

EVALUACIÓN DEL USO DEL AGUA EN LA ZONA REGABLE SECTOR BXII DEL BAJO GUADALQUIVIR MEDIANTE EL INDICADOR SUMINISTRO RELATIVO DE RIEGO

Navarro, E (1) (P), Alfieri, S (2), Parias, P (3), Mateos, L (4)

¹ Ingeniera I+D+i, Asociación de Comunidades de regantes de Andalucía (FERAGUA), Sevilla, España, enavarro@ias.csic.es

²Investigador científico de la Universidad Técnica de Delft (TUDelft), Holanda; silviamariaalfieri1@gmail.com

³ Secretario general, FERAGUA. pp@feragua.com

⁴ Investigador científico del Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Córdoba, España, luciano.mateos@ias.csic.es

Resumen

En este trabajo se presentan las posibilidades de la teledetección para evaluar el uso del agua en la zona regable del Sector BXII del Bajo Guadalquivir a diferentes escalas de agregación de la información. Para realizar este análisis, se estimaron las necesidades hídricas de los cultivos a partir de una clasificación supervisada y utilizando la serie temporal de imágenes satélite correspondiente a los períodos de medida de agua aplicada en la zona regable. Los coeficientes de cultivo derivados de los índices de vegetación se interpolaron diariamente para conocer la evapotranspiración de los cultivos y se relacionaron con los datos meteorológicos de la estación climática situada en la zona regable. Procesados los datos de agua aplicada y necesidades hídricas de los cultivos se aplicó el indicador del suministro relativo de riego para conocer el manejo del riego en la zona.

1) Introducción

La estimación de necesidades hídricas de los cultivos e indicadores que permiten evaluar el riego a partir de información obtenida mediante los sensores remotos ha trascendido durante los últimos años debido a las ventajas económicas y físicas que ofrece la teledetección (Akdim et al., 2014).

Las infraestructuras del regadío en España se han modernizado durante los últimos años y actualmente lo que se está modernizando es la gestión de esas infraestructuras introduciendo tecnologías de vanguardia. En este trabajo se plantea una evaluación del uso del agua destinada a riego en el Sector BXII del Bajo Guadalquivir, una zona modelo modernizada recientemente, donde el agua utilizada se mide rutinariamente en cada parcela y donde se vienen aplicando técnicas de teledetección para mejorar la estima del consumo de agua. La ubicación de esta zona regable a solo 40 km de la desembocadura del Guadalquivir hace que la mejora de su eficiencia tenga un gran impacto en el conjunto de la cuenca.

2) Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar el uso del agua en el Sector BXII del Bajo Guadalquivir a partir de la medida del agua aplicada por parcela y de estimaciones de las necesidades de riego mediante teledetección.

3) Materiales y Métodos

El Sector BXII está en Lebrija, provincia de Sevilla, cuenta con una superficie de 14.463 ha y 1128 agricultores. Predomina el cultivo de algodón, tomate y remolacha, y durante los últimos años ha ido diversificando su producción introduciendo cultivos hortícolas de ciclo corto más rentables. El método de riego es de alta eficiencia predominando el riego por goteo y aspersión. La zona regable está dividida en tres subsectores (A, B y C) cada uno de ellos abastecido por un canal donde estaciones de bombeo (13 en total) suministran el agua a redes de tuberías a presión. Las parcelas son en su mayoría rectangulares de 250 x 500 metros y una superficie de 12.5 ha (Figura 1).

El clima en el área de estudio es mediterráneo con veranos cálidos y secos e inviernos y otoños templados y lluviosos. Los suelos del área de estudio presentan una baja pendiente (0.001%); con alto contenido de arcilla (más del 60%) y bajo contenido en arena. Son suelos salino-sódicos debido a su origen de zona de marisma. Presentan una capa freática a un metro de profundidad y las condiciones de drenaje natural son prácticamente inexistentes. La zona regable cuenta con un sistema de drenaje subsuperficial instalado a un metro de profundidad y con 5 m de separación entre drenes que converge en una red de drenaje a cielo abierto desde donde se bombea el agua al río Guadalquivir.

