrir a la escarda o eliminación manual.

Las diferencias en cuanto al color en la floración de la mala hierba y de los cultivos (cultivo-verde, mala hierba-amarilla), permiten que potencialmente puedan ser detectadas y mapeadas mediante teledetección, ya que cada superficie refleja o emite la energía electromagnética de forma diferente; cada cubierta vegetal presenta una firma

espectral característica. Se han realizado estudios de discriminación de rodales de malas hierbas gramíneas en trigo mediante técnicas de teledetección (López-Granados *et al.*, 2006) con resultados satisfactorios, demostrando el enorme potencial de esta técnica para la discriminación de malas hierbas.

La agricultura de precisión persigue la aplicación selectiva o localizada de agroquímicos con el fin de reducir costes, optimizar rendimientos de los cultivos, aumentar la rentabilidad para los productores y obtener beneficios ecológicos y ambientales. Las técnicas de teledetección permiten elaborar mapas de tratamientos para la aplicación localizada de herbicidas (Peña-Barragán *et al.*, 2007).

Los índices de vegetación, combinaciones o ratios de las bandas de la imagen, permiten aumentar las diferencias de reflectancia entre usos de suelo. Los más usados en estudios de teledetección para clasificar vegetación son $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$

(Normalized Difference Vegetation Index) y $RVI = (NIR/R)$ (Ratio vegetation Index), basados en la diferencia espectral de la vegetación en las longitudes de onda del rojo y del infrarrojo cercano.

El objetivo de este trabajo consistió en la clasificación de los rodales de malas hierbas crucíferas *Diplotaxis* spp. y *Sinapis* spp. en cultivos de trigo, habas y guisantes utilizando imágenes aéreas y técnicas de teledetección para su aplicación en Agricultura de Precisión.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Andalucía en tres campos situados en la provincia de Córdoba: Montalbán (23,7 ha), San Sebastián (4,8 ha) y El Arrecife (3,6 ha), cultivados de guisantes, habas y trigo, respectivamente, en Abril de 2007.

Se tomaron imágenes aéreas en color (azul, B; verde, G; rojo: R) e infrarrojo-color (verde, G; rojo: R; infrarrojo cercano: NIR) el 18 de Abril de 2007, en las localidades estudiadas, con una resolución de 0,40 m. Las imágenes fueron tomadas desde un avión CESSNA 404, obtenidas en formato papel y en formato digital. Las correcciones radiométricas y geométricas fueron realizadas previamente.

En la misma fecha de la toma de las imágenes, se realizaron visitas a cada localidad para georreferenciar puntos de control en campo y datos verdad-terreno para la georreferenciación de las imágenes, y para el análisis y validación de los procesos de clasificación, utilizando GPS diferencial Trimble PRO-XRS.

El estudio se realizó en cuatro bandas B, G, R y NIR y siete índices de vegetación: NDVI, RVI, B/G, R/B, R/G, NIR/B y NIR/G, para poder determinar cuál de ellos permite una mejor discriminación entre cultivo y mala hierba. En cada una de las bandas e índices de vegetación se calculó la media y desviación típica de cada categoría a partir de los niveles digitales de los píxeles de las áreas de entrenamiento asignadas a cada clase. A partir de éstos, y mediante un proceso iterativo en cada banda e índice de vegetación, se obtuvieron los valores digitales frontera (VDF) que mejor definían cada clase dentro de la imagen. Cada método de clasificación fue evaluado por una Matriz de Confusión, cuantificando la coincidencia entre las categorías clasificadas y los datos verdad-terreno a través de los estadísticos de clasificación: fiabilidad global del mapa (OA), porcentaje de píxeles correctamente clasificados; exactitud del usuario

(A), cantidad de píxeles clasificados en cada categoría que coinciden con los datos verdad-terreno; e índice Kappa (K), porcentaje de acuerdo obtenido en la clasificación sin considerar la influencia del azar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se comprobó que los valores digitales medios espectrales y las desviaciones estándar, según bandas e índices de vegetación, para los usos de suelo: cultivo (trigo, habas, guisantes) y crucíferas variaron según las localidades y usos de suelo. Los valores medios espectrales obtenidos para los cultivos también variaron entre ellos y fueron diferentes a los de crucíferas, lo que permitió diferenciar usos.

