

# Interacción de la radiación electromagnética

*Segregación espectral y espacial de cultivos frente a malas hierbas, todos ellos pertenecientes al género Brassica*

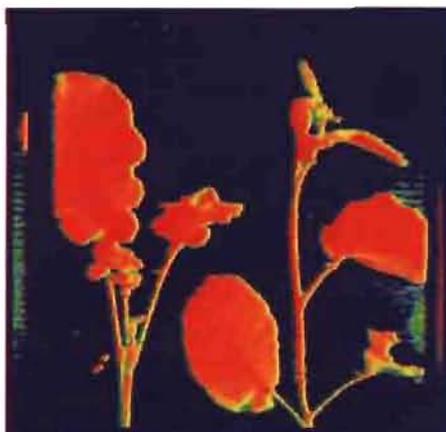
BARREIRO, P.<sup>1</sup>; ROSS, D.<sup>2</sup>; KENNEDY, D.<sup>2</sup>; GLASBEY, C.<sup>3</sup>; RUIZ-ALTISENT, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rural Engineering Dept. ETSIA-UPM.

e-mail : labpropfis@iru.etsia.upm.es

<sup>2</sup> Scottish Agricultural Center

<sup>3</sup> Bio-mathematics and Statistics Scotland



La interacción de la radiación electromagnética, denominada «luz» si abarca el rango visible por el ojo humano (400-700nm), da lugar a un espectro específico para cada objeto animado o inanimado. En el ámbito agrario, la reflectancia espectral de los productos agrícolas tanto en el rango visible como en el infrarrojo ha sido ampliamente estudiada (algunos ejemplos se encuentran recogidos en las re-

**En los casos en que los cultivos y las malas hierbas son muy próximos filogenéticamente, el número de herbicidas de posible aplicación se reduce drásticamente. Este es el caso del género Brassica**

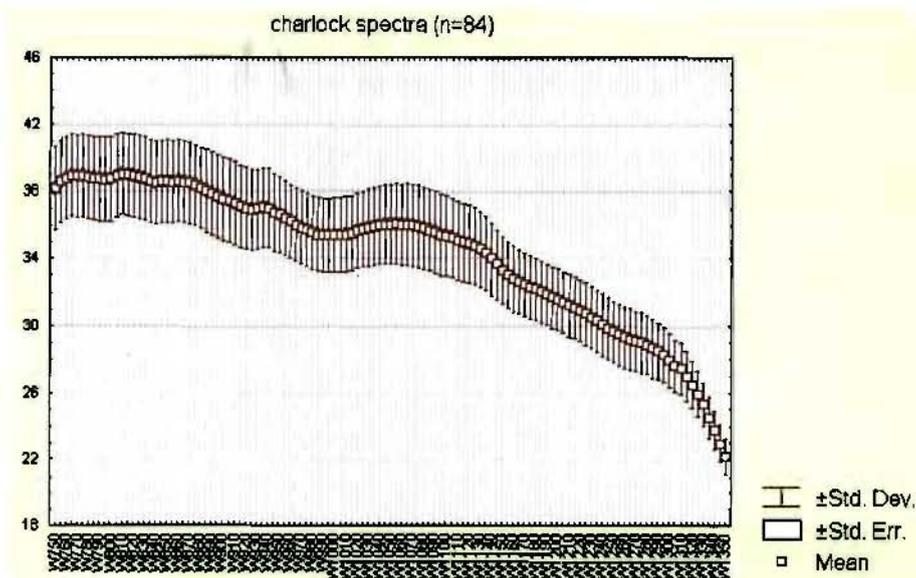
ferencias 1, 2, 3, 4, 9, 10 & 11 de la bibliografía).

