

## CARTOGRAFÍA DE MALAS HIERBAS EN CULTIVOS DE MAÍZ MEDIANTE IMÁGENES HIPERESPECTRALES AEROPORTADAS (AHS)

M. P. Martín <sup>(\*)</sup>, L. Barreto <sup>(\*\*)</sup>, D. Riaño <sup>(\*)</sup>, C. Fernández-Quintanilla <sup>(\*\*\*)</sup>, P. Vaughan <sup>(\*)</sup> y A. De Santis <sup>(\*\*\*\*)</sup>.

<sup>(\*)</sup> Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC),  
Albasanz 26-28 28037 (Madrid) mpilar.martin@cchs.csic.es

<sup>(\*\*)</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Colegios, 2 28801, Alcalá de Henares (Madrid)

<sup>(\*\*\*)</sup> Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC),  
Serrano, 115-bis 28006 (Madrid)

<sup>(\*\*\*\*)</sup> Ingeniería y Servicios Aeroespaciales (INSA), Dpto. de Sistemas y Observación de la Tierra, Quintana,  
2, 2<sup>ª</sup> izq., 28008 (Madrid)

### RESUMEN

El presente trabajo aborda la cartografía de las malas hierbas *Sorghum halepense*, *Xanthium strumarium* y *Abutilon theophrasti* en cultivos de maíz mediante técnicas de teledetección hiperespectral. Se ha utilizado una imagen adquirida por el sensor aeroportado AHS (*Airborne Hyperspectral Scanner*) con una resolución espacial en el nadir de 2,5 m y 80 bandas espectrales desde 0,43 hasta 12,5µm. La imagen fue adquirida en mayo de 2007, coincidiendo con el momento óptimo para la aplicación del herbicida, sobre una zona cultivada de maíz en la finca experimental La Poveda situada al SE de la Comunidad de Madrid. Se aplicaron diversas correcciones geométricas y radiométricas, incluida la conversión a reflectividades, que se llevó a cabo mediante un ajuste empírico basado en mediciones espectrales realizadas sobre el terreno simultáneamente a la adquisición de la imagen. La técnica de Análisis de Mezclas Espectrales (ALME) nos permitió obtener un mapa de cobertura de cada una de las malas hierbas analizadas así como información sobre las proporciones de cada cubierta (malas hierbas y maíz/suelo) en cada píxel. La validación realizada para la especie *S. halepense* utilizando como referencia los perímetros de los rodales obtenidos con GPS mostró que sólo un 16,8 % de la superficie ocupada por esta especie no fue discriminada a partir de la imagen.

### ABSTRACT

Hyperspectral remote sensing techniques were used to map weeds found in corn crops, namely *Sorghum halepense*, *Xanthium strumarium* and *Abutilon theophrasti*. The image used was acquired by the AHS (*Airborne Hyperspectral Scanner*) at a 2.5m ground resolution and a total of 80 spectral bands ranging from 0.43 to 12.5 microns. The study area was a group of corn fields in La Poveda experimental farm, which is located in the SE of the Community of Madrid. The image was acquired in May 2007, which coincides with the optimum period for using herbicides. Several geometric and radiometric corrections were applied on the image, including a radiance to reflectance conversion, which was carried out using an empirical adjustment based on field spectroscopy data measured at the time of the flight pass. Spectral Mixture Analysis (SMA) was used to obtain weed maps of each of the species analysed as well as the fraction cover (weeds versus corn/soil) per pixel. Using a GPS to mark the clump perimeters, the validation performed on *S. halepense* showed that only 16.8% of the area covered by this weed could not be discriminated in the AHS image.

**Palabras clave:** agricultura de precisión, malas hierbas, maíz, cartografía, hiperespectral, ALME.

### INTRODUCCIÓN

Hasta hace muy poco tiempo, la utilización de la teledetección en agricultura se había centrado en el inventario y estimación de cosechas, debido a que las características de los sensores disponibles –especialmente en lo que se refiere a resolución espacial y espectral- limitaban su aplicación a estudios sobre áreas extensas donde el nivel de detalle de la información obtenida era escaso y las anchas bandas espectrales no permitían cartografiar a nivel de especies, sino sólo distinguir entre tipos de cobertura. Sin embargo, la puesta en

órbita de nuevos sensores de muy alta resolución espacial (inferior al metro) y espectral (sensores hiperespectrales) ha ampliado notablemente el rango de aplicaciones en el ámbito de la agricultura, y más concretamente, en el de la agricultura de precisión (Thenkabail et al. 2004).

