

ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS VALORES OBTENIDOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN DE PRECISIÓN CON EL CONTENIDO EN NITRÓGENO Y CLOROFILA EN HOJA EN CÍTRICOS

P. Cutillas; M. Erena, I. Baños, J. G. Pérez, P. Botía, J. M. Robles y M. I. García.

*Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).
Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Pedro.perez13@carm.es*

RESUMEN

Este trabajo se enmarca dentro de las investigaciones, que se llevan acabo en las parcelas experimentales del IMIDA, para el perfeccionamiento de 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 desarrollo del trabajo se ha centrado en la correlación de las variables físicas obtenidas en campo de una parcela de cítricos y una imagen con información del infrarrojo cercano de alta resolución, obteniéndose unos valores que nos ayudan a automatizar tareas para conocer el estado hídrico de otras parcelas. El esfuerzo de este estudio se centra en minimizar los efectos de la escasez de agua en un área tan sensible a los procesos generados por la sequía, y a la mejora de los sistemas agrarios de nuestro territorio.

ABSTRACT

This work is part of the ongoing research being carried out in IMIDA experimental plots for the improvement of irrigation methods used in agriculture in the region of Murcia, contributing significantly to better drought management. Research focused on the correlation of physical variables collected in a plot of citrus trees with data of high-resolution near-infrared images. Values obtained by this correlation help us to automate tasks aimed at estimating the water status of other plots. This study concentrates on minimizing the impact of water shortages in the Region of Murcia, which is very sensitive to drought, and on improving the agricultural systems in the region.

Palabras clave: Teledetección, sequía, relaciones hídricas, infrarrojo, Nitrógeno, Clorofila, cítrico.

INTRODUCCIÓN

Los procesos generados por las sequías afectan de manera considerable a la agricultura, especialmente en el sureste peninsular, caracterizado por tener un clima semiárido. De esta manera, la infradotación hídrica se convierte en nuestra zona en el factor limitante de la producción, por lo que el presente trabajo se centra en la caracterización del estrés hídrico provocado en los cultivos de cítricos, siendo estos uno de los cultivos más importantes de España, ya que representan una de la primeras partidas de ingresos en el capítulo general de las exportaciones nacionales.

En los últimos años se ha producido un desarrollo de los sistemas de detección terrestre con

la aparición de nuevos sensores con mayores y mejores prestaciones, lo que ha ayudado a la mejora de los estudios realizados sobre coberturas de la superficie terrestre. En el ámbito agrícola, estas herramientas han contribuido al avance de la agricultura de precisión, mejorando los aspectos agronómicos, reduciendo los impactos ambientales vinculados a la actividad agrícola y optimizando los costes de producción.

En el presente estudio, utilizando la información obtenida a partir de imágenes de alta resolución, se pretende analizar la correlación entre los datos procedentes del infrarrojo cercano con los valores obtenidos en campo para la caracterización de los nutrientes en planta, concretamente el nivel de nitrógeno y el contenido de clorofila en hoja.

MATERIAL Y METODOS

El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental del IMIDA de 2 ha ubicada en el término municipal de Torre Pacheco situado al sureste de la Región de Murcia (Figura 1), en árboles de 7 años de edad de la variedad de

limonero ‘Verna’ injertada sobre naranjo amargo y *Citrus macrophylla* y con un marco de plantación de 5 x 4 m. Se establecieron dos tratamientos de riego, un tratamiento control (100 % ETC) y un tratamiento al que se le suprimió el riego durante 50 días hasta que la planta alcanzó un nivel de estrés hídrico severo. Tras este periodo de estrés, se reanuda el riego con normalidad.

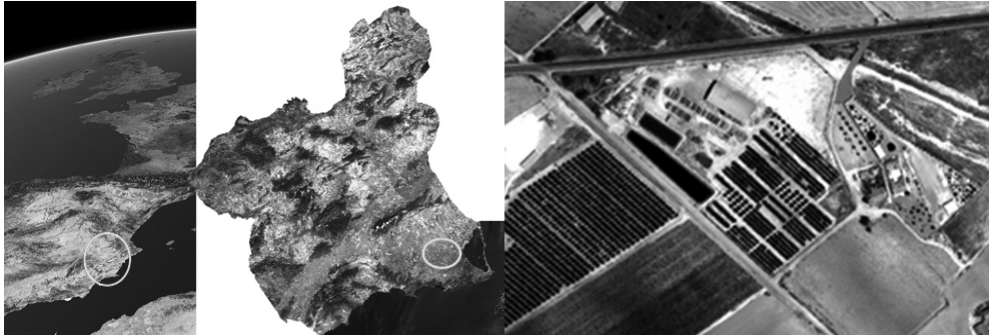


Figura 1. Localización de la parcela experimental.