En la Tabla 1 se recogen los valores de los estadísticos de clasificación obtenidos de la matriz de confusión: exactitud global del mapa (OA) en porcentaje, coeficiente Kappa (K) y la precisión de usuario (A) en porcentaje, para cada una de las localidades estudiadas.

El mejor resultado en la discriminación cultivo-mala hierba se obtuvo con el índice de vegetación R/B en los tres cultivos, alcanzando valores de los estadísticos próximos a sus máximos: OA de 97,61% en trigo, 98,07% en habas y 99,99% en guisantes. Los índices NDVI, RVI y B/G también fueron satisfactorios para la discriminación de las malas hierbas frente a los tres cultivos, obteniendo valores de OA superiores al 88,5%, por encima del 85% indicado por Thomlinson *et al.* (1999) como valor necesario para considerar válida la clasificación.

Los valores medios obtenidos para crucíferas en el índice NDVI fueron menores que los obtenidos para los cultivos, debido a la diferencia en el estado fenológico de cultivos y malas hierbas en el momento de toma de la imagen: cultivo-estado vegetativo-verde y crucifera-floración-amarilla, debido a que el índice NDVI mide el vigor o verdor de la vegetación.

La diferencia de color entre las crucíferas y el cultivo en el momento de la toma de la imagen, permite la excelente discriminación del índice R/B, ya que el color amarillo se produce por reflectancia alta del R y G y baja del B.

Con las mejores clasificaciones de cada localidad se elaboraron los mapas de infestaciones de las crucíferas en los cultivos de trigo, habas y guisantes (Figura 1a) para El Arrecife, Fig.1b) San

Sebastián y Fig.1c) Montalbán, respectivamente, en base a los cuales se pudo estimar la superficie ocupada por las crucíferas para cada una de las bandas e índices de vegetación utilizados, oscilando entre el 25 y el 33% de El Arrecife, el 10,5 y el 44% de San Sebastián y el 10,11 y el 28,2% de Montalbán.

CONCLUSIONES

El análisis de imágenes aéreas con Técnicas de Teledetección permitieron una óptima clasificación de los rodales de crucíferas en los cultivos estudiados y la estimación de las superficies infestadas por las mismas, a partir de los cuales pueden elaborarse mapas de tratamiento localizado de herbicidas. Los mejores resultados en la discriminación cultivo-mala hierba se obtuvieron para los índices de vegetación R/B, NDVI, RVI y B/G en los tres cultivos.

Es necesario continuar estos estudios de discriminación de rodales de crucíferas aprovechando los continuos avances en las técnicas de Teledetección, elaborando una metodología que permita elaborar mapas de tratamientos selectivos a una mayor escala (escala comarcal) mediante aplicación de Teledetección de imágenes de satélite de alta resolución espacial.

BIBLIOGRAFÍA

López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J.M. and García-Torres, L., 2006. Using remote sensing for identification of late-season grass weed patches in wheat. *Weeds Science*, 54: 346-352.

Mas, M. and Verdú, A.M.C. 2003. Tillage system effects on weed communities in a 4-year crop rotation under Mediterranean dryland conditions. *Soil and Tillage*, 74: 15-24.

Miller, P.R., Ángel, R.E. and Holmes, J.A. 2006. Cropping Sequence Effect of Pea and Pea Management on Spring Wheat in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 98: 1610-1619.

Peña-Barragán, J.M., López-Granados F., Jurado-Expósito, M. and García-Torres, L., 2007. Mapping *Ridolfia segetum* patches in sunflower crop using remote sensing. *Weeds Research*, 47: 164-172.

Thomlinson, J.R., Bolstad, P.V. and Cohen W.B. 1999. Coordinating methodologies for scaling landcover classification from site-specific to global: steps toward validating global maps products. *Remote Sensing Environment*, 70: 16-28.

