

EFICIENCIA DE USO DEL AGUA Y DE LA LUZ EN CULTIVO DE AJO MEDIANTE EL USO DE SERIES TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE

J. Campoy¹, C. Plaza², M. Calera², I. Campos¹, V. Bodas², A. Calera¹

¹ Grupo de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario SN. Albacete (España).

² AgriSat Iberia, Pol. Campollano, Av 1^a, N^o 18, Albacete, España.

Palabras clave: NDVI, biomasa, WUE, LUE

RESUMEN

En el presente estudio se determina la eficiencia del uso del agua (WUE) y de la luz (LUE) para el cultivo de ajo. La estimación de estos parámetros se basa en medidas experimentales de producción de biomasa seca y estimaciones de transpiración e interceptación de radiación basadas en series temporales densas de imágenes de satélite. Los datos experimentales se obtuvieron en parcelas comerciales de ajo de primavera y ajo morado (*Allium sativum* L.) en la provincia de Albacete (Sureste Español) durante el ciclo de crecimiento 2015-2016. Los parámetros WUE y LUE se corresponden con la pendiente de la recta de regresión entre la acumulación de biomasa (valores experimentales de las dos variedades estudiadas) frente a las variables estudiadas (transpiración y absorción de radiación). Los resultados indican una fuerte correlación en ambos casos, y los valores experimentales fueron $WUE=6.11 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ y $LUE=2.94 \text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$. Esta aproximación abre la posibilidad de estimar de manera remota la producción de biomasa en este cultivo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una alta disponibilidad, frecuencia y calidad en los datos suministrados por sensores espaciales de observación de la Tierra, que permiten describir con alta resolución temporal y espacial la cubierta vegetal en tiempo real. A través del programa Landsat, se obtienen imágenes con reflectividad en superficie en un período no superior a 48 horas al paso del satélite con una revisita de 16 días y con una resolución espacial de 30 m. Además el programa Copernicus de ESA, con los satélites Sentinel 2A y 2B, proporciona imágenes con una resolución espacial de 10 m y un período de revisita de 10 días. Las series de imágenes multiespectrales son capaces de proporcionar de manera detallada y precisa información espacial y temporal sobre la respuesta del cultivo a condiciones ambientales y de manejo. A partir de una secuencia temporal de imágenes suficientemente densa, se pueden construir curvas que describan la dinámica de la evolución espacial y temporal del cultivo en cada pixel. Esta trayectoria en el tiempo define el crecimiento del cultivo. La integración numérica, a lo largo del ciclo del cultivo, permite caracterizar cuantitativamente la producción de biomasa de ese pixel (Campos et al. 2018). El cultivo del ajo presenta características especiales en cuanto a su cubierta vegetal, órganos de acumulación (bulbo) y sistema radicular, por lo que requiere un enfoque específico y la evaluación empírica de estas metodologías. El objetivo del presente trabajo es estimar la eficiencia de uso de agua (WUE) y la eficiencia de uso de la luz (LUE) para el cultivo del ajo, que nos permita modelizar la producción de biomasa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Modelos de crecimiento de cultivos

Los enfoques clásicos para la simulación del crecimiento del cultivo se basan en la eficiencia de la conversión del agua transpirada o la luz absorbida para la producción de biomasa. Estos dos modelos clásicos se conocen como eficiencia en el uso del agua y eficiencia en el uso de la luz (o radiación).

Los modelos de producción de biomasa basados en la eficiencia del uso de radiación/luz se centran en la relación entre la tasa de producción de biomasa seca (Biomasa) y la radiación solar absorbida por las hojas en longitudes de onda de radiación solar incidente fotosintéticamente activa (PAR). La relación se establece en términos del PAR absorbido por las hojas empleado para el proceso de fotosíntesis (Ecuación 1).

$$Biomasa = \int_{t_0}^t LUE \cdot APAR d(t) \quad (1)$$

donde Biomasa es la biomasa seca por unidad de superficie durante el período entre t_0 y t en $g m^{-2}$; LUE es la eficiencia del uso de la luz en $g MJ^{-1}$; APAR, es el PAR absorbido en $MJ m^{-2}$.

Los modelos de producción de biomasa basados en la eficiencia de uso del agua estiman la tasa de producción de biomasa seca a partir de la integral sobre el tiempo de la transpiración del cultivo (Ecuación 2). El estrés hídrico reduce la transpiración del cultivo, por lo que debe considerarse en determinadas condiciones.

$$Biomasa = \int_{t_0}^t WUE \cdot T_c d(t) \quad (2)$$

donde T_c es transpiración del cultivo en mm ; WUE es la eficiencia del uso del agua en $g mm^{-1}$.