Una de las aplicaciones posibles derivadas de la respuesta espectral específica de los cultivos es la identificación selectiva de malas hierbas (referencia nº 9), que tiene hoy gran interés debido a la creciente concienciación sobre la protección del medio ambiente. La identificación selectiva de malas hierbas permite reducir la superficie y la cantidad de productos fitosanitarios aplicados. En los casos en que los cultivos y las malas hierbas son muy próximos filogenéticamente, el número de herbicidas de posible aplicación se reduce drásticamente. Este es el caso de los cultivos pertenecientes al género Brassica (col, brócoli, colza...). En ellos, la identificación selectiva de malas hierbas cobra una relevancia mayor, ya que existen malas hierbas del mismo género que se encuentran muy extendidas, p.ej. la

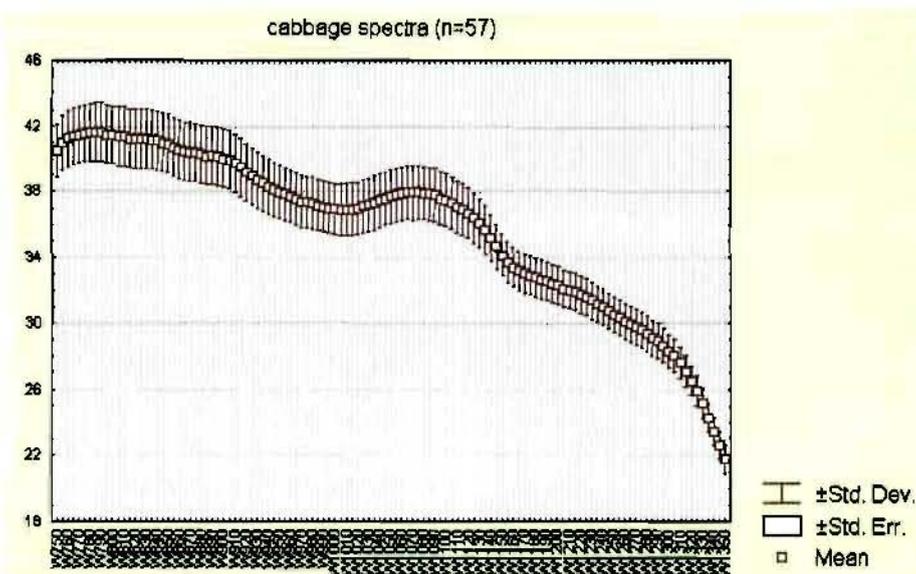
Las dos imágenes superiores son: cociente 1200/840 con un valor máximo de visualización de 20 (izquierda) y 2.5 (derecha). La diferenciación entre col (izquierda de cada imagen) y mostaza silvestre («charlock») (derecha) es posible.

Las dos imágenes inferiores: cociente 1200/840 con un valor máximo de visualización de 20 (izquierda) y 2.5 (derecha). La diferenciación entre brócoli (izquierda de cada imagen) y colza (derecha) no es posible, hay que recurrir a algoritmos morfológicos

**Figura 1:**  
**Espectro de mostaza silvestre**



**Figura 2:**  
**Espectro de col**



mostaza silvestre (género *Sinapis*, en inglés «charlock»).

Estudios previos realizados por los equipos de investigación escoceses (referencias 4, 5, 6 & 7) han mostrado que la combinación de dos longitudes de onda (1200nm y 840 nm) permite diferenciar con un 100% de fiabilidad entre hojas de col y de la mostaza silvestre («charlock»), basada en la diferenciación en la última hoja totalmente formada para el estado fenológico denominado de «4-6 hojas». Sin em-

bargo, era necesario comprobar si este poder de segregación se mantiene sin tener en cuenta la hoja muestreada (posición en la planta).

En el presente estudio se han empleado plantas de cuatro especies del género *Brassica*: col, brócoli, colza y mostaza silvestre («charlock»), todas ellas cultivadas durante un periodo de 4 semanas alcanzándose en la mayoría de los casos un estado fenológico denominado de «4 hojas». De las cuatro especies estudiadas, la col y el brócoli

