

Estimación del coeficiente de cultivo en lechuga (*Lactuca sativa* cv. 'Hierro') mediante tratamiento digital de imágenes

Escarabajal, D.⁽¹⁾, Martínez, P.⁽¹⁾, Molina, JM.⁽¹⁾, Ruiz-Peñalver, L.⁽¹⁾, Ruiz-Canales, A.⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo I+D+i Ingeniería Agromófica y del Mar. DIAEA. Área de Ingeniería Agroforestal. ETSIA Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)

E-mail: david.escarabajal@upct.es

⁽²⁾ 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. *En regiones áridas y semiáridas, con recursos hídricos limitados, es de suma importancia una gestión adecuada del agua de riego. La agricultura debe maximizar la eficiencia de uso del agua de riego, y para este fin, emplear herramientas o desarrollar otras nuevas que permitan una gestión más eficiente. En este sentido, el tratamiento digital de imagen es una técnica ya desarrollada en el campo de la agronomía, y que también encuentra su aplicación a nivel de parcela, pues junto a un sistema de procesamiento de imágenes permite determinar variables involucradas en la estimación de los requerimientos de agua de los cultivos, como la fracción de suelo cubierto por vegetación. Este parámetro está relacionado directamente con el coeficiente de cultivo. En este trabajo se propone el estudio del crecimiento la lechuga (*Lactuca sativa* L. cv 'Hierro') por medio de la fracción de suelo cubierto por vegetación, mediante fotografía digital y un software específico de tratamiento de imágenes, para su aplicación en la estimación del coeficiente de cultivo.*

1. Introducción

La estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos es una de las etapas obligadas en el diseño, construcción o instalación y operación de cualquier sistema de riego que se pretenda implantar. Como es sabido, éstos se calculan a partir de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que se obtiene como el producto del coeficiente de cultivo, K_c , por la evapotranspiración de referencia (ET_0) [1]. El coeficiente de cultivo trata de reflejar aquellas características que diferencian el cultivo de la superficie de referencia, como altura y albedo de la cubierta, área foliar, número de estomas y control estomático, edad y condición de las hojas y área expuesta de suelo desnudo. Buena parte de estos parámetros dependen de la fracción de cobertura vegetal [4].

En estas últimas dos décadas, y gracias a la disponibilidad de nuevas tecnologías geoespaciales y de la información, tales como: sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de teledetección de alta resolución [5], sensores y controladores de maquinaria agrícola, ha podido hacerse realidad el manejo de precisión de las explotaciones agrarias. De esta manera ha surgido el concepto de agricultura de precisión cuyos beneficios potenciales incluyen, entre otros, un incremento del margen económico de la producción mediante una mejora en los rendimientos o una reducción en los consumos de agua y fertilizantes.

El tratamiento digital de imagen es una técnica que encuentra aplicaciones en diversas disciplinas tales como arqueología, geología, e incluso en usos

militares. Su digitalización, la disminución de los costes materiales y la evolución de la óptica digital han permitido que la utilización de estas herramientas se haya extendido también a la agricultura.

Una aplicación del tratamiento digital de imagen en agricultura de precisión se puede emplear para determinar la fracción de suelo cubierto por vegetación. La relación entre este parámetro y el coeficiente del cultivo K_c ha sido estudiada por diferentes autores y para diferentes sistemas de riego [6,7]. Allen *et al.* (1998) [1] en el cuaderno 56 de la FAO, expone un procedimiento para su cálculo. De esta forma, K_c se expresa en numerosas ocasiones como una función de la cobertura vegetal.

En el presente trabajo se lleva a cabo un seguimiento del crecimiento de un cultivo hortícola típico del campo de Cartagena, como la lechuga, mediante el empleo de fotografía digital sobre el cultivo y su posterior tratamiento y análisis mediante un software informático de procesamiento de imágenes, obteniendo la evolución del crecimiento del cultivo a través de la fracción de suelo cubierto por vegetación. Dada la buena relación existente entre este parámetro y el coeficiente de cultivo [2], el objetivo de este trabajo es encontrar el algoritmo que permita estimar el coeficiente de cultivo en función de la fracción de suelo cubierto por vegetación.

2. Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló durante un periodo de 97 días, desde octubre de 2010 hasta febrero de 2011, sobre un cultivo comercial de lechuga (*Lactuca sativa* L., cv. 'Hierro') ubicado en Fuente Álamo, provincia de Murcia, España.

Las fotografías de la cubierta vegetal se realizaron sobre 4 parcelas de muestreo de 1 m², representativas del cultivo, y distribuidas aleatoriamente por la finca evitando la zona externa de la plantación para eliminar el efecto borde (Fig. 1). Las fotografías se realizaron a partir del primer día de trasplante a intervalos de 2-3 días, en cada una de las parcelas muestreadas, lo que supuso la obtención de 116 imágenes. Además, también se midió la altura de la planta para cada uno de los días muestreados, con el fin de establecer posibles relaciones entre ésta y la fracción de suelo cubierto por vegetación.