Para el control del estado hídrico de la planta se tomaron medidas, en el momento de máximo estrés hídrico, de los diferentes nutrientes en hoja de la planta. Los valores del contenido de nitrógeno en hoja se determinaron mediante el método Kjeldahl (Kjeldahl, J. 1883) practicado en laboratorio. Así mismo, las concentraciones de clorofila en hoja fueron obtenidas con las ecuaciones de Inskeep and Bloom (Inskeep W.P. et al. 1985), a partir de los datos de absorbancia leídos por el espectrofotómetro (modelo UV2401PC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eliminación del riego supuso un aumento del contenido en nitrógeno en hoja. Tras 50 días sin riego, se alcanzaron las máximas diferencias entre tratamientos obteniendo valores de N significativamente más bajos en árboles injertados sobre naranjo amargo (2,353) que sobre *C. macrophylla* (2,798) (Tabla I). Los valores de N del tratamiento control fueron también más altos para *C. macrophylla* (2,217) que para en árboles injertados sobre naranjo amargo (1,942). Por lo que cabe deducir, que tanto el patrón como el tratamiento, influyen de manera significativa en el contenido de nitrógeno en hoja.

Para contrastar los valores obtenidos en las parcelas se ha obtenido una imagen con información del infrarrojo cercano, realizada por un vuelo el mismo día de la toma de datos en campo. La cámara utilizada para la captura de imágenes es la Leica ADS40 transportada en un avión tipo Partenavia P68C, obteniéndose una resolución espacial para la imagen de 35 cm por pixel y radiométrica de 16 bits. El estudio estadístico de los resultados se realizó mediante el programa informático Statsgraphics 5.1 plus.

Tabla 1. Valores de contenido en nitrógeno en hoja (N), clorofila total (Cht Tot) en árboles de limonero ‘Verna’ injertados sobre dos patrones (naranjo amargo y *Citrus macrophylla*) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días.

		Nitrógeno (ppm - g/kg de hoja)	Clorofila (mg/g de materia seca)
N Amargo	Control	1,942	2,7
N Amargo	Sequía	2,353	3,5
C macrophylla	Control	2,217	3,2
C macrophylla	Sequía	2,798	4,3
ANOVA			
Patrón		**	**
Tratamiento		***	***
Patrón × Tratamiento		ns	ns

Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente.

Respecto a los valores de clorofila total medida en hoja, al final del periodo de estrés hídrico, se observaron significativamente más altos que en árboles sometidos al tratamiento control, siendo mayores, como en el caso del nitrógeno, en árboles C. macrophylla que en los injertados sobre naranjo amargo.

Para ambos parámetros, se constata la importancia de cada uno de los factores, tratamiento y patrón, siendo ambos estadísticamente significativos. De ello se deriva un alto nivel de dependencia entre ambas variables, obteniéndose el siguiente coeficiente de correlación:

$$N = 1,07544 + 0,36811 * \text{Chl tot} \quad - \quad r = 0,8109$$

Para el análisis de las imágenes se han obtenidos los valores correspondientes a los niveles digitales (ND) de los píxeles de las tres bandas del espectro visible y del infrarrojo cercano (IRcercano).

En el momento de máximo estrés hídrico, los ND de espectro visible rojo, verde y azul no mostraron diferencias significativas ni debido al tratamiento de sequía ni al patrón (Tabla II).

Respecto a los niveles digitales del espectro correspondiente al IRcercano, se observaron valores significativamente más bajos en los árboles del tratamiento de sequía, en ambos patrones, destacando mayores diferencias entre tratamientos en árboles de Citrus macrophylla que en los de naranjo amargo (Tabla II).

