

## DETECCIÓN DE MALAS HIERBAS EN MAÍZ EN ÉPOCA TEMPRANA MEDIANTE IMÁGENES DE SENSORES TERRESTRES Y MÉTODOS BASADOS EN OBJETOS

J.M. Peña-Barragán<sup>1\*</sup>, A. Ribeiro<sup>2</sup>, D. Andújar<sup>3</sup>, F. López-Granados<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba. \* e-mail: [jmpena@ias.csic.es](mailto:jmpena@ias.csic.es)

<sup>2</sup> Centro de Automática y Robótica, CSIC-UPM, Arganda del Rey (Madrid).

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Madrid.

**Resumen:** Se han evaluado las técnicas de análisis de imagen basadas en objetos en imágenes terrestres tomadas en un campo de maíz infestado de malas hierbas de hoja ancha y de hoja estrecha en época temprana con el objetivo de determinar los parámetros que caracterizan cada clase y proponer un modelo de clasificación usando Árboles de Decisión. El verdor de las hojas permitió discriminar la vegetación del suelo desnudo y las sombras. Seguidamente, la identificación del cultivo y ambos tipos de malas hierbas fue posible mediante la combinación de parámetros morfométricos (densidad), texturales y de localización.

**Palabras clave:** segmentación de imágenes; OBIA; parámetros de objeto; programa eCognition; árbol de decisión.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento localizado de malas hierbas consiste en aplicar el herbicida sólo en las zonas infestadas de la parcela, variando el tipo y la dosis según la especie o grupo de malas hierbas presentes y su densidad. Dicho tratamiento es posible gracias al desarrollo de nuevas tecnologías geo-espaciales como el uso de imágenes geo-referenciadas de la parcela de cultivo, bien procedentes de plataformas aéreas o de satélite (PEÑA-BARRAGÁN *et al.*, 2007) o procedentes de cámaras montadas sobre maquinaria agrícola (BURGOS-ARTIZZU *et al.*, 2011) combinados con equipos de tratamiento de precisión. Estas imágenes permiten la localización e identificación de las infestaciones mediante un proceso de análisis de imágenes que genera un mapa de distribución y densidad de las malas hierbas (LÓPEZ-GRANADOS, 2011). Generalmente, el momento más adecuado para obtener dicha información es cuando se produciría la aplicación del herbicida, que corresponde a los primeros estadios de desarrollo del cultivo y las malas hierbas (tratamiento en post-emergencia). Sin embargo, la discriminación de las plantas presentes en dicho estado es

difícil debido a su pequeño tamaño y a la similitud espectral del cultivo y las malas hierbas. Dichas dificultades se pueden resolver utilizando imágenes de muy elevada resolución espacial ( $\leq 1$  cm) y aplicando métodos de análisis de imagen basados en objetos (object-based image analysis, OBIA) que incorporan, además de la información espectral, parámetros de textura, morfométricos y de posición de cada objeto en los algoritmos de análisis. En este trabajo se presentan los primeros resultados de la evaluación de las técnicas OBIA en imágenes terrestres tomadas en una parcela de maíz infestada de malas hierbas de hoja estrecha y de hoja ancha, siendo el objetivo principal determinar los parámetros más adecuados para la discriminación entre cultivo, tipos de malas hierbas y suelo desnudo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo con imágenes digitales terrestres tomadas en una parcela de maíz localizada en la finca La Poveda (Arganda del Rey, Madrid). En la fecha de captura de las imágenes (21 de mayo de 2008) el maíz se encontraba en estado de desarrollo de 6-8 hojas y las principales malas hierbas fueron *Cyperus rotundus* L., *Datura ferox* L., *Sorghum halepense* (L.) Pers., y *Xanthium strumarium* L. Se utilizó una cámara digital Nikon D70 (Nikon Corporation, Tokio, Japón) equipada con un objetivo AF-S DX de focal 18–70 mm y con 6.1 megapixel de resolución que, orientada perpendicular al terreno a una altura de 1.30 metros, capturó una superficie entre dos líneas de cultivo de  $0.97 \times 0.65$  m<sup>2</sup>. El software eCognition Developer 8 (Trimble GeoSpatial, Munich, Alemania) fue utilizado para la segmentación y clasificación de las imágenes con técnicas basadas en objetos (Figura 1).

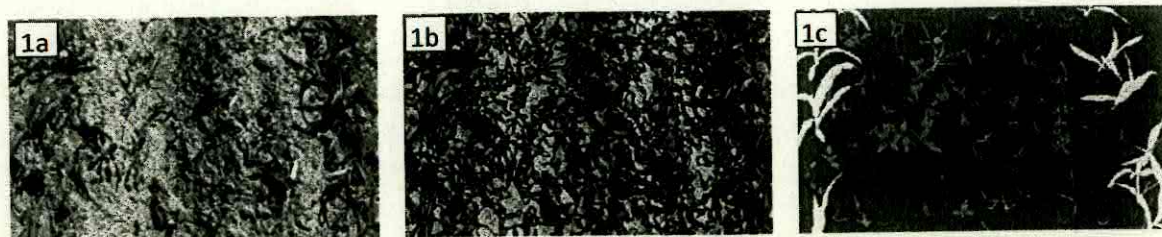


Figura 1. a) Imagen tomada en un campo de maíz en época temprana con malas hierbas de hoja ancha y de hoja estrecha (original en color); b) Segmentación de la imagen en objetos homogéneos según las clases presentes (maíz, malas hierbas, suelo desnudo y sombras); c) Clasificación final usando un modelo en Árbol de Decisión que combina parámetros espectrales, morfométricos, texturales y de posición.

Para el entrenamiento y validación de los modelos de clasificación se digitalizaron las plantas presentes en las imágenes (maíz y malas hierbas gramíneas y dicotiledóneas) y zonas de suelo desnudo y sombra. A partir de las zonas de entrenamiento se generó el modelo de clasificación de las imágenes aplicando técnicas de Árbol de Decisión con el programa JMP 8 (SAS Institute Inc., Cary, EE.UU.). Se consideraron los siguientes parámetros de los objetos: 1) características espectrales o índices de vegetación obtenidos de la distintas combinaciones entre las tres bandas de la imagen (rojo, verde y azul); 2) características texturales basadas en la matriz de co-ocurrencia de HARALICK *et al.* (1973); 3) características morfométricas de los objetos; y 4) posición relativa de los objetos en la imagen o relaciones de vecindad entre objetos. Los modelos se evaluaron mediante validación cruzada con 10 repeticiones. Asimismo, se determinaron los parámetros que caracterizaban cada clase y su importancia en el modelo mediante el estadístico ratio de probabilidad chi-cuadrado ( $\chi^2$ ), que considera el ratio entre las frecuencias observadas y esperadas.

## RESULTADOS

El modelo de Árbol de Decisión seleccionado estuvo formado por una combinación de parámetros espectrales (brillo e índice de verdor entre las bandas verde y rojo), morfométricos (densidad), texturales (homogeneidad y correlación) y de posición (Figura 2).

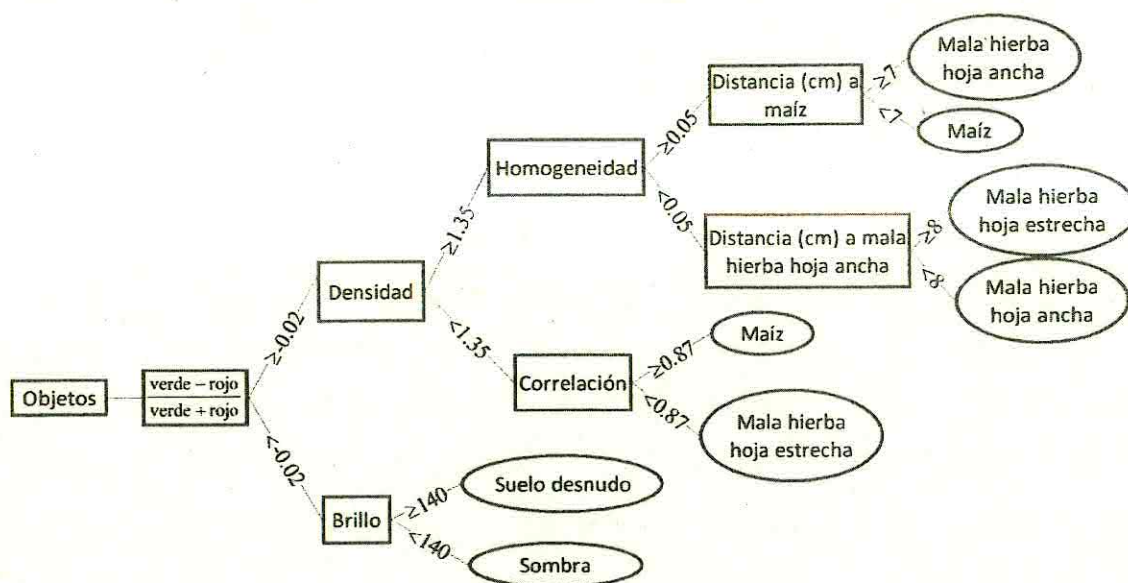


Figura 2. Modelo de Árbol de Decisión generado para la clasificación de las imágenes con técnicas basadas en objetos.

El índice de verdor permitió la discriminación entre vegetación y suelo desnudo y sombras y, posteriormente, con el brillo se aislaron las zonas de sombra. Ambos parámetros espectrales fueron los que más contribuyeron (70%) en el modelo de clasificación (Tabla 1), ya que se aplicaron en todos los objetos de la imagen. Sin embargo, para la discriminación entre plantas de cultivo y de malas hierbas el modelo seleccionó parámetros no espectrales. Las malas hierbas de hoja estrecha, así como algunas hojas de maíz, se caracterizaron por valores morfométricos de densidad bajos. Asimismo, las hojas de maíz se caracterizaron por tener una textura generalmente más homogénea que las hojas de malas hierbas. Por último, el modelo se pudo refinar con el uso de parámetros de distancia o vecindad entre objetos, asignando los objetos con características similares a la clase que se encuentre más cercana.

Parámetro	Tipo	Nº nodos	$\chi^2$ #	% $\chi^2$
Índice verdor	Espectral	1	432	51 %
Brillo	Espectral	1	157	19 %
Homogeneidad	Textural	1	60	7 %
Correlación	Textural	1	43	5 %
Densidad	Morfométrico	1	116	14 %
Distancia a maíz	Posición	1	26	3 %
Distancia a m.h. hoja ancha	Posición	1	11	1 %

#  $\chi^2$ : ratio de probabilidad chi-cuadrado

Tabla 1. Contribución de los parámetros de objeto en el modelo de clasificación de las imágenes.

## CONCLUSIONES

Las técnicas de análisis de imágenes basadas en objetos incorporan nuevos parámetros de objeto que aumentan la capacidad de discriminación de clases con características espectrales similares. Las características espectrales de la vegetación (índice de verdor) permitieron su discriminación del suelo desnudo y las sombras; sin embargo, para la discriminación entre maíz y tipos de malas hierbas fue necesario utilizar parámetros morfométricos, texturales y de posición exclusivos de las técnicas basadas en objetos.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por los proyectos AGL 2008-04670-CO3-02 y CO3-03 del MICINN (FEDER). El trabajo de José M. Peña Barragán está financiado por un contrato JAE-doctores del CSIC. Agradecemos a Xavier P. Burgos-Artizzu, José Dorado y César Fernández-Quintanilla su participación en la toma de imágenes y el muestreo de campo, y a Juan José Caballero Novella su colaboración en el pre-tratamiento de las imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS-ARTIZZU, X.P.; RIBEIRO, A.; GUIJARRO, M.; PAJARES, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronic in Agriculture*, 75, 337-346.
- HARALICK, R.; SHANMUGAN, K.; DINSTEN, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1), 610-621.
- LÓPEZ-GRANADOS, F. (2011). Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Research*, 51, 1-11.
- 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(2), 164-172.

Summary: Early-season detection of weed seedlings in maize crops by using on-ground imagery and object-based image analysis methods. On-ground images taken in a maize field infested with grass and broad-leaved weeds in early season were studied by combining object-based image analysis methods and Decision Tree models. Contribution of every object feature in the classification model was also evaluated. The spectral feature based on leave greenish discriminated between vegetation, bare soil and shadow. Next, discrimination between crop and weed types was possible by combining shape-based (density), textural and position-based features.

Key words: image segmentation; OBIA; object features; eCognition software; decision tree.