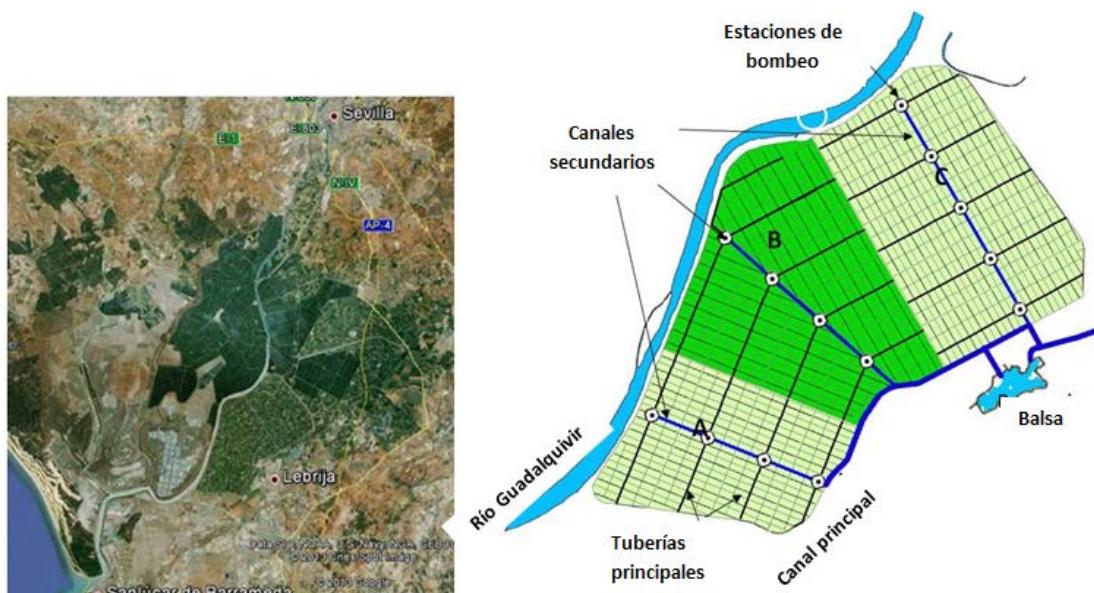


Figura 1. Sector BXII del Bajo Guadalquivir. Izquierda: Vista aérea desde Google Earth. Derecha: Mapa del Sector BXII con la división por subsectores y localización de las estaciones de bombeo.

A - Necesidades hídricas de los cultivos mediante teledetección

La evaluación del riego se basó en el indicador de desempeño suministro relativo de riego, definido como:

$$SRR = \frac{\text{Agua aplicada}}{\text{Necesidades de riego de los cultivos}} \quad (1)$$

Si el índice es mayor de uno indicará un sobre riego y si es menor de 1, riego deficitario.

El agua aplicada en el Sector BXII se mide en los hidrantes situados a la entrada de cada parcela. Los datos se procesan dos veces al año obteniendo valores por parcela que pueden agregarse a nivel de bomba, subsector o toda la zona regable. En este trabajo, se utilizaron las medidas de agua aplicada en el periodo 26/03/2017 al 30/09/2017.

Para calcular las necesidades de riego de los cultivos se partió de una clasificación de cultivos supervisada y se siguió la metodología desarrollada por Mateos et al. (2013) y González-Dugo et al. (2013) que calcula los coeficientes de cultivo a partir de índices de vegetación obtenidos desde sensores a bordo de satélites. Se seleccionaron imágenes satelitales para la campaña de riego 2017 procedentes de Sentinel 2 A y Sentinel 2 B (resolución espacial, 10x10 m) y Landsat 8 (resolución espacial, 30x30 m). En total se utilizaron 33 imágenes correspondientes al periodo de medida del agua aplicada (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de fechas y satélites para el periodo de estudio.

