

# ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL RIEGO CON AGUAS REGENERADAS SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO DE TALLO Y DATOS MULTIESPECTRALES OBTENIDOS CON SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN EN CÍTRICOS

Pérez-Cutillas P.<sup>2</sup>, Alarcón J.J.<sup>1</sup>, Nicolás E.<sup>1</sup>, Erena M.<sup>2</sup>, Baños I.<sup>2</sup>, Sanchez D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). Campus Universitario de Espinardo. Murcia. C.P. 30100

<sup>2</sup> Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). C/Mayor s/n, La Alberca. Murcia C.P. 30150

## Resumen

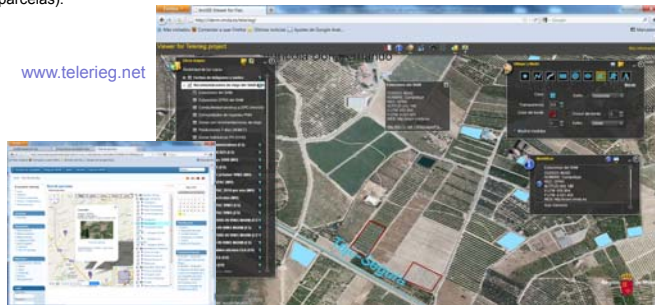
Este estudio se enmarca dentro de las investigaciones llevadas a cabo en parcelas experimentales de diferentes Centros de investigación (IMIDA, CEBAS, UPCT y IVIA) y que colaboran en el proyecto TELERIEG, con el objetivo de perfeccionar los métodos de riego en los cultivos de regadío de la Región de Murcia, contribuyendo de manera notable a la gestión de la sequía. El trabajo se realizó en dos parcelas de cítricos (mandarinos y pomelos) donde se aplicaron varios tratamientos de riego diferentes, lo que generó distinto grado de déficit hídrico en los árboles estudiados. También se han empleado tres fuentes de agua de riego de diferente naturaleza y calidad para su control en la evolución de los cultivos. Esta variabilidad en la situación hídrica de los árboles fue medida en superficie por medio del potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_s$ ), y desde el aire por medio de la captación de imágenes medidas con una cámara multispectral que permitieron estimar los valores del espectro infrarrojo cercano (NIR) y del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

## 1- Introducción y Objetivos

La depuración y reutilización de aguas regeneradas en la Región de Murcia ha experimentado un auge muy importante en la última década. Por otro lado, investigaciones que aborden la interacción de estas aguas de baja calidad con estrategias de riego deficitario controlado (RDC) son de gran interés en zonas con infradotación hídrica como es el sureste español. Atendiendo a estos criterios, el objetivo de este trabajo fue el de evaluar los efectos que el riego deficitario controlado, aplicado con aguas de diferente calidad, tiene sobre el potencial hídrico del tallo en cítricos, y la evolución de algunos parámetros obtenidos con sistemas de detección terrestre utilizando imágenes de alta resolución con información del infrarrojo cercano.

## 2- Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en el periodo estival de 2009, y fue llevado a cabo en dos fincas comerciales situadas en Molina de Segura (Murcia), que han colaborado con proyecto Telerieg a través del CEBAS, junto con otros ensayos que se han llevado a cabo en diferentes parcelas experimentales, con varias especies frutales y diferentes tipos de tratamientos (Figura 1: Web proyecto y situación de las parcelas).



En un caso, sobre un cultivo de pomelos de 4 años de edad (cv. Star Ruby) injertados sobre patrón Macrophylla, y en otro, sobre mandarinos de 7 años de edad (cv. 'Orogrande) injertados sobre patrón Citrange carrizo.

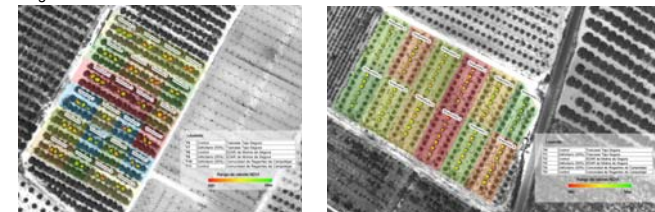


Figura 2. Tratamientos de riego en parcela de pomelos en Campotejar (Molina de Segura).

Figura 3. Tratamientos de riego en parcela de mandarinos en Campotejar (Molina de Segura).

Se emplearon tres fuentes de agua de riego: la primera procedente del trasvase Tajo-Segura, de buena calidad agronómica; la segunda procedente de la EDAR de Molina de Segura, caracterizada fundamentalmente por su elevada salinidad; la tercera fuente de agua procedía de la Comunidad de Regantes de Campotejar, y se trata de una mezcla de aguas de pozo y depuradas utilizadas en diferente proporción en función de la disponibilidad de cada una de ellas (Figuras 2 y 3). La Conductividad Eléctrica (CE) de las distintas fuentes de agua tuvo un valor medio a lo largo de todo el ciclo de producción de 1,2, 3,4 y 2,5 dS/m para el agua del trasvase, agua procedente de la EDAR y agua de la C.R. Campotejar, respectivamente.