son cultivos, mostaza silvestre («charlock») es una mala hierba y la colza puede considerarse tanto cultivo como mala hierba ya que tiende a reaparecer en los años posteriores a su cultivo. Los resultados de este estudio (basado en 300 espectros) muestran, a través de un análisis de varianza (ver cuadro 1), que tanto el efecto de la especie como de la hoja (posición en la planta) son significativos sobre los valores del cociente de longitudes de onda 1200/840nm aunque el efecto de la especie duplica al de la posición de la hoja muestreada ( $F=51.66$  y  $21.75$  para especie y hoja respectivamente); el efecto de la posición dentro de la hoja (base o extremo) no resultó significativo. El valor del cociente de reflectancias para 1200/840 nm demuestra un valor ascendente: col, colza, brócoli y mostaza silvestre («charlock»). El empleo de dicho cociente permite diferenciar entre col y mostaza silvestre («charlock») con una fiabilidad del 93.2% (280 espectros correctamente clasificados) aunque este porcentaje disminuye hasta el 58% (174 espectros correctamente clasificados) cuando se

**Se han empleado plantas de cuatro especies del género *Brassica*: col, brócoli, colza y mostaza silvestre («charlock»), todas ellas cultivadas durante un periodo de 4 semanas alcanzándose en la mayoría de los casos un estado fenológico denominado de «4 hojas»**

intenta diferenciar simultáneamente las cuatro especies; el procedimiento numérico empleado en la diferenciación es el análisis discriminante.

Para el reconocimiento espacial de plantas y malas hierbas, en este trabajo se ha desarrollado un sistema de visión que combina dos cámaras de vídeo, cada una de ellas sensibles al rango visible (400-700nm + una ligera zona en el infrarrojo hasta 900nm) y al infrarrojo cercano (800-1300nm) respectivamente. A dichas cámaras se les han añadido sendos filtros (1200nm y 840nm) con el fin de obtener la distribución espacial de las

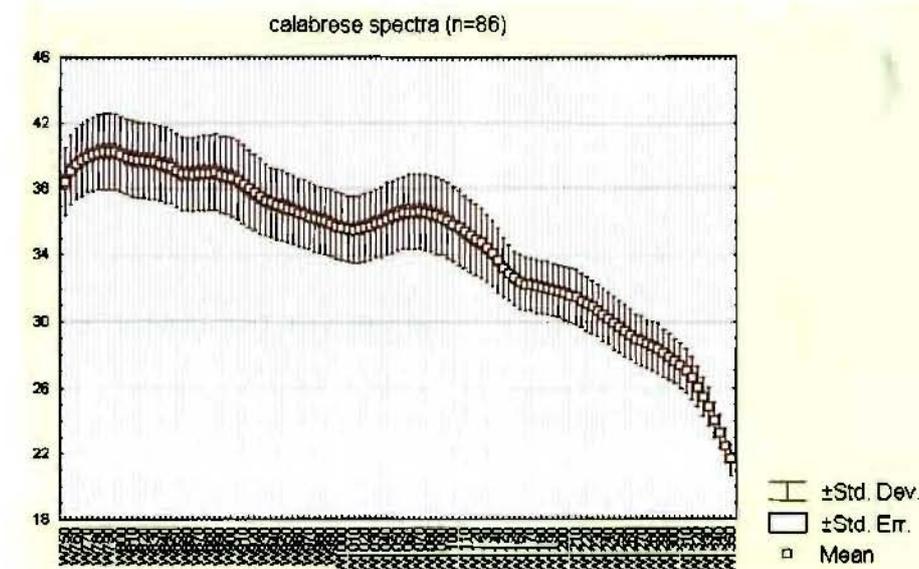
reflectancias a dichas longitudes de onda. Con este sistema de visión se han tomado imágenes de plantas de las cuatro especies anteriormente mencionadas: col, brócoli, colza y mostaza silvestre («charlock»).