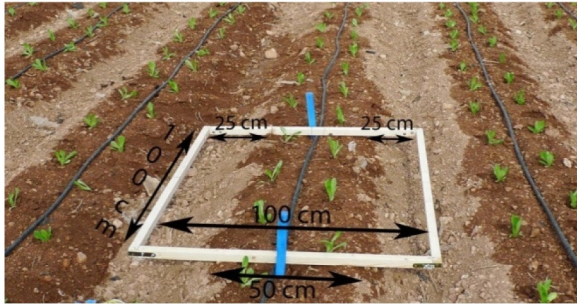


Fig. 1. Esquema de una de las parcelas de muestreo, donde se pueden apreciar las estacas de señalización y la ubicación del marco para la realización de la fotografía.

Las imágenes digitales obtenidas fueron procesadas con el software ENVI versión 4.0, Entorno para Visualización de Imágenes (*Environment for Visualizing Images*) desarrollado por Research System Inc. (Boulder, CO, USA). El procesamiento de las imágenes digitales obtenidas en cada una de las parcelas muestreadas proporcionó la fracción de suelo cubierto por vegetación, tomándose para cada día muestreado el valor medio de las 4 parcelas (Fig. 2).



Fig. 2. Imagen digital del cultivo y su correspondiente procesada con el software ENVI de tratamiento de imágenes.

Para la obtención de la evapotranspiración real, se construyó el balance de energía para los intercambios de radiación neta en la superficie del cultivo (Ec. 1) forzando su cierre mediante el empleo de la razón de Bowen [3].

$$R_n - G = LE + H \quad [1]$$

Para ello se instaló en el centro de la parcela y cumpliendo con los requerimientos de 'fetch' en la dirección de los vientos predominantes, un equipo para el registro y procesamiento automático de las variables climáticas y meteorológicas implicadas.

Con este equipo se calculó el coeficiente de cultivo ($K_c = ET_{real}/ET_0$) con la ET real medida por el equipo

RBBE y la ET_0 (mm·día⁻¹) proporcionada por una estación meteorológica del Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM) próxima a la parcela experimental, en concreto la estación de El Campillo, ubicada en el paraje Campillo de Abajo, en Fuente Álamo, Murcia.

3. Resultados

A partir del procesamiento digital mediante el empleo del software ENVI de las imágenes aéreas obtenidas del cultivo, se calculó la fracción de cobertura vegetal (Fc) mediante la relación entre los píxeles de vegetación y los totales.

Los resultados obtenidos para cada uno de los días muestreados quedan reflejados en la Tabla 1. En esta última, se ha incluido en la última columna la relación S/h, obtenida como cociente entre el área cubierta por la planta y su altura, lo que permite observar la relación entre ambos parámetros.

Tabla 1. Resultados obtenidos durante el ensayo: coeficiente de cultivo (K_c), altura media del cultivo (h), fracción de cobertura vegetal (Fc) y relación área cubierta por la planta/altura de la planta (S/h).

Día de cultivo	K_c	h (cm)	Fc (%)	S/h (cm)
1	0.59	7.90	1.08	2.73
4	0.58	7.63	1.13	2.97
7	0.59	7.95	1.30	3.26
11	0.69	8.34	1.43	3.43
14	0.74	8.60	1.84	4.29
17	0.73	8.95	2.57	5.74
20	0.74	9.08	3.30	7.28
24	0.86	9.28	5.25	11.33
27	0.88	9.50	8.66	18.23
31	0.88	9.75	10.84	22.23
34	0.92	10.05	14.82	29.49
38	0.92	10.90	18.36	33.68
41	0.93	11.95	22.91	38.34
45	1.05	13.15	25.16	38.26
48	1.06	14.00	25.96	37.08
52	0.96	15.08	27.68	36.72
55	1.00	16.05	29.39	36.62
59	1.06	17.90	32.82	36.67
62	0.98	18.95	35.51	37.47
66	0.97	20.00	36.52	36.52
69	0.97	20.83	38.38	36.86
73	0.97	21.83	39.49	36.19
76	0.99	23.25	40.40	34.75
80	0.95	25.48	41.98	32.96
83	0.96	27.83	44.30	31.84
87	0.93	31.03	46.40	29.91
90	0.90	33.23	46.98	28.28
94	0.88	35.53	52.40	29.50
97	0.83	36.85	53.80	29.20

El análisis de la evolución de la relación entre área cubierta por la planta (S) y la altura de la misma (h) (Fig. 3), da como resultado una curva en la que se puede apreciar claramente las tres etapas del desarrollo del cultivo; esta curva se asemeja en gran medida a la curva de K_c , lo que evidencia la buena relación existente entre el coeficiente de cultivo y la fracción de suelo cubierto por vegetación, tal y como lo demuestran trabajos previos [6,7].