Se aplicó riego por goteo, utilizándose un único lateral de riego por fila con tres goteros por planta, que arrojaban un caudal de 4 l h<sup>-1</sup>. Se establecieron dos tratamientos de riego para cada calidad de agua, un tratamiento de riego control en el que se regó satisfaciendo los requerimientos hídricos del cultivo (100% ETC) y otro en el que se sometió al cultivo a un tratamiento de RDC que consistió en reducir los aportes de agua con respecto al tratamiento control en un 50% durante la segunda fase de crecimiento del fruto (finales de junio hasta mitad de agosto).

Siguiendo la técnica descrita por Scholander et al. (1965) y Turner (1988), el potencial hídrico del tallo a mediodía se midió en hojas envueltas en papel de aluminio al menos dos horas antes de las medidas con cámara de presión tipo Scholander-Hammel (Soil Moisture, mod. 3000). La presión se incrementó a razón de 0,03 MPa s<sup>-1</sup> utilizando gas nitrógeno.

Para la obtención de las imágenes de estas áreas de estudio, que nos permiten correlacionar los datos multispectrales con los valores obtenidos en campo para la caracterización del estado fisiológico de la planta, se ha utilizado una cámara multispectral (ADS40) transportada en un avión tipo Partenavia P68C, obteniéndose una resolución espacial para la imagen de 35 cm por píxel y radiométrica de 16 bits sensor. La fecha del vuelo se realizó el 14 de Agosto de 2009, coincidiendo con la toma de datos en campo.

Una vez recibidas las imágenes obtenidas de las diferentes parcelas en estudio, se ha procedido a su análisis exhaustivo con herramientas SIG para la obtención de los datos pertenecientes al infrarrojo. Para ello, se han localizado en la imagen todos los cultivos de cada una de las parcelas que han entrado a formar parte del trabajo con la ayuda de las coordenadas tomadas en campo con GPS. Seguidamente se digitalizó el perímetro de todos los cultivos para generar unas "máscaras" de corte para extraer los datos de las imágenes, pero previamente a esto se realizó una eliminación de los píxeles exteriores con el fin de minimizar el efecto borde y dejar fuera de los análisis los posibles "ruidos" que pudieran producir la "línea de suelo" (Lychak, O et al. 2000), es decir, valores o información que no se correspondan estrictamente con los que realmente buscamos en los árboles en estudio. Con estos elementos "máscaras" mejor definidos, se inicia el proceso de extracción de los datos del espectro infrarrojo (IR) pertenecientes a las imágenes captadas, con los que se han obtenido un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de sobra conocido y acreditado por numerosos trabajos para conocer el estado de la vegetación (Crippen, R. E. 1990), y que también han intervenido en el análisis estadístico realizado para este trabajo.

## 3- Resultados y Discusión

En la primera fase del trabajo se han aplicado una serie de técnicas de análisis SIG con la finalidad de extraer los datos espectrales proporcionados por las imágenes y concretado a los cultivos en estudio, como unidad referencial de cotejo a los datos medidos en campo. Y continuar con una segunda fase del trabajo basada en la elaboración de una serie de análisis estadísticos utilizando una serie de programas informáticos, de los que cabe mencionar software SPSS bajo sistema Windows y el software R aplicado en el sistema operativo LINUX.

En el experimento en mandarinos pudimos observar que el riego deficitario controlado afectó al potencial hídrico de tallo, de modo que los árboles sometidos a tratamiento control siempre mostraron valores más elevados de potencial hídrico que aquellos sometidos a déficit hídrico (tabla 1). Utilizando el test U de Mann-Whitney para poder comparar las variables que componen los aportes hídricos de los tratamientos llevados a cabo en esta parcela obtenemos la siguiente tabla:

	$\Psi_s$	NIR	NDVI
Mann-Whitney U	2,500	37,000	40,000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001	.757	.965

Tabla 1. Test U de Mann-Whitney

Para las tres variables ( $\Psi_s$ , NIR, NDVI) comparadas con las poblaciones de Aporte Hídrico (Control y Deficitaria), podemos decir que se han encontrado diferencias significativas según el aporte hídrico para  $\Psi_s$  solamente (U=2.5 p=0.001).

Pero atendiendo a la calidad de agua utilizada en los diferentes tratamientos, se pudo observar que la variable NDVI mostraba variaciones significativas en función de la calidad de agua empleada.