Para poder establecer la imagen resultante del cociente entre 1200nm y 840nm, las imágenes son digitalizadas en tiempo real durante su adquisición convirtiéndolas en sendas matrices. Dichas matrices, correspondientes a las imágenes de 1200nm y 840nm, contienen 512 filas \* 512 columnas. El conjunto de valores posibles para los elementos de ambas matrices está constituido por 256 números enteros (0-255; digitalización de 1 byte). Una vez que las imágenes han sido convertidas en matrices de números, la obtención de una imagen cociente consiste en dividir aritméticamente las matrices elemento a elemento (motivo por el cual las cámaras deben estar perfectamente alineadas). Para poder visualizar el resultado del cociente entre dos imágenes (en nuestro caso 1200/840nm) es necesario convertir la nueva matriz a un formato reconocible

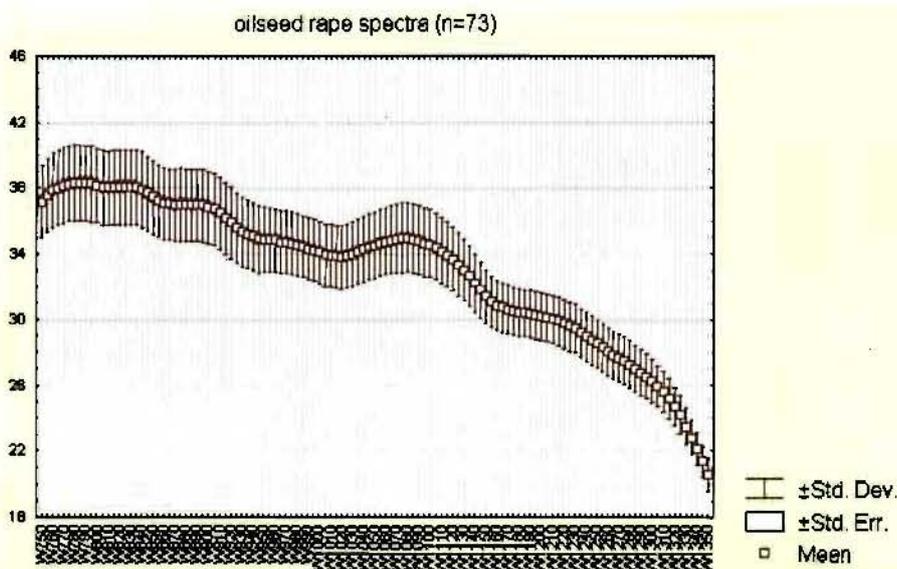
**La variación de los valores mínimo y máximo de visualización sobre la imagen cociente permite diferenciar claramente la especie mostaza silvestre («charlock») del resto**

(por ejemplo a una imagen visible en una pantalla de ordenador).

Los elementos de la matriz que son números reales positivos (pueden tener un número infinito de decimales) han de ser convertidos a números enteros con un rango máximo entre 0 y 255. Este procedimiento consiste en una simple regla de tres en la que el valor mínimo de todos los elementos de la matriz que se desea visualizar se asimila a 0, y el valor máximo a 255. La visualización puede efectuarse aportando valores de visualización fijados por el usuario para el mínimo, para el máximo, o para ambos, con lo que la imagen visualizada cambia ostensiblemente (ver figuras 1 y 2; en ellas el color rojo refiere a valores



**Figura 3:**  
**Espectro de brócoli**



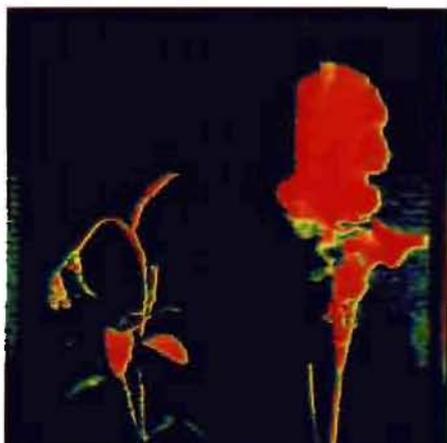
**Figura 4:**  
**Espectro de colza**

próximos a 0 y el color azul a valores próximos a 255); la información total permanece aunque no se vea, se trata de una sensación visual. Este procedimiento se denomina «segmentación» y permite aislar los detalles más deseables de un objeto.