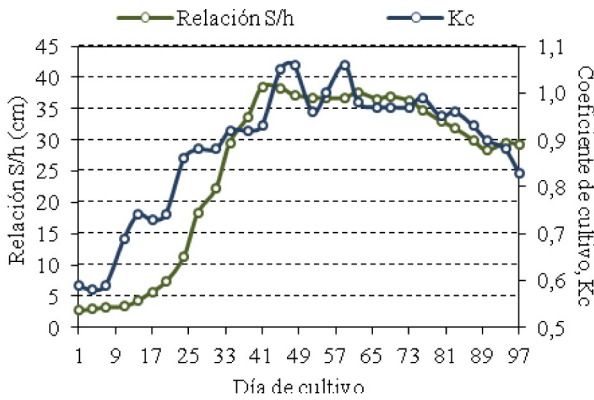


Fig. 3. Evolución de la relación S/h de las plantas de *Lactuca sativa* L., cv. 'Hierro' (S/h) y del coeficiente de cultivo (K_c) a lo largo del ciclo de cultivo.

Se ha conseguido ajustar satisfactoriamente la fracción de cobertura vegetal con la altura de la planta; obteniéndose una ecuación de tipo exponencial capaz de estimar la altura de la planta a partir de la información obtenida de la fotografía de la cubierta vegetal, con una alta correlación ($R^2 = 0,97$) (Fig. 4).

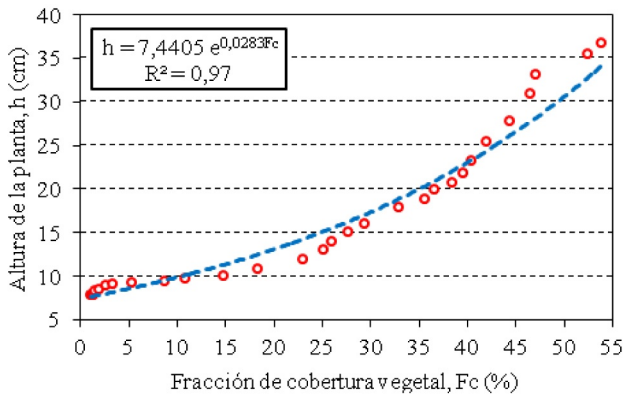


Fig. 4. Evolución de la altura de planta en función de la fracción de cobertura vegetal y ajuste por regresión exponencial entre ellas.

Así, a partir de este ajuste se puede obtener la relación fracción de suelo cubierto por vegetación/altura de la planta (S/h), cuyo ajuste mediante regresión potencial con los datos del coeficiente de cultivo obtenidos por el método de Bowen, permite obtener el algoritmo que predice el coeficiente de cultivo, K_c a partir de la relación S/h ($R^2 = 0,93$) (Fig. 5).

4. Conclusiones

El tratamiento digital de fotografías de una cobertura vegetal, mediante un software informático de procesamiento de imágenes permite obtener la fracción de suelo cubierto por vegetación, constituyendo una metodología de rápida y fácil aplicación tanto para la investigación como para la gestión de sistemas de riego. Se trata pues, de una herramienta sencilla y de rápida aplicación, con la ventaja de que mejora considerablemente el cálculo de los requerimientos hídricos del cultivo.

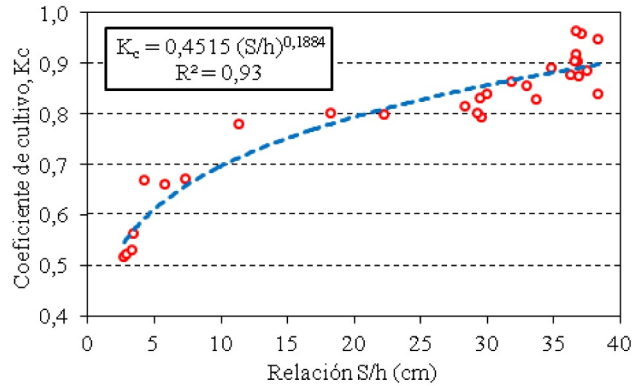


Fig. 5. Evolución de la relación S/h y coeficiente de cultivo, K_c , obtenido por el método RBBE y ajuste por regresión potencial entre ellas.

La aplicación de esta herramienta a un cultivo comercial de lechuga en el campo de Cartagena, ha permitido determinar su curva de crecimiento en base a la fracción de cobertura vegetal y a la altura de la planta, que será empleada en posteriores campañas para llevar a cabo una determinación más precisa de los requerimientos de agua del cultivo, optimizando con ello la gestión del riego, con el consecuente ahorro hídrico y energético.

Referencias

- [1] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56. Roma
- [2] Allen, R.G. y Pereira, L.S. (2009) Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig. Sci.*, 28: 17-34.
- [3] Bowen, J.S. (1926) The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.*, 27: 779-787.
- [4] Calera, A., Martínez, C. y Melia, J. (2001) A procedure for obtaining green plant cover: relation to NDVI in a case study for barley. *Int. J. Remote Sensing*, 22: 3357-3362.
- [5] Calera, A., González-Piqueras, J. y Melia, J. (2004) Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1): 97-109.
- [6] Hanson, B. y May, D. (2006) Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*, 81: 381-399.
- [7] López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Montoro, A. y López-Fuster, P. (2009) Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agric. Water Manage.*, 96(6): 1031-1036.