

Balance hídrico en lechuga a partir de imágenes de cobertura vegetal

D. Escarabajal-Henarejos¹, D.G. Fernández-Pacheco², G. García-Mateos³,
J.M. Molina-Martínez¹ y A. Ruiz-Canales⁴

¹ Grupo de Investigación en Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena, Pº Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Murcia, david.escarabajal@upct.es

² Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena, 30202, Cartagena, Murcia

³ Dpto. de Informática y Sistemas. Facultad de Informática. Universidad de Murcia, 30100 Murcia

⁴ Dpto. de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche, 03312 Orihuela, Alicante

Resumen

La adquisición de imágenes de cobertura vegetal de cultivos y su posterior procesamiento digital permite obtener parámetros relacionados con el desarrollo del cultivo y vinculados directamente con el cálculo de sus requerimientos hídricos. En el presente trabajo se ha llevado a cabo un seguimiento fotográfico de la cubierta vegetal de un cultivo de lechuga ‘Little Gem’, determinándose la evolución del parámetro fracción de cobertura vegetal (PGC) a partir del procesamiento digital de las imágenes de cobertura obtenidas. Posteriormente se aplicaron las metodologías calibradas de Fernández-Pacheco et al. (2014) y Escarabajal-Henarejos et al. (2015) para determinar los coeficientes de cultivo Kc y la evolución de la profundidad radicular del cultivo, respectivamente, mediante sus relaciones matemáticas con PGC. A partir de los coeficientes Kc se calculó la evapotranspiración del cultivo y se determinaron las necesidades hídricas totales durante los 60 días que duró el cultivo, estableciendo el balance hídrico en el suelo y considerando la creciente evolución del perfil radicular durante el desarrollo del cultivo. El balance hídrico fue establecido manteniendo los niveles de humedad del suelo en umbrales próximos a la capacidad de campo durante todo el ciclo de cultivo para evitar limitaciones hídricas y una consecuente reducción de la producción. La evapotranspiración acumulada del cultivo fue de 78,58 mm, aportándose 90,11 mm por riego y 35,40 mm por lluvia.

Palabras clave: fotografía digital, fracción de cobertura vegetal, evapotranspiración, coeficiente de cultivo, profundidad radicular

Water balance on lettuce from images of vegetation cover

Abstract

The acquisition of vegetation cover images and its subsequent digital processing allows obtaining several parameters related with the crop development and directly linked to the calculation of their water requirements. In this paper, a photographic monitoring of vegetation cover has been conducted over a ‘Little Gem’ lettuce crop, determining the percentage of green cover (PGC) by digital processing of the coverage images obtained. Later, the calibrated methodologies of Fernández-Pacheco et al. (2014) and Escarabajal-Henarejos et al. (2015) were applied in order to determine Kc crop coefficients and root depth evolution, respectively, by means of their mathematical relationship with PGC. Kc crop coefficients were applied for estimating crop evapotranspiration, and crop water requirements were determined during the 60 days of the crop period, establishing the soil water balance and considering the increasing evolution of root depth during the crop development. The water balance was established maintaining soil moisture levels near to field capacity throughout the growing season to prevent water constraints and a consequent production reduction. The accumulated evapotranspiration was of 78.58 mm, providing 90.11 mm by irrigation and 35.40 mm by rainfall.

Keywords: digital photography, percentage of green cover, evapotranspiration, crop coefficient, root depth

Introducción y/o Justificación

El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos posibilita conseguir una gestión adecuada del agua de riego con la máxima eficiencia (Feres, 1987). El balance hídrico permite estimar la oferta y la demanda del agua durante el ciclo del cultivo (Sánchez et al., 2012), estando basado en la cuantificación de las entradas y salidas de agua en el perfil de suelo explorado por el sistema radicular.

El empleo de imágenes de cobertura vegetal a la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos está basado en la determinación de la fracción de cobertura del dosel vegetal (Escarabajal-Henarejos et al., 2015a; Fernández-Pacheco et al., 2014). La fracción de cobertura vegetal (PGC) permite estimar las necesidades hídricas de los cultivos al estar directamente relacionado con la evapotranspiración (ET_c), la cual es calculada como el producto del coeficiente de cultivo (K_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Allen et al., 1998). En lechuga, Fernández-Pacheco et al. (2014) desarrollaron una nueva metodología basada en el procesamiento digital de imágenes para estimar el coeficiente de cultivo a partir de fotografías digitales de la cobertura vegetal.

Otra variable del desarrollo vegetativo de los cultivos, directamente implicada en el balance hídrico, es la profundidad del sistema radicular. Su papel en el balance hídrico viene determinado por la necesidad de conocer el perfil de suelo explorado por el sistema radicular, en el cual es necesario mantener unas condiciones óptimas de humedad para el correcto desarrollo del cultivo (Rincón and Sáez, 1997). En cultivos de lechuga, Escarabajal-Henarejos et al. (2015b) lograron correlacionar satisfactoriamente este parámetro con la fracción de cobertura vegetal y desarrollaron una metodología para obtener modelos de predicción del espesor de la zona radicular a partir del procesamiento de imágenes de la cubierta vegetal.