Para ello hemos utilizado un test de Kruskal-Wallis en el que hemos encontrado diferencias significativas para la variable NDVI. Con este tipo de test podemos encontrar estas similitudes para cualquiera de las tres variables, pero lo que no nos indica que par de tipos de agua es diferente, por lo que se decide a realizar un nuevo test (NPar test) (Andy Field, 2009), en el que se pueda encontrar relaciones por pares de variables.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los U test de Mann-Whitney:

En el primer caso se comprueba la correlación entre las variables de calidad de agua aportada al riego de tipo Buena y de tipo Intermedia (tabla 2).

	$\Psi_s$	NIR	NDVI
Mann-Whitney U	10,000	5,500	13,000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.195	.045	.423

Tabla 2. Test U de Mann-Whitney

En este segundo caso se comprueba la correlación entre las variables de calidad de agua aportada al riego de tipo Buena y de tipo Mala (tabla 3).

	$\Psi_s$	NIR	NDVI
Mann-Whitney U	12,500	10,000	4,000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.375	.200	.025

Tabla 3. Test U de Mann-Whitney

Y finalmente es esta tabla se muestra la correlación entre las variables de calidad de agua aportada al riego de tipo Intermedia y de tipo Mala (tabla 4).

	$\Psi_s$	NIR	NDVI
Mann-Whitney U	15,000	9,000	5,000
Asymp. Sig. (2-tailed)	.626	.150	.037

Tabla 4. Test U de Mann-Whitney

De la información extraída de estos análisis podemos concluir que no hubo diferencias significativas en el comportamiento de NDVI entre los árboles regados con agua de buena calidad (Trasvase) y agua de calidad intermedia (Comunidad de Regantes). Sin embargo, si encontramos diferencias significativas entre los registros de NDVI tomados sobre árboles regados con agua del Trasvase y los regados con agua procedente de la EDAR, y finalmente también hubo diferencias significativas en la variable NIR entre los registros obtenidos en los árboles regados con aguas de baja calidad (EDAR) y aquellos regados con aguas de calidad intermedia (Comunidad de Regantes).

En el caso del pomelo, al igual que ocurría en el mandarino, los tratamientos de riego deficitario generaban diferencias significativas en el comportamiento del potencial hídrico del tallo, presentando los tratamientos control valores más elevados que los tratamientos deficitarios. También se han encontrado en los pomelos regados con diferentes tratamientos de calidad de agua diferencias significativas pero en este caso en los valores de la variable NIR.

Para corroborar los supuestos del modelo ANOVA se empleó el test de Sapiro-Wilk y Levene. Así que en el siguiente cuadro (tabla 5) vemos los resultados extraídos de este análisis, en el que entran a formar parte como variables dependientes los datos correspondientes a  $\Psi_s$ , NIR y NDVI.

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
AHídrico	$\Psi_s$	35,042	1	35,042	34,800	.000
	NIR	21420,375	1	21420,375	.333	.571
	NDVI	1137663630,042	1	1137663630,042	2,392	.139
TAgua	$\Psi_s$	5,396	2	2,698	2,679	.096
	NIR	457534,750	2	228767,375	3,559	.050
	NDVI	1776264131,396	2	888132065,698	1,867	.183

Tabla 5. Test U de Mann-Whitney

De esta tabla, podemos extraer que para el  $\Psi_s$ , los diferentes Aportes Hídricos resultan factores significativos (F=34.800 p<0.00). También para la variable NIR, resultado significativo el factor Tipo de Calidad de Agua aportada (F=3.559 p=0.05), pero en menor medida. Mientras que el efecto interacción, es decir que el efecto combinado del Aporte Hídrico y del Tipo de Agua, no resulta significativo para ninguna de las variables.

Con los valores obtenidos para los datos extraídos del NDVI, se decide realizar, al igual que en el caso de los mandarinos, un nuevo U-test de Mann-Whitney. Y con el análisis de estos datos podemos observar una significación del NIR, y podemos pensar que puede deberse a diferencias entre agua procedente del Trasvase con las otras los aportes de los otros dos tipos, ya que los tipos de aguas procedentes de la EDAR y aquellos regados con agua de calidad intermedia (Comunidad de Regantes) entre sí no parece que se diferencian. Así que podríamos afirmar que el NIR nos diferencia el Agua Buena del resto, pero no las otras entre sí.

## 4- Conclusiones y Recomendaciones

Como conclusiones finales, podemos destacar que los valores del potencial hídrico del tallo y los parámetros de teledetección empleados en este ensayo, nos dan informaciones complementarias sobre el comportamiento de los árboles sometidos a distintos tratamientos de riego. El riego deficitario generó cambios, temporales y limitados, en la situación hídrica de los árboles que fueron registrados por la disminución del potencial hídrico del tallo en el momento del muestreo. Sin embargo, la aplicación de aguas de distinta calidad a lo largo de un periodo largo de tiempo, generó variaciones significativas en los datos multispectrales (NIR) registrados en árboles regados con tratamientos de calidad de agua diferente.

## 5.- Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EU del programa SUDOE Telerieg-SOE1/P2/E082.