Satélite	Fecha
L8	29/03/2017
S2	12/04/2017
L8	14/04/2017
S2	22/04/2017
L8	30/04/2017
S2	02/05/2017
S2	12/05/2017
L8	16/05/2017
S2	22/05/2017
S2	01/06/2017
2	11/06/2017
L8	17/06/2017
S2	21/06/2017
S2	01/07/2017
L8	03/07/2017
S2	11/07/2017
L8	19/07/2017
Satélite	Fecha
S2	21/07/2017
S2	26/07/2017
S2	28/07/2017
S2	31/07/2017
L8	04/08/2017
S2	05/08/2017
S2	20/08/2017
S2	30/08/2017
S2	04/09/2017
L8	05/09/2017
S2	09/09/2017
S2	14/09/2017
S2	19/09/2017

L8	21/09/2017
S2	24/09/2017
S2	29/09/2017

El coeficiente de cultivo (K_c) engloba los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo. Para calcular la evapotranspiración de los cultivos (ET_c) se multiplicó el correspondiente coeficiente de cultivo (interpolación diaria) por la evapotranspiración de referencia (ET_o) obtenida en una estación meteorológica en la zona regable. Las necesidades de riego se calcularon substrayendo a la evapotranspiración calculada la lluvia del período de estudio (83 mm).

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (2)$$

Dónde K_c se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_c = K_{c,suelo\ desnudo} + (1 - K_{c,suelo\ desnudo})K_{cb} \quad \text{Si } K_{cb} < 1 \quad (3.a)$$

$$K_c = 1 + \frac{K_{c,mx} - 1}{K_{cb,mx} - 1} (K_{cb} - 1) \quad \text{Si } K_{cb} \geq 1 \quad (3.b)$$

El coeficiente de cultivo máximo ($K_{c,mx}$) detalla el momento de desarrollo máximo del vegetal. El coeficiente basal del cultivo (K_{cb}) describe la transpiración de la planta en función de su desarrollo ($K_{cb,mx}$) es el coeficiente de cultivo basal máximo. El coeficiente de cultivo del suelo desnudo se asumió de acuerdo a la Tabla 2:

Tabla 2. $K_{c,suelo\ desnudo}$ estacional

Estación	$K_{c,suelo\ desnudo}$
Otoño	0.8
Invierno	0.8
Primavera	0.6
Verano	0.0

El coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) se deriva a partir de los índices de vegetación. Para este trabajo se seleccionó el Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974).

$$K_{cb} = \min \left[K_{cb,mx}, \frac{K_{cb,mx}}{f_{c,mx}} \left(\frac{NDVI - NDVI_{mn}}{NDVI_{mx} - NDVI_{mn}} \right) \right] \quad (4)$$

Donde f_c es la fracción de cobertura, $NDVI_{min}$ es el $NDVI$ mínimo y $NDVI_{max}$ el $NDVI$ máximo, para $f_c = 0$ y $f_c = 1$. El NDVI resulta la combinación de las reflectancias en las bandas espectrales del rojo y el infrarrojo cercano que se relacionan con la fracción de cobertura de la vegetación de manera casi lineal (Glenn et al., 2008).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \quad (5)$$

4) Resultados y Discusión

El suministro relativo de riego de cada una de las parcelas se representa en el mapa de3 la Figura (2A).

