

# Procesamiento automático de fotografías digitales para la obtención de las necesidades de riego de un cultivo hortícola

(Recibido: 10/04/2015; Aceptado: 28/05/2015)

J.M. González-Esquivá<sup>(1)</sup>, D. Escarabajal-Henarejos<sup>(1)</sup>, J.L. Hernández-Hernández<sup>(2)</sup>, G. García-Mateos<sup>(3)</sup>, A. Ruiz-Canales<sup>(4)</sup> y J.M. Molina<sup>(1)</sup>

(1)Grupo I+D+i Ingeniería Agromótica y del Mar. DIAEA. Área de Ingeniería Agroforestal. ETSIA Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)  
E-mail: jgonzalez1690@gmail.com

(2)Unidad Académica de Ingeniería. Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, Chilpancingo, Guerrero, México.

(3)Departamento de Informática y Sistemas. Facultad de Informática. Universidad de Murcia, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Murcia.

(4) Agua y Energía para una Agricultura Sostenible. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche. Ctra. de Beniel, km 3.2, 03312 Orihuela (Alicante)

**Resumen.** Por medio de la presente investigación se ha realizado un sistema novedoso que obtiene de forma desatendida y automática la cobertura vegetal de una forma sencilla a partir de una fotografía digital. Esto permite calcular las necesidades hídricas del cultivo por medio de una expresión matemática. Se quiere determinar la viabilidad del sistema, estimando el error en el coeficiente de cultivo de una plantación de lechuga (*Lactuca sativa L. cv. 'Hierro'*). La aplicación está realizada en PHP con la librería *IMagick*, lo que facilita su instalación en un servicio *Cloud Computing*.

**Palabras clave.** *Cloud Computing*, *PHP*, segmentación.

**Abstract.** With this researching work a novelty system for obtaining the crop cover with easy, unattended and automated procedures from a digital photography has been developed. Moreover the crop water needs are calculated from this photography combined with a mathematical algorithm. The viability of the systems has to be determined estimating the error in the crop coefficient in a lettuce (*Lactuca sativa L. cv. 'Hierro'*) orchard. The application is developed in PHP with the *IMagick* library. This allows installing in a 'cloud computing' service.

**Keywords.** *Cloud Computing*, *PHP*, segmentation.

## 1. Introducción

La estimación de los requerimientos hídricos en los cultivos es la etapa principal en el diseño de un sistema de riego, siendo cada vez más precisa con el avance de la tecnología. Entre estos métodos se encuentran los basados en la determinación de las necesidades de riego mediante el empleo de la fracción de cobertura vegetal ( $F_c$ ), determinándose este parámetro a partir del análisis digital de fotografías mediante técnicas que realizan la segmentación entre cultivo y terreno [1].

En la actualidad la estimación de la cobertura vegetal se realiza de forma manual con un software de edición fotográfica por medio de personal cualificado, obteniendo un resultado muy preciso [2] tabulándose estos datos para obtener la evapotranspiración del cultivo.

El objetivo del presente trabajo es el estudio de un sistema que, aunque con una precisión menor, no requiera de la intervención humana para la obtención de la fracción de cobertura vegetal por medio de la técnica Fuzzy C-Means (FCM) (Bezdek, 1973) considerando los buenos resultados obtenidos en otras aplicaciones previas.

## 2. Materiales y métodos

Un *script* con el algoritmo de la técnica FCM[4] se ha instalado en un PC AMD Quad Core Processor (2 Ghz) con servidor Apache, PHP y la librería *Imagick* (Studio, 2008). El principio de funcionamiento básico de este algoritmo es agrupar o separar los datos proporcionados en grupos llamados *clústeres*, para formar a continuación elementos estructurantes a los cuales se le aplicarán algoritmos de morfología matemática de erosión y dilatación.

El proceso completo se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

- Aplicación de un filtro para la reducción de ruido en la imagen.
- Corrección de la imagen, aplicando una transformación para corregir la distorsión por ángulo de visión o lente.
- Escalado de imagen a una resolución de 150x150 píxeles.
- Transformación de colores a un espacio de colores RGB 256. (Fig. 1a).

- Construcción de un histograma, uno para cada componente de color de la imagen.
- Para cada histograma, aplicación sucesiva del filtro de espacio-escala y construcción de un árbol de intervalos de cruces por cero en la segunda derivada en cada escala. Análisis del espacio-escala para determinar qué picos o valles del histograma son más predominantes, de esta forma se determinarán los intervalos principales.
- Cálculo de las clases con intervalos en cada componente de color, asignando los píxeles a cada clase única si se encuentra dentro de los intervalos estipulados, etiquetándose como “clasificado” en el caso afirmativo, asignándole un número de clase única.
- Finalmente aquellos grupos de píxeles de un tamaño mayor a un parámetro predefinido que no han podido ser clasificados por el proceso anterior, serán asignados a una clase por medio de la técnica FCM. El objetivo es encontrar patrones o grupos en un determinado conjunto de datos, que permitan asociar los píxeles no clasificados con la clase más afín (Fig. 1b).
- Conversión a formato bicolor, determinándose los elementos estructurantes principales que incluyen los grupos que estén relacionados con el cultivo y los que están relacionados con el color de fondo correspondiente a la tierra.
- A partir de los elementos estructurantes principales, se eliminan por erosión aquellos grupos de píxeles que estén fuera de los objetos y se incluyen por dilatación aquellos píxeles que se encuentren en el interior de los objetos [7] (Fig. 1c).