Ikonos, Quickbird y, más recientemente, GeoEye 1, son algunos de estos nuevos sensores de muy alta resolución espacial, con tamaños de píxel que oscilan entre 0,41 y 4 metros. Estos sensores presentan una adecuada frecuencia temporal, pues permiten la adquisición de imágenes sobre una

misma zona cada 1 a 3,5 días; y espectral pues ofrecen información en las regiones más significativas del espectro electromagnético: azul, verde, rojo e infrarrojo cercano.

A estos nuevos sensores, con una resolución espacial y temporal mejorada, hay que añadir la creciente disponibilidad de sensores de alta resolución espectral. Cada vez más frecuente es la adquisición de imágenes hiperespectrales a partir de sensores aeroportados como AHS, AVIRIS, Hymap, CASI, etc. Este tipo de sensores ofrecen información en una mayor cantidad de bandas y más estrechas que las de los sensores multiespectrales, con lo que empleando técnicas como índices espectrales, fracción de mínimo ruido o eliminación del continuo, es posible discriminar las cubiertas de una manera más precisa. En este trabajo se explorará la capacidad de estos nuevos sensores hiperespectrales para la detección y cartografía de rodales de malas hierbas en maíz utilizando datos procedentes del sensor hiperespectral aeroportado AHS (*Airborne Hyperspectral Scanner*).

## METODOLOGÍA

### Adquisición y pre-procesamiento de la imagen

En el presente trabajo se ha utilizado una imagen adquirida por el sensor AHS. Se trata de un sensor de barrido mecánico (*whiskbroom scanner*) que actualmente está disponible para vuelos programados en el Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) y que opera desde la aeronave CASA C-212-200. La imagen fue adquirida sobre una zona cultivada de maíz en la finca experimental La Poveda situada al SE de la Comunidad de Madrid. Este instrumento registra la radiación procedente de la superficie del suelo en 80 bandas espectrales desde 0,43 hasta 12,5  $\mu\text{m}$  con 5 puertos ópticos que cubren las regiones espectrales VIS/NIR, SWIR, MIR y TIR. La resolución espacial depende de la altura de vuelo siendo la máxima resolución posible de 2,5 m/píxel de GIFOV (*Ground IFOV*, o proyección sobre el terreno del campo de visión instantáneo) y 2,1 m de GSD (*Ground Sampling Distance*, o distancia entre centros de píxel).

El vuelo fue realizado el 18 de mayo de 2007, por ser la fecha que presentó mejores condiciones atmosféricas (menor nubosidad) de las 3 inicialmente programadas para la adquisición. Tras el proceso de corrección geométrica y radiométrica, la imagen fue depurada con objeto de eliminar aquellas bandas que presentaban un alto

nivel de ruido debido a problemas atmosféricos o derivados del propio sensor. Para ello se generaron gráficos espectrales sobre distintas cubiertas de referencia (vegetación, agua, suelo) y se identificaron las bandas que presentaban comportamientos anómalos. Se eliminaron un total de 8 bandas, todas ellas del puerto 2 (SWIR), con lo que el número total de bandas finalmente utilizadas en el trabajo fue de 48 incluyendo información de las regiones espectrales del Visible, IRC y SWIR.

### Análisis Lineal de Mezclas Espectrales

Una vez corregida y depurada la imagen se abordó el proceso de clasificación digital de la misma con el propósito de obtener una cartografía, lo más precisa posible, de las tres especies de malas hierbas detectadas en el campo de maíz seleccionado para el estudio: *Sorghum halepense*, *Xanthium strumarium* y *Abutilon theophrasti*.

Existen un gran número de técnicas para la clasificación digital de imágenes, algunas diseñadas de forma específica para datos hiperespectrales como el *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Spectral Information Divergence* (SID), *Binary Encoding*, etc. En nuestro caso decidimos aplicar la técnica conocida como Análisis Lineal de Mezclas Espectrales (ALME). Se trata de una técnica utilizada tanto en imágenes multi como hiperespectrales, que permite calcular, en un píxel mezcla, la proporción ocupada por cada una de las cubiertas que lo integran en función de sus valores espectrales característicos. Al contrario de lo que ocurre con los clasificadores rígidos más comúnmente utilizados en teledetección, que generan una sola imagen donde cada píxel tiene un código que lo identifica como perteneciente a una determinada categoría, el ALME ofrece tantas imágenes como cubiertas pretendamos discriminar. En ellas cada píxel tiene asignado un valor que representa el porcentaje de superficie ocupado por la cubierta en cuestión.