El objetivo del presente trabajo es la estimación de los requerimientos hídricos de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. 'Little Gem') mediante balance hídrico del suelo, aplicando la fotografía digital y técnicas de procesamiento digital de imágenes para el cálculo de su demanda evapotranspirativa y perfil de suelo explorado por su sistema radicular.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado sobre un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Little Gem), situado en la comarca del campo de Cartagena (37°46'N, 0°58'O) en Murcia. Las plántulas de lechuga se obtuvieron en semillero aparte y se trasplantaron el 23 de octubre de 2014, a una densidad de plantación de 16,5 plantas·m⁻². La duración total del cultivo fue de 9 semanas.

El seguimiento fotográfico de la cubierta vegetal fue realizado a intervalos de 2-3 días, sobre 5 parcelas representativas del cultivo, con una cámara digital compacta SONY modelo DSC-HX400. El parámetro Fracción de Cobertura Vegetal –*Percentage of Green Cover*– (PGC) fue obtenido sometiendo las imágenes obtenidas a un tratamiento digital de segmentación bicolor. Para ello, se empleó el Módulo de Clasificación del software CAPS (Sistema de Clasificación Automática de Plantas y Suelo), desarrollado específicamente para automatizar el proceso de segmentación planta/suelo en imágenes de cultivos (Hernández-Hernández et al., 2015).

Los valores de PGC, obtenidos con el software CAPS para cada uno de los días muestreados, fueron empleados para determinar los coeficientes de cultivo K_c aplicando la metodología desarrollada por Fernández-Pacheco et al. (2014) calibrada posteriormente para la misma variedad de lechuga (Little Gem) por Escarabajal-Henarejos et al. (2015a). Las ecuaciones empleadas fueron:

$$h_{est} = 4,484 \cdot e^{0,017 \cdot PGC} \quad (1)$$

$$K_{cest} = 0,163 \cdot \ln(PGC/h_{est}) + 0,779 \quad (2)$$

Las necesidades de riego del cultivo fueron estimadas a partir del balance hídrico en la zona radicular, dado por la Ecuación (3), donde Θ_{t-1} y Θ_t corresponden con los contenidos hídricos inicial y final de la zona radicular (%) respectivamente, z es la profundidad radicular (mm), P es la precipitación (mm), R representa los aportes de riego (mm), D son las pérdidas por drenaje del suelo (mm) y ET representa la demanda evapotranspirativa del cultivo (mm).

$$(\Theta_t - \Theta_{t-1}) \cdot z = P + R - D - ET \quad (3)$$

La componente del balance hídrico correspondiente a la evapotranspiración del cultivo (ET) fue calculada como producto del coeficiente de cultivo estimado por la Ecuación (2) (K_{cest}) y la evapotranspiración de referencia (ET_o) (Allen et al., 1998). Los valores de ET_o fueron importados de la estación meteorológica localizada en el paraje El Mirador (TP52), perteneciente al Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM).

Con el objetivo de ajustar el balance hídrico únicamente al perfil de suelo explorado por el sistema radicular, se adoptaron como valores de profundidad radicular los estimados a partir de los valores de PGC mediante el empleo de la Ecuación (4) (z_{est}), obtenida por Escarabajal-Henarejos et al. (2015b) para cultivos de invierno de lechuga ‘Little Gem’.

$$z_{est} = \frac{80,345}{1 + e^{(2,829 - 0,033 \cdot PGC)}} + 0,627 \quad (4)$$

Resultados y Discusión

La Figura 1a muestra la evolución del parámetro PGC durante el ciclo de cultivo. Dicho PGC presentó una evolución creciente casi-lineal, variando entre 2,67% en el trasplante y 68,23% en la recolección, con un incremento medio diario de $1,09\% \cdot \text{día}^{-1}$. A partir de estos valores, y aplicando las Ecuaciones (1) y (2) se obtuvieron los valores del coeficiente de cultivo (K_{cest}) (Fig. 1b). De igual manera, y aplicando la Ecuación (4) se estimó la evolución de la profundidad radicular del cultivo (z_{est}) (Fig. 1c).