Integración de imágenes de satélite en las bases de los modelos de crecimiento

Un punto clave para los modelos basados en el LUE y WUE es la determinación de APAR y T_c . APAR puede ser estimado como el producto del PAR incidente (PAR_{in}) y la fracción de PAR absorbido (fPAR). T_c puede estimarse a través del producto de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de transpiración (K_t) (Allen et al. 1998). Para estimar estas fPAR y K_t y su evolución en el tiempo, en este trabajo se emplea el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) derivado de imágenes de satélite. La relación del NDVI con las variables de interés se muestran en las ecuaciones (3) (Asrar et al. 1984) y (4) (Duchemin et al. 2006). Ambas relaciones han sido desarrolladas para otros cultivos herbáceos (trigo) por lo que deben desarrollarse relaciones específicas para el ajo en el futuro.

$$fPAR = NDVI \cdot 1.25 - 0.19 \quad (3)$$

$$k_t = 1.64 \cdot (NDVI - 0.14) \quad (4)$$

Datos de campo

En este estudio se monitoreó una parcela comercial plantada con ajo de primavera y otra plantada con ajo morado (tabla 1). Se llevaron a cabo las mediciones de biomasa seca durante el ciclo de crecimiento. Las medidas de biomasa seca se componen de toda la biomasa de la planta (hojas, pseudotallo, escapo floral y bulbo) excluyendo las raíces. En cada parcela se obtuvieron entre 6 y 8 muestras a lo largo del ciclo de crecimiento hasta cosecha. En cada muestra se colectaron todas las plantas presentes en dos hileras a lo largo de 0.5 m. Las muestras fueron secadas en horno a 60°C hasta la estabilización de los pesos.

Las imágenes de satélites fueron adquiridas por los sensores Landsat 8 y Sentinel 2A. En este trabajo se utilizaron un total de 13 imágenes con la finalidad de obtener valores

de NDVI. Los datos meteorológicos (ET_o y radiación solar incidente) se obtuvieron de las estaciones de la red SIAR más cercanas a las parcelas de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa máxima medida para el cultivo de ajo blanco fue de 1260 g·m⁻² y para el cultivo de ajo morado de 1180 g·m⁻². Los valores de T_c y APAR estimados para las dos variedades son similares, obteniéndose un sumatorio de T_c de 170 mm para el ajo blanco y 190 mm para el ajo morado. El sumatorio de APAR fue de 380 MJ·m⁻² para el ajo blanco y 362 MJ·m⁻² para el ajo morado.

La correlación de la biomasa frente a las variables de interés muestra una tendencia similar en ambas variedades. En la Figura 1 se presenta la correlación de la biomasa frente a la transpiración acumulada. Asumiendo que la ordenada en el origen no es significativamente diferente de cero, la productividad del agua se corresponde con la pendiente de la recta que correlaciona ambas variables. En este caso el parámetro **WUE fue estimado igual a 6.11 g·L⁻¹**. En la Figura 2 se presenta la correlación de la biomasa frente a APAR acumulado. A partir de esta correlación se estima que el valor de **LUE es igual a 2.94 g·MJ⁻¹**.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran la fuerte correlación entre la producción de biomasa seca en el cultivo de ajo y los valores acumulados de APAR y T_c. La metodología propuesta emplea NDVI obtenido a partir de imágenes de satélite de los sensores Landsat 8 y Sentinel 2A que son actualmente gratuitas y de acceso libre. Se necesita además contar con variables meteorológicas disponibles en la red SIAR para las zonas de cultivo en España.

Los resultados obtenidos permitirán la estimación de la biomasa del cultivo de ajo en diferentes fechas. Futuros trabajos se orientarán a la aplicación de esta metodología en la predicción de la cosecha.

REFERENCIAS

- Allen, R. G., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements, Irrig. Drain. Pap. No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E.T., Hatfield, J.L., 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.* 76, 300–306.
- Campos, I., González-Gómez, L., Villodre, J., González-Piqueras, J., Suyker, A. E. and Calera, A. (2018) ‘Remote sensing-based crop biomass with water or light-driven crop growth models in wheat commercial fields’, *Field Crops Research*. Elsevier, 216, 175–188.
- Duchemin, B., Hadria, R., Er-Raki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., Escadafal, R., Ezzahar, J., Hoedjes, J.C.B., Kharrou, M.H., Khabba, S., Mougnot, B., Olioso, A., Rodriguez, J.C., Simmoneaux, V., 2006. Monitoring wheat phenology and irrigation in central Morocco On the use of relationships between evapotranspiration, crop coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. *Agric. Water Manag.* 79, 1–27.