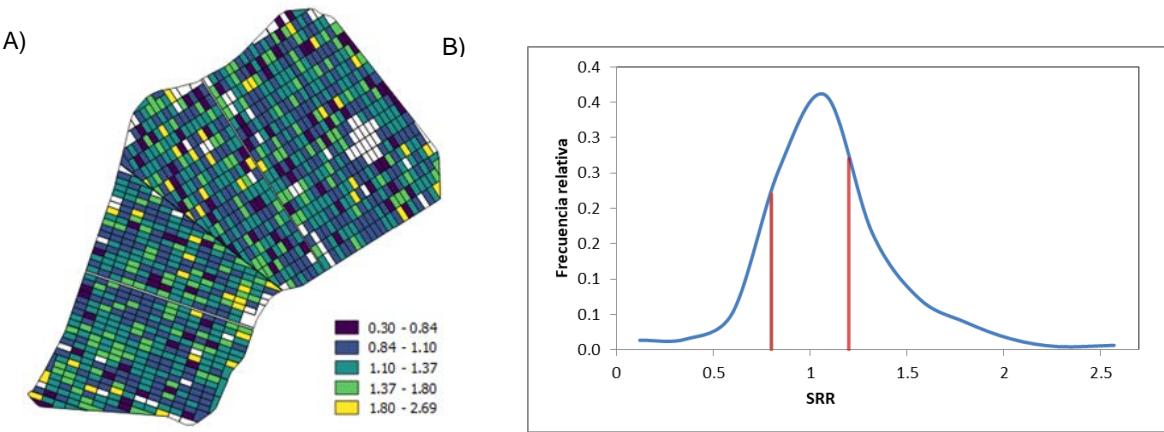


Figura 2 A) Mapa del SRR por parcela para el período 26/03/2017 al 30/09/2017. B) Frecuencia relativa del SRR

El 56% de las parcelas tuvieron SRR entre 0,8 y 1,2, por lo que en principio el riego aplicado está en torno a las necesidades de riego de los cultivos; mientras que el 13% de las parcelas tuvieron SRR < 0,8 (indicando riego deficitario) y el 30% tuvieron SRR > 1,3 (indicando sobreiego o sobreestimación de las necesidades) (Figura 2B). Un análisis detallado de las parcelas con SRR superior a 2 dejó ver que en ocasiones se debía a una infraestimación de la superficie cultivada determinada mediante teledetección. Cultivos hortícolas de ciclo corto o dobles cultivo se escaparon de la teledetección por ser la serie de imágenes insuficiente para detectarlos. Parcelas con SRR < 0,8 son esperables pues cultivos como trigo, girasol o algodón a veces se riegan deficitariamente.

A escala de parcela no se aprecia una distribución espacial concreta de los valores de suministro relativo de riego por lo que se realizó un análisis agregado del indicador a escala de estación de bombeo (Figura 3).

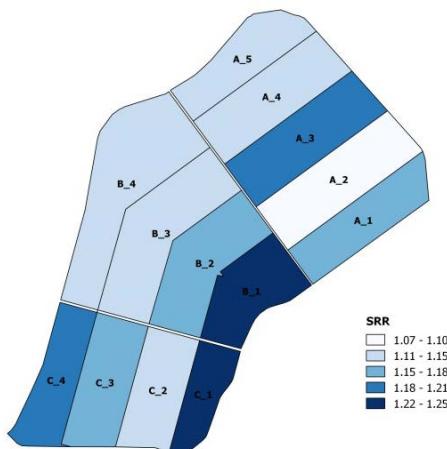


Figura 3) Mapa del SRR por estación de bombeo para el período 26/03/2017 al 30/09/2017.

En la figura 3 se puede observar una distribución del suministro relativo de riego por superficie regada por la misma estación de bombeo. Once de las trece bombas tienen valores entre 1.07 y 1.20, indicando un riego adecuado a las necesidades hídricas de los cultivos. Se encuentran valores del SRR más altos en las bombas B1 y C1 que puede deberse a la presencia de dobles cosechas hortícolas en la zona. En la tabla 3 se realiza un análisis más detallado de los valores obtenidos por bombas y por subsector (A, B y C)

Tabla 3. Suministro relativo de riego por estación de bombeo y subsector.

Sector	Bomba	Area (ha)	Agua suministrada (mm)	Necesidades netas de riego (mm)	SRR
A	1	971	512	447	1.15
	2	1310	449	421	1.07
	3	1250	514	434	1.18
	4	1222	520	464	1.12
	5	848	542	479	1.13
SRR - Sector A					1.11
B	6	909	518	417	1.24
	7	1220	510	439	1.16
	8	1507	517	455	1.14
	9	1663	514	461	1.11
SRR - Sector B					1.15
C	10	549	594	474	1.25
	11	925	511	450	1.13
	12	1039	525	451	1.16
	13	847	548	460	1.19
SRR - Sector C					1.16

La zona regable en su totalidad presentó un valor en el SRR de 1.14, dentro de los límites esperados de acuerdo al modelo de agricultura que se practica en la zona regable y sus necesidades de lavado.