Para intentar mejorar el análisis se han introducido dos variables nuevas, a partir de dos índices de vegetación. Uno de ellos es el índice de vegetación normalizada (NDVI), calculado a partir de:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

donde las variables R y IR están definidas por las medidas de reflexión espectral adquiridas en las regiones del rojo e infrarrojo cercano, respectivamente. Estas reflexiones espectrales son en sí cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual (Sellers, P. J. 1995). El otro es un índice de vegetación transformado que se expresa en la siguiente fórmula:

$$TNDVI = \sqrt{\frac{IR - R}{IR + R}} + 0,5$$

Este índice tiene como particularidad, la mejora que ejerce sobre el NDVI, al reducir el efecto del suelo sobre la vegetación (Lychak, O et al. 2000).

Tabla 2. Niveles digitales del espectro visible y del infrarrojo cercano (IRcercano) de árboles de limonero 'Verna' injertados sobre dos patrones (naranjo amargo y Citrus macrophylla) sometidos a un tratamiento de sequía durante 50 días. Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y 'ns', indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente.

		Visible			IRcercano	NDVI	TDNVI
		Rojo	Verde	Azul			
N Amargo	Control	3503	3789	3014	6535	0,4277	0,9628
N Amargo	Sequía	3625	3770	3041	6441	0,3962	0,9462
C macrophylla	Control	3460	3691	2972	6664	0,4333	0,9656
C macrophylla	Sequía	3645	3745	3063	6406	0,4004	0,9484
ANOVA							
Patrón		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamiento		ns	ns	ns	***	***	***
Patrón × Tratamiento		ns	ns	ns	*	ns	ns

Por otro lado, es necesario conocer la relación entre la banda del infrarrojo cercano obtenida en la fotografía aérea con los niveles de

nitrógeno y clorofila en planta. Para ello se realizó un análisis de regresión múltiple de la información captada por el sensor y el contenido en nitrógeno y

clorofila en hoja de la planta (Tabla III). De este tratamiento estadístico se han obtenido unos análisis de las varianzas de los distintos valores extraídos de la información electromagnética, que explica la variabilidad de ambos factores, obteniéndose los siguientes resultados.

De este análisis se destaca la alta correlación del Nitrógeno tanto en la banda correspondiente al infrarrojo cercano, como para los datos obtenidos en los dos índices de vegetación.

También cabe destacar la importancia estadística que presentan los valores procedentes de

la banda Roja en la detección de los valores del Nitrógeno en hoja.

Sin embargo, la correlación entre los valores de la imagen captada por el sensor y el contenido en Clorofila no han sido tan satisfactorios a pesar de ser un factor que modifica de manera visible la tonalidad de las hojas, solo observándose diferencias significativas en la banda del infrarrojo.

En futuros trabajos, se intentará aumentar el número de muestras en campo para corroborar, y en la medida de lo posible, mejorar los valores estadísticos obtenidos en este ensayo.

Tabla 3. Análisis de regresión múltiple entre los niveles digitales del espectro electromagnético captado por el sensor y los niveles de clorofila en hoja de limonero ‘Verna’ injertados sobre dos patrones (naranja amargo y Citrus macrophylla). Solo se han mostrado las regresiones con una significación superior al 95%. Cada valor corresponde a la media de 10 repeticiones. *, **, *** y ‘ns’, indican diferencias significativas a $P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$ y no significativas, respectivamente.

Variable dependiente	Visible			IRcercano	NDVI	TDNVI
	Rojo	Verde	Azul			
Contenido en Clorofila	ns	ns	ns	*	ns	ns
Nitrógeno	**	ns	ns	***	**	**

BIBLIOGRAFÍA

Sellers, P. J. (1985) "Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration", *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.

Lychak, O; Jaremy, M (2000) "Influence of possible ways of remote sensing data and digital data nonlinear transformation on the results of unsupervised classification", *Conference on Applications of Digital Image Processing XXIII. San Diego, EE.UU.*

Inskeep W.P., P.R. Bloom. 1985. Extinction coefficients of Chlorophyll a and b in N, N

Dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology* 77: 483-485.

Kjeldahl, J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschreft fur Analytische Chemie*. 22: 366; 1883.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro de las actividades del proyecto PRECIRIEG (SO2/2.1/F28), enmarcado en el Programa Europeo de cooperación interregional SUDOE.