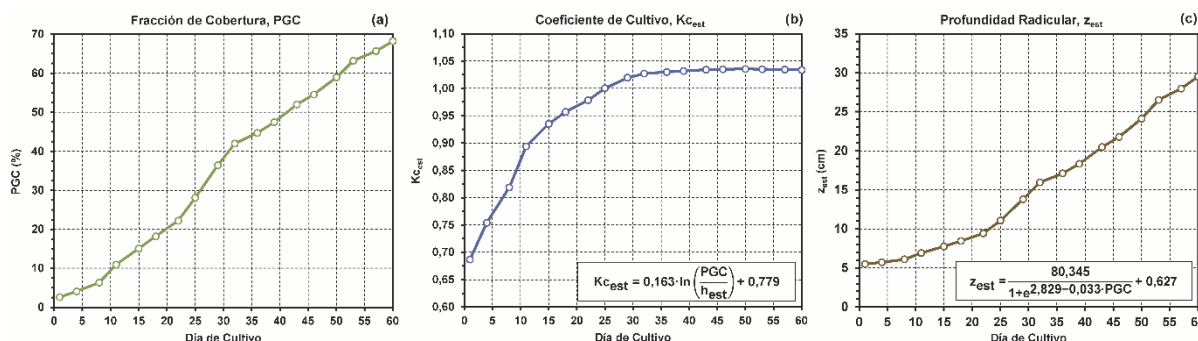


Figura 1. Evolución de PGC (a) obtenida a partir del procesamiento de las imágenes digitales del cultivo con el software CAPS, y parámetros estimados a partir de PGC durante el desarrollo del cultivo: (b) Coeficiente de Cultivo K_{cest} , y (c) Profundidad Radicular z_{est} .

El balance hídrico se muestra en la Tabla 1. Con el objetivo de disminuir la evaporación directa y aumentar la transpiración, manteniendo un elevado contenido de humedad en las capas superficiales del suelo próximo a CC (25%) para evitar ciertos desórdenes fisiológicos, en los cálculos del balance se consideró una fracción de agotamiento permisible $f = 0,15$. El ciclo de cultivo se alargó hasta los 60 días después del trasplante, en el que la ET_o fue de 90,04 mm. El agua aplicada en el riego fue de 90,11 mm y la aportada por la lluvia de 35,40 mm. La ET_c acumulada en el ciclo de cultivo fue de 78,58 mm. El consumo de agua por el cultivo en la fase de crecimiento lento fue de 31,83 mm (40,51% del consumo total), gastándose la mayor parte en procesos de evaporación a partir del suelo debido a la baja superficie sombreada (<20%). En la fase de crecimiento rápido (fase de acogollado) se consumió el 59,49% del agua total consumida (46,75 mm).

Tabla 1. Balance hídrico del cultivo.

Día de Cultivo	ET_o (mm)	Riego (mm)	Precipitaciones (mm)	Drenaje (mm)	ET_c (mm)	K_{cest} (-)	Z_{est} (cm)
1-7	15,29	21,60	0,00	11,04	10,56	0,75	5,74
8-14	13,28	10,18	9,20	8,56	10,82	0,88	6,84
15-21	11,91	10,31	3,10	2,96	10,45	0,96	8,45
22-28	10,19	9,56	0,00	0,20	9,36	1,00	11,16
29-35	8,40	7,93	0,00	0,00	7,93	1,03	15,60
36-42	8,67	9,37	13,80	14,94	8,23	1,03	18,45
43-49	11,50	10,79	3,60	3,44	10,95	1,04	21,91
50-56	6,97	6,47	5,70	5,53	6,64	1,04	26,15
57-60	3,83	3,90	0,00	0,26	3,64	1,03	28,74
TOTAL	90,04	90,11	35,40	46,93	78,58		

Conclusiones

El manejo de imágenes de cobertura vegetal y su procesamiento digital mediante software especializado permite obtener parámetros de gran relevancia para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. El presente trabajo ha cuantificado mediante balance hídrico del suelo los requerimientos hídricos de un cultivo de invierno de lechuga ‘Little Gem’ empleando como valores de coeficiente de cultivo K_c y de profundidad radicular del cultivo los estimados a partir del seguimiento fotográfico del desarrollo de la cubierta vegetal y la aplicación de metodologías específicas que relacionan estos parámetros con la fracción de cobertura vegetal.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa AGROMEDITERRÁNEA HORTOFRUTÍCOLA, S.L. por poner a disposición de los autores las parcelas y cultivos donde se llevaron a cabo los ensayos.

Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., et al. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. p. 328. FAO Irrigation and Drainage Papers, Rome, Italy.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J. M., Fernández-Pacheco, D. G., et al. 2015a. Digital photography applied to irrigation management of Little Gem lettuce. *Agric. Water Manage.* 151: 148-157.
- Escarabajal-Henarejos, D., Molina-Martínez, J. M., Fernández-Pacheco, D. G., et al. 2015b. Methodology for obtaining prediction models of the root depth of lettuce for its application in irrigation automation. *Agric. Water Manage.* 151: 167-173.
- Fereres, E. 1987. Necesidades hídricas de los cultivos. AERYD, Madrid.
- Fernández-Pacheco, D. G., Escarabajal-Henarejos, D., Ruiz-Canales, A., et al. 2014. A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain. *Biosys. Eng.* 117: 23-34.
- Hernández-Hernández, J. L., García-Mateos, G., González-Esquivia, J. M., et al. 2015. A new method for color models training with an application on segmentation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. In Press.
- Rincón, L. and Sáez, J. 1997. Determinación de la evapotranspiración y de los coeficientes de cultivo en lechuga Iceberg con riego por goteo. *Actas de Horticultura* 19: 193-201.
- Sánchez, N., Martínez-Fernández, J., González-Piqueras, J., et al. 2012. Water balance at plot scale for soil moisture estimation using vegetation parameters. *Agricultural and Forest Meteorology* 166–167: 1-9.