En cuatro subparcelas, convenientemente delimitadas, de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. ‘Hierro’) se realizó un estudio para la obtención de la fracción de cobertura vegetal (Escarabajal-Henarejos *et al.*, 2013), llevándose a cabo un seguimiento del desarrollo de la cobertura del cultivo mediante fotografías digitales, realizándose una serie de 29 fotos para cada subparcela. Las imágenes fueron procesadas empleando el software ENVI versión 4.0 (Entorno para Visualización de imágenes), desarrollado por Research Inc. (Boulder, CO, USA), para obtener imágenes. La fracción de cobertura vegetal fue obtenida segmentando cada fotografía en una imagen bicolor, y calculada como la relación entre los píxeles de vegetación y los píxeles totales.

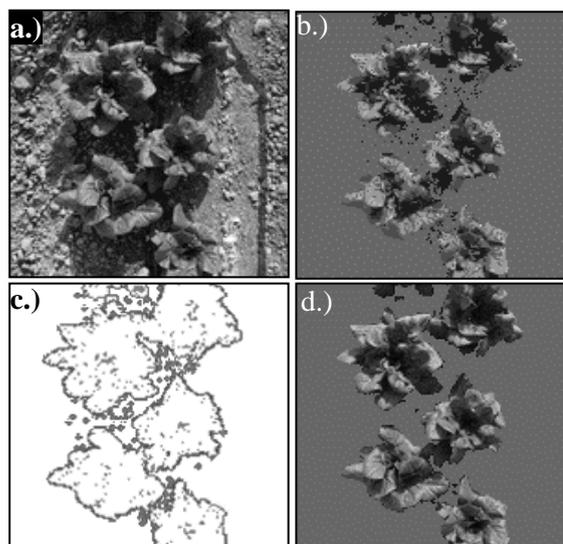


Fig. 1. a) Imagen tras aplicar la corrección del ángulo de la captura de imagen. b) Aplicación del algoritmo y corrección FCM. c) Selección de puntos por relleno y erosión. d) Resultado final. 33,7% de cobertura vegetal.

Adicionalmente, cada fotografía tomada durante el ensayo fue procesada aplicando la técnica descrita anteriormente y se determinó el error en la estimación de la fracción de cobertura, mostrándose los resultados en una gráfica (Fig. 2).

Para obtener la evapotranspiración real del cultivo ( $ET_c$ ), se utilizó la relación de Bowen [5] y de esta forma se determinó el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) con la relación  $K_c = ET_c / ET_o$ . Los valores de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) fueron importados de la estación meteorológica localizada en el paraje El Campillo, perteneciente al Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM).

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo se utilizan las expresiones de [6], donde se determina

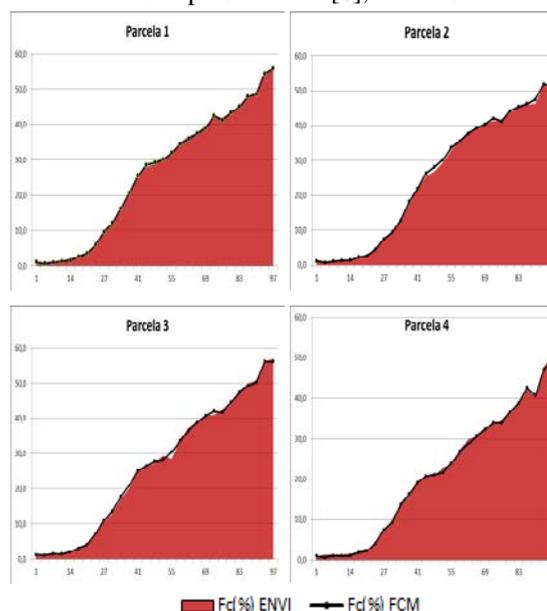


Fig.2. Gráficas que muestran la evolución (días de cultivo) de la fracción de cobertura vegetal (%) en las cuatro subparcelas utilizando ENVI (Fc(%) ENVI) y la técnica FCM (Fc(%)FCM).

la relación entre el  $K_c$  y el factor de cobertura por las siguientes expresiones  $K_c = 0,4515(S/h)^{0,1884}$  y  $h = 7,4405e^{0,028Fc}$ , siendo  $h$  la altura en cm,  $S$  la superficie en  $\text{cm}^2$  y  $F_c$  la cobertura vegetal en %. El valor  $K_c$  obtenido es comparado con los valores reales de (Tabla 1).