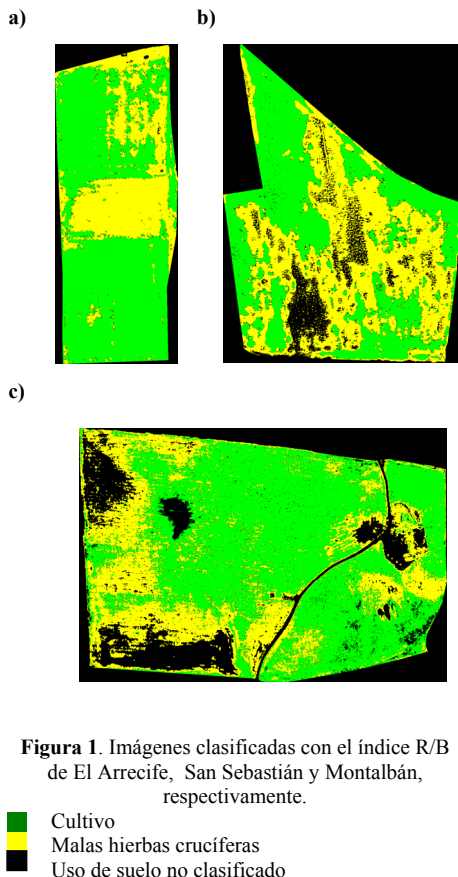


Figura 1. Imágenes clasificadas con el índice R/B de El Arrecife, San Sebastián y Montalbán, respectivamente.

Tabla 1. Valores de los estadísticos de clasificación obtenidos en la matriz de clasificación.

Uso (³)	B IV (²)	Localidades											
		El Arrecife (Trigo)				San Sebastián (Habas)				Montalbán (Guisantes)			
		Estadísticos ⁽¹⁾				Estadísticos ⁽¹⁾				Estadísticos ⁽¹⁾			
		VDF	OA (%)	K	A(%)	VDF	OA (%)	K	A(%)	VDF	OA (%)	K	A(%)
Mh	B	49-54	58,57	0,10	36,78	73-76	74,04	0,08	21,78	82-95	98,39	0,33	62,42
C		55-72			77,02	28-72			87,36	48-81			98,63
Mh	G	93-142	81,01	0,45	77,36	98-129	95,05	0,78	88,56	110-136	99,31	0,77	90,54
C		32-92			81,67	41-97			95,92	70-109			99,43
Mh	R	55-105	86,36	0,64	78,94	71-102	94,41	0,75	86,36	67-97	99,56	0,86	95,16
C		4-54			88,67	22-70			95,48	34-66			99,63
Mh	NIR	200-230,5	73,57	0,10	59,88	216-236	91,53	0,62	73,57	205-230,5	99,50	0,84	94,07
C		133-199			74,21	175-215			93,84	174,5-204			99,58
Mh	NDVI	0,33-0,55	90,02	0,74	81,36	0,38-0,49	93,52	0,69	82,09	0,40-0,50	99,60	0,86	97,12
C		0,56-0,91			93,17	0,50-0,79			94,83	0,51-0,70			99,63
Mh	RVi	2,0-3,40	88,80	0,70	84,11	2,22-2,90	93,74	0,69	83,64	2,35-3,05	99,42	0,82	93,24
C		3,41-15,37			90,25	3,0-8,54			94,83	3,06-5,28			99,59
Mh	B/G	0,58-0,66	88,66	0,73	85,24	0,52-0,69	98,11	0,92	93,94	0,57-0,67	99,49	0,82	91,51
C		0,67-0,83			96,37	0,70-0,88			98,76	0,68-0,80			99,59
Mh	R/B	0,92-1,23	97,61	0,94	95,39	1,02-1,32	98,07	0,92	90,76	0,85-1,12	99,99	0,99	99,76
C		0,42-0,91			98,45	0,66-1,01			99,31	0,68-0,84			100
Mh	R/G	0,63-0,80	88,17	0,69	79,93	0,73-0,76	78,49	0,29	45,00	0,63-0,74	99,66	0,88	97,78
C		0,23-0,62			90,80	0,47-0,72			92,65	0,44-0,62			99,68
Mh	NIR/B	3,50-3,70	55,58	0,07	37,84	3,56-3,60	12,98	0,01	19,25	3,31-3,74	97,82	0,10	15,38
C		2,71-3,40			76,23	3,66-6,71			89,77	2,62-3,30			98,52
Mh	NIR/G	1,72-2,05	79,98	0,50	82,35	1,70-2,14	93,91	0,72	85,63	1,66-1,84	98,99	0,63	82,94
C		2,10-4,78			86,85	2,15-4,39			94,93	1,85-2,51			99,16

⁽¹⁾OA: fiabilidad; K: índice Kappa; A: precisión de usuario. ⁽²⁾Bandas: B= azul, G= verde, R= rojo, NIR= infrarrojo cercano; IV (índices vegetación): NDVI= (NIR – R/ NIR+R); RVi=NIR/R. ⁽³⁾Uso suelo: Mh: mala hierba, C: cultivo.