En el caso que nos ocupa, el empleo de una imagen resultado del cociente de las imágenes obtenidas por las cámaras vidicon (1200nm) y sili-con (840nm) ha permitido extraer las siguientes conclusiones:

- el empleo del cociente 1200/840nm actúa como filtro detector de las plantas ya que la imagen cociente es más nítida que las imágenes originales,

- la variación de los valores mínimo y máximo de visualización sobre la imagen cociente permite diferenciar claramente la especie mostaza silvestre («charlock») del resto, confirmando los resultados del ensayo espectral (ver Figura 1). Confirmada la viabilidad, es necesario desarrollar un proce-



Segregación combinada espectral y espacial en la comparación mostaza-brócoli con un umbral de 20 (superior). A la derecha, el mismo caso pero con un umbral de 2.5

### Cuadro 1:

**Resultados del análisis de varianza efectuado para comprobar el efecto de la especie, de la hoja (posición en la planta), y de la posición en la hoja (base/extremo)**

Cociente 1200/840 nm	Especie	Hoja	Posición	Grados de libertad
valor de F	51.66(**)	21.75(**)	NS	248

\*\*implica 1% nivel de significación y NS no significativo



Imágenes correspondientes a la foto de todas las hojas de una planta, desde la más inferior (extremo derecho de la imagen) a la más superior (extremo izquierdo). A la izquierda, el caso de la mostaza; a la derecha, brócoli

**Para diferenciar la colza de la col o el brócoli es necesario emplear algoritmos morfológicos, ya que no existe diferenciación espectral entre ambas especies**

so de identificación automático sobre la imagen segmentada.

- para la diferenciación de la colza respecto a la col o el brócoli es necesario emplear algoritmos morfológicos ya que no existe diferenciación espectral, es decir, no pueden diferenciarse ambas especies simplemente cambiando los valores mínimo y máximo de visualización (Figura 2).

## BIBLIOGRAFIA

- Ayuso, M.C., F.J. Bravo, M. Ruiz-Altisent. 1996. Uso de reflectancia óptica y análisis de imagen para la predicción de la estabilidad del color y mezclas de pimentones con diferentes tipos de secado. V. Jornadas del Grupo de Horticultura de la Soc. Española de Ciencias Hortícolas, Logroño, Abril 1996.
- García F., García E., Jarén C. y M. Ruiz-Altisent M. 1992. Determinación espectrofotométrica de la evolución del color de frutos durante la maduración post-recolección. Actas de la 24. CIMA págs. 523-531, Zaragoza. 1-4 Abril.
- García Pardo E., P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent. 1996. Automatic colour classifier for tobacco leaves. Paper nº 96-F-027 AgEng'96 Conference on Agricultural Engineering, Madrid, 23-26 Sept. 1996.
- Hahn FA, AY Muir. 1993. Discriminant Analysis of brassicas and weeds. Departmental note 59. (ISBN 1 85482 372 8 9) Scottish Centre of Agricultural Engineering
- Hahn FA, AY Muir. 1993. Discrimination of weeds in cabbage leek, potato and turnip crops. Departmental note 62. (ISBN 1 85482 375 2) Scottish Centre of Agricultural Engineering
- Hahn FA, AY Muir. 1993. Effect of broccoli leaf nitrogen concentration on crop/weed/soil discrimination. Departmental note 64. (ISBN 1 85482 377 9 9) Scottish Centre of Agricultural Engineering
- Muir AY, Ross DW, Kennedy D. 1996. Spectral recognition of brassica crops and weeds. Crop Science Research Report. Scottish Agricultural Centre. Ref. Nº 12/96/200
- Menges RM, Nixon PR, Richardson AJ. 1985. Light reflectance and remote sensing of weeds in agronomic and horticultural crops. Weed Science 33 :569-581
- Ruiz, M. y P. Chen. 1982. Use of first derivatives of light reflectance curves to detect mold in tomatoes. Transactions of the ASAE 25(3):759-762.
- Ruiz Altisent, M. 1984. Propiedades ópticas de los productos agrícolas. Floricultura y Horticultura:12-16.
- Zwiggelaar R., Yang Q., García-Pardo E., Bull, C.R. 1996. Use of spectral information and machine vision for bruise detection on peaches and apricots. Journal Agricultural Engineering Research (1996) 63:323-332.