

Agricultura de precisión para discriminar la calidad del fruto del nogal

El nogal (*Juglans regia* L.) es un árbol de gran importancia económica, principalmente por el beneficio que se obtiene del fruto tanto comercial como nutricionalmente, debido a su alto valor calórico y sus altos contenidos en vitaminas y antioxidantes. El objetivo del presente trabajo es evaluar diferentes índices espectrales a partir de imágenes obtenidas del satélite SENTINEL-2 en la parada vegetativa de verano, para discriminar la calidad del fruto en una plantación intensiva de nogales en Villagarcía de Campos (Valladolid). En él se analizaron parámetros de calidad de fruto en cosecha tales como peso unitario, proteínas, hidratos de carbono, lípidos totales, fibra y minerales. En general, los resultados obtenidos muestran tendencias poco definidas en la calidad de fruto relacionada con los índices espectrales. Entre los índices estudiados, el NDVI puede ser un buen indicador para zonificar áreas de distinta calidad de fruto.

H. Martín¹, S. Álvarez¹, M.A. Gutiérrez², R. Vacas¹, J.A. Rubio¹, E. Barajas¹

¹ Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León

² Valnut. Villagarcía de Campos, Valladolid

*Este trabajo está basado en el presentado en el 1º Simposio Ibérico de Ingeniería Hortícola, celebrado en Lugo en Febrero de 2018.

El cultivo del nogal en España es muy minoritario, situándose en torno a 9.600 ha en plantaciones cultivadas, y más de 175.000 árboles de semilla (árboles silvestres) sin ningún tipo de manejo. En Castilla y León estas cifras se sitúan en torno a 450 ha cultivadas frente a más de 30.000 árboles de semilla (Anuario de Estadística Agraria, 2016). Sin embargo, únicamente las producciones bien tipificadas procedentes de plantaciones injertadas con variedades comerciales son las que marcan los precios de mercado y determinan los parámetros de calidad de la nuez. Las restantes suelen destinarse a consumo

local o a venta en grano troceado (Aleta y Rovira, 2014).

Las nueces aportan aspectos positivos en la dieta humana debido a su sabor, textura y, principalmente, a las propiedades nutricionales beneficiosas para la salud (Rangel y de la Rosa, 2013). Proporcionan altos niveles de energía, al contener proteína vegetal, ácidos grasos mono y poliinsaturados, fibra dietética, vitaminas, polifenoles, magnesio, sodio, y calcio entre otros compuestos (O'Neil et al., 2010).

Por otro lado, la teledetección mediante imágenes multiespectrales es