5) Conclusiones

Factores como el tipo de suelo, tamaño de la parcela, experiencia del agricultor y sistemas de riego influirán en los valores del SRR (Lorite et al. 2004); a falta de datos específicos y cuantificables a nivel de agricultor; las técnicas que combinan la teledetección con medidas de agua aplicada permiten a los gestores de comunidades de regantes calcular el suministro relativo del riego para tener una primera aproximación de qué uso del agua se está haciendo a nivel de zona regable y parcela y poner el foco sobre parcelas con extremos, que pueden indicar déficit o uso excesivo de agua. Esta aplicación es útil para el gestor de la comunidad de regantes pero podría serlo también para los agricultores y la agencia gestora de la cuenca hidrográfica. La teledetección permite agregar la información a mayor o menor escala de detalle en función de las necesidades del usuario.

Una de las hipótesis que surgen al obtener valores del suministro relativo de riego ligeramente por encima de 1, es que el Sector BXII del Bajo Guadalquivir se caracteriza por ser una zona regable de máxima producción agrícola donde se cultiva durante todo el año, no obstante sería conveniente llevar a cabo un análisis más pormenorizado de los datos para constatar dicha hipótesis.

Otro de los factores que pueden indicar un suministro relativo de agua por encima de 1 son las condiciones salinas del suelo. Cuando la escasez de lluvias afecta a la zona los suelos incrementan su contenido en salinidad, siendo necesario realizar un riego para lavar las sales y evitar que el estrés salino afecte al desarrollo del cultivo.

Los diferentes sistemas de riego y la gestión de los mismos así como las condiciones climáticas específicas de cada zona determinarán unos u otros valores en el Suministro Relativo de Riego. Estudios previos a este trabajo muestran valores del SRR del 0.6 en la colectividad de Santaella donde predomina el riego deficitario por tener una amplia superficie de olivar tradicional (García-Vila et al. 2008); estos valores no indican que el manejo del riego sea mejor o peor en una u otra zona regable, sino que reflejan y caracterizan la realidad agrícola de cada zona estudiada. No obstante, valores muy superiores a 1 sí podrían indicar que el riego se está aplicando inadecuadamente.

A partir de la información presentada en este trabajo se abren líneas de investigación para calcular el suministro relativo de riego en función de qué cultivos se estudian así como entre otras zonas regables.

6) Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al proyecto DIANA enmarcado en el Horizonte 2020 y en el programa Copernicus de Observación de la Tierra llevado a cabo por la Unión Europea.

7) Bibliografía

Akdim, N., Alfieri, S. M., Habib, A., Choukri, A., Cheruiyot, E., Labbassi, K., & Menenti, M. (2014). Monitoring of irrigation schemes by remote sensing: Phenology versus retrieval of biophysical variables. *Remote Sensing*, 6(6), 5815-5851.

García-Vila, M., Lorite, I. J., Soriano, M. A., & Fereres, E. (2008). Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. *Agricultural Water Management*, 95(4), 458-468.

Glenn, E., Huete, A., Nagler, P., & Nelson, S. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), 2136-2160.

González-Dugo, M. P., Escuin, S., Cano, F., Cifuentes, V., Padilla, F. L. M., Tirado, J. L., Oyonarte, N., Fernández, P. & Mateos, L. (2013). Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. II. Application on basin scale. *Agricultural water management*, 125, 92-104.

Lorite, I.J., Mateos, L. & Fereres, E. (2004). Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment II. Variability among crops and farmers. *Irrigation Science*, 23(2), 85-92.

Mateos, L, González-Dugo, M.P., Testi, L., Villalobos, F.J., 2013. Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation. *Agricultural Management*.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W. & Sehell, J. A., (1974): Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.