La elección de este método de clasificación se basó en el interés de contar con información lo más precisa posible desde el punto de vista espacial en la delimitación de las cubiertas (malas hierbas). A pesar de la alta resolución espacial de la imagen AHS disponible para el estudio (2,5 m remuestreada a 2m) consideramos que un método como el ALME podría proporcionarnos una estimación más precisa de cara a delimitar los rodales más pequeños. Por otra parte, dado que este método permite asignar varias etiquetas a cada píxel, discriminando los elementos

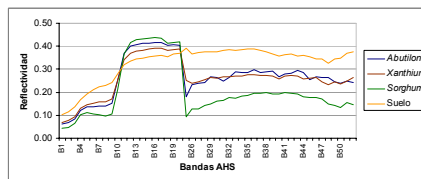
que lo integran en función de sus características espectrales y de la proporción que ocupan, podríamos obtener información sobre las mezclas de cubiertas (malas hierbas y maíz/suelo) presentes en la imagen a resolución sub-píxel.

Un problema básico a la hora de aplicar el ALME para identificar correctamente las cubiertas de interés incluidas en un píxel mezcla y realizar una estimación exacta de la proporción que ocupa cada una de ellas, es obtener signaturas espectrales representativas y exhaustivas, es decir, valores espectrales característicos de los miembros puros que integran la imagen. Estos miembros puros son de gran importancia en el ALME, pues de su correcta definición depende, en gran medida, la capacidad del modelo para definir con precisión las proporciones en el interior del píxel mezcla. Existen varios métodos para definir los miembros puros de la imagen: utilizar medidas espectrales de laboratorio o realizadas sobre el terreno (Gong et al., 1994); recurrir a información auxiliar (mapas o imágenes de mayor resolución espacial) para localizar en la imagen un píxel puro (Hlavka y Spanner, 1995); o extraer la información de la propia imagen mediante técnicas de selección automáticas o semi-automáticas (Plaza et al., 2004). En nuestro caso optamos por este último método tras descartar el uso de medidas espectrales tomadas en terreno sobre las cubiertas de interés ya que el ruido inherente a la propia imagen, relacionado fundamentalmente con las condiciones de adquisición (efectos atmosféricos y de iluminación), provocó algunas variaciones entre la respuesta medida en terreno y la señal captada por el sensor, causando una deficiente caracterización de los miembros puros.

Los miembros puros o *endmembers* de nuestro estudio fueron extraídos de la propia imagen, utilizando el método del *Pixel Purity Index* implementado en el software ENVI 4.5 (*ITT Visual Information Solutions*, EEUU, [www.itvis.com](http://www.itvis.com)). El PPI se calcula a partir de sucesivas representaciones de los píxeles de la imagen en diagramas de dispersión n-dimensionales (siendo n el número de bandas). El método se basa en la suposición de que los píxeles más extremos de la nube de puntos son los mejores candidatos para ser utilizados como *endmembers* y la selección de estos píxeles se basa en el número de veces que han aparecido representados como extremos en el proceso.

Se definieron un total de 4 *endmembers* correspondientes a las 3 especies de malas hierbas y el suelo. No se tomó en consideración el espectro

del maíz dado que en el momento de adquisición de la imagen se encontraba en su estado inicial de crecimiento y su contribución a la respuesta espectral del suelo era mínima. La definición de los *endmembers* se realizó tras aplicar el PPI con 10.000 iteraciones y un umbral de 0,1 para la selección de píxeles extremos. Para simplificar la búsqueda de los píxeles puros se limitó la aplicación del PPI a 4 ventanas de la imagen (1 para cada *endmember*) en las que previamente se había identificado sobre el terreno la presencia de las distintas cubiertas a clasificar. Con el umbral elegido el PPI identificó 9 píxeles puros para *Sorghum*, 3 para *Xanthium*, 1 para *Abutilon* y 14 para el suelo. El promedio de los píxeles identificados para cada categoría fue finalmente utilizado como el espectro puro de la misma en la clasificación realizada con ALME (Figura 1).



**Figura 1.** Espectros de referencia de los *endmembers* utilizados en el ALME y extraídos de la imagen mediante el método PPI.

Una vez definidos los *endmembers* se procedió al cálculo del ALME. Se aplicaron las restricciones de proporciones para no obtener valores negativos y que la suma de proporciones en un píxel fuera siempre igual a 1.