TABLAS

Tabla 1. Localización de las parcelas estudiadas, número de fechas de medida durante el ciclo y variedad de ajo cultivada.

Parcela	Coordenadas: WGS84, UTM 30N	Biomasa	Variedad
1	X: 576751.382 Y: 4310402.018	6 fechas/3 zonas de muestreo	Ajo Chino
2	X: 599047.108 Y: 4288889.772	8 fechas/3 zonas de muestreo	Ajo Morado

FIGURAS

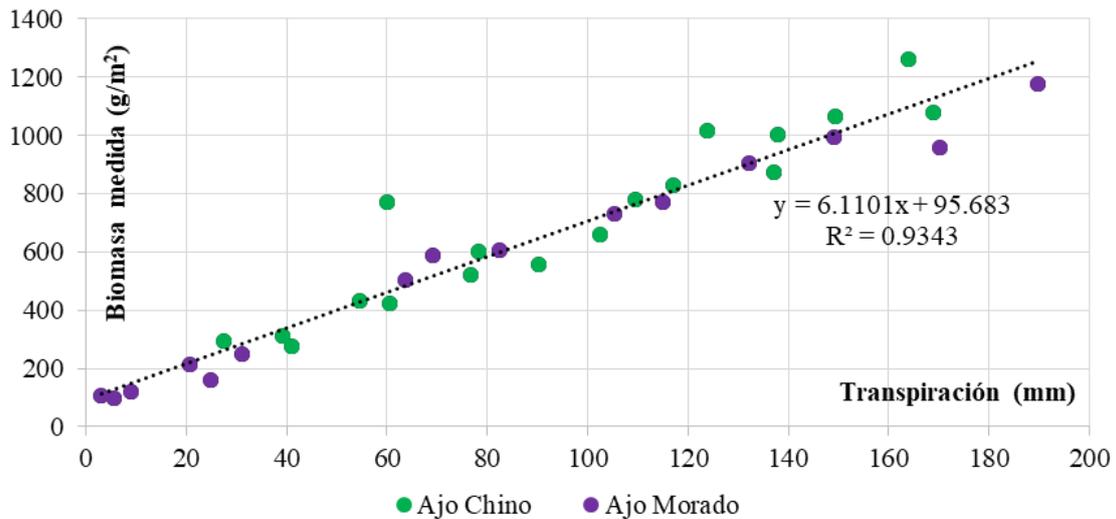


Figura 1. Biomasa medida ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) frente a transpiración acumulada (mm) para cada una de las fechas de muestreo.

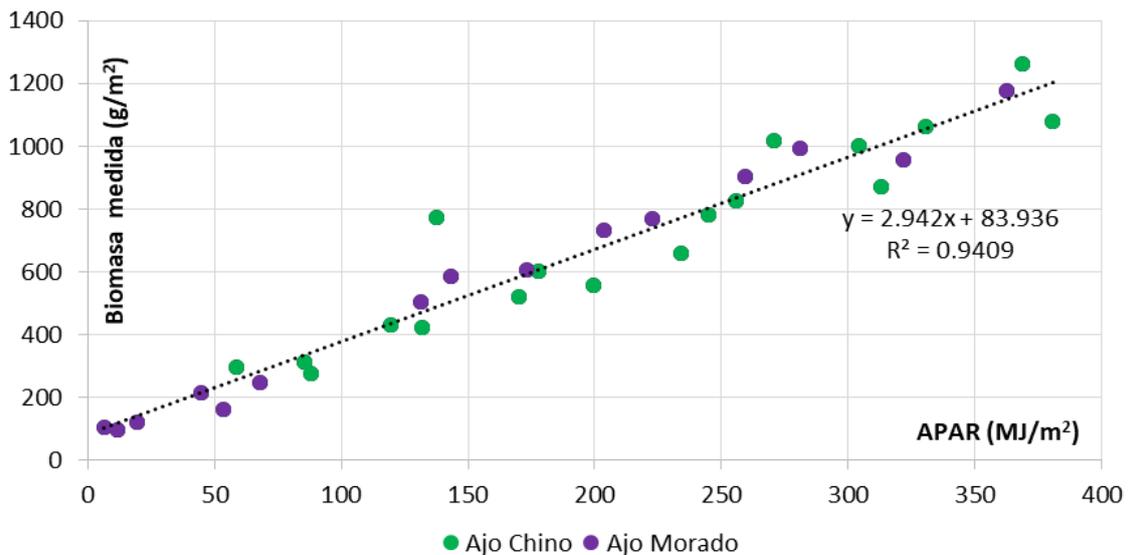


Figura 2. Biomasa medida ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) frente a APAR acumulado ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) para cada una de las fechas de muestreo.