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de las pruebas realizadas para la estimación de la cobertura vegetal pueden encontrarse en la (Fig. 2) con una representación gráfica de los mismos. El análisis de estos datos muestra que el error en el 95% de los casos es menor al 2%, siendo principalmente en aquellos casos en que las fotografías presentan niveles más altos de sombra.

A partir de los datos obtenidos (Tabla 1), se puede apreciar que sólo hay errores durante los 20 primeros días, esta circunstancia es debida al pequeño tamaño de la planta y la baja resolución, que produce que pequeñas hojas no se integren en un elemento estructurante. Estos errores no son significativos en los resultados, ya que en esta fase los niveles de

Tabla 1. Resultados obtenidos del análisis comparativo entre los valores de  $K_c$  ( $K_{ce}$ ) obtenidos mediante ENVI y los obtenidos aplicando FCM ( $K_{cf}$ ) en las diferentes parcelas y  $e_r$  representa el error relativo obtenido (%).

Día	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
	$K_{ce}$	$K_{cf}$	$e_r(\%)$	$K_{ce}$	$K_{cf}$	$e_r(\%)$	$K_{ce}$	$K_{cf}$	$e_r(\%)$
1	0,54	0,54	0	0,55	0,55	0	0,57	0,56	2
4	0,54	0,50	7	0,54	0,51	6	0,57	0,55	4
7	0,56	0,53	5	0,56	0,55	2	0,58	0,58	0
11	0,58	0,56	3	0,58	0,57	2	0,59	0,58	2
14	0,61	0,58	5	0,59	0,57	3	0,63	0,61	3
17	0,66	0,64	3	0,63	0,63	0	0,66	0,66	0
20	0,69	0,68	1	0,64	0,65	-2	0,70	0,69	1
24	0,74	0,74	0	0,70	0,71	-1	0,75	0,76	-1
27	0,79	0,79	0	0,76	0,76	0	0,80	0,81	-1
31	0,82	0,82	0	0,79	0,79	0	0,82	0,83	-1
34	0,84	0,84	0	0,82	0,82	0	0,85	0,85	0
38	0,86	0,86	0	0,85	0,85	0	0,86	0,86	0
41	0,88	0,88	0	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0
45	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
48	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
52	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
55	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
59	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
62	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
66	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
69	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
73	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
76	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
80	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
83	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0
87	0,88	0,88	0	0,88	0,88	0	0,87	0,87	0
90	0,88	0,87	1	0,88	0,88	0	0,87	0,87	0
94	0,87	0,87	0	0,87	0,87	0	0,86	0,86	0

evapotranspiración son bajos, siendo más alta la incidencia de un error en fases posteriores.

Se ha podido verificar el buen comportamiento de la aplicación, independientemente del entorno, con una buena fiabilidad, haciendo viable su implementación a unas resoluciones pequeñas (150x150 píxeles), con un tamaño de archivo de 50-80 kb, facilitando su almacenamiento y tratamiento en servidores externos.

El sistema al estar programado en PHP, facilita implementarlo en un servidor Apache, donde se puede integrar en un hosting y realizar un sistema cloud computing.

### 4. Referencias

- [1] Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, JM., Fernández-Pacheco, DG., Cavas-Martínez, F., García-Mateos, G. (2015) "Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce," *Agric. Water Manag.*, pp. 148–157, vol 151.
- [2] Fernández-Pacheco, DG., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., Conesa, J., Molina-Martínez, JM. (2014) "A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain," *Biosyst. Eng.*, vol. 117, pp. 23–34.
- [3] J. Bezdek (1973). *Fuzzy Mathematics in Pattern Classification*. Cornell University
- [4] Lim, Y., Lee, S (1990) "On the color image segmentation algorithm based on the thresholding and the fuzzy c-means techniques" *Pattern Recognit.*, no. 9, vol. 23, pp. 935–952.
- [5] I. Bowen (1926) "The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface" *Phys. Rev.*, vol. 27, pp.779-787.
- [6] Escarabajal Henarejos, D., Martínez Garrido, P., Molina Martínez, JM, Ruiz Peñalver, L., y Ruiz Canales, A. (2013), "Estimación del coeficiente de cultivo en lechuga (*Lactuca sativa* cv. 'Hierro') mediante tratamiento digital de imágenes", VI Jornadas de Introducción a la Investigación de la UPCT, pp. 52–54.
- [7] Pérez, C., Padilla, D. (2014), "Segmentación automática en imágenes RGB aplicando la técnica Fuzzy C-means de la morfología matemática para la ayuda de la fotoidentificación de cetáceos", *Computing Science*, vol. 74, pp. 131-142.