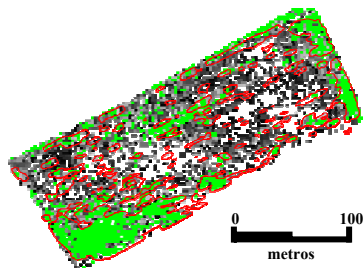
#### Validación de resultados

Los resultados de la clasificación sólo pudieron ser validados para *Sorghum* por ser la única especie de mala hierba para la que se contó con datos de terreno. Se utilizaron como referencia los perímetros de los rodales obtenidos con GPS realizándose una superposición espacial (tabulación cruzada) que permitió determinar la superficie de *Sorghum* correctamente discriminada a partir de la imagen, así como la calidad de la discriminación en función del tamaño de los rodales.

Para realizar la tabulación cruzada con los perímetros GPS se procedió a binarizar el mapa de proporciones de *Sorghum* obtenido a partir del ALME. Se crearon varios mapas segmentando la imagen en distintos valores de proporción (en rangos de 10% desde 0 a 100%) y se determinó el umbral de proporción que mejor se ajustaba a los datos de terreno.

## RESULTADOS

En la figura 2 vemos el mapa de proporciones del *Sorghum* resultante del ALME. Se han coloreado en verde los píxeles que presentan proporciones superiores al 30 %. Como se puede apreciar, visualmente esta segmentación de mapa de proporciones se ajusta muy bien al mapa de rodales obtenido en terreno con GPS (líneas rojas en la figura 2).



**Figura 2.** Píxeles con proporciones de *Sorghum* > 30 % (en verde). En rojo los perímetros de *Sorghum* delimitados en terreno con GPS.

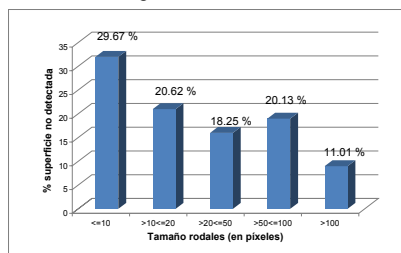
Los rodales más grandes y densos en el SW y NE de la parcela aparecen correctamente delimitados como también otros rodales de menor tamaño en el centro y sur de la misma. Sólo en los rodales más pequeños se observan algunos errores de omisión que probablemente se subsanarían al disminuir el umbral de proporción establecido para esta representación.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos para la validación por tamaño de los rodales en el caso del *Sorghum*. Como se puede apreciar, la superficie cartografiada con la imagen es muy acertada para los rodales más grandes mientras que el ajuste disminuye para los rodales más pequeños. En cualquier caso sólo un 16,8 % de la superficie ocupada por *Sorghum* no fue discriminada a partir de la imagen lo que demuestra el potencial de la metodología empleada para la cartografía de malas hierbas en cultivos de maíz.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran el potencial de la teledetección hiperespectral para generar información espacialmente referenciada que permita la aplicación de los herbicidas en las zonas específicas donde éstas se encuentran y con las dosis requeridas. La técnica del ALME ha permitido cartografiar los rodales de malas hierbas presentes

en la imagen demostrado ser de gran utilidad al proporcionar información adicional sobre el porcentaje de cobertura de cada especie dentro del píxel. No obstante, el elevado coste de las imágenes limita la utilización operativa del método propuesto que está condicionada por la necesidad de obtener un balance coste-beneficio adecuado a las características de la producción.



**Figura 3.** Porcentaje de superficie no detectada según tamaño del rodal en la imagen resultante del ALME para la mala hierba *Sorghum*

## BIBLIOGRAFÍA

- Gong, P., Miller, J.R. y Spanner, M. 1994. Forest canopy closure from classification and spectral unmixing of scene components. *Multisensor evaluation of an open canopy. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, nº 32: 1067-1079.
- Hlavka, C.A. y Spanner, M.A. 1995. Unmixing AVHRR imagery to assess clearcuts and forest regrowth in Oregon. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, nº 33: 788-795.
- Plaza, A., Martínez, P., Plaza, J., Pérez, R.M, Aguilar, P.L. y Cantero, M.C. 2004. Algoritmos de extracción de endmembers en imágenes hiperespectrales. *Revista de Teledetección*, nº 21: 101-105
- Thenkabail, P. S., Enclona, E. A., Ashton, M. S. y van der Meer, B. 2004. Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications. *Remote Sensing of Environment*, nº 91: 354-376.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto "Ecología espacio-temporal y teledetección de malas hierbas en cultivos de maíz" AGL2005-06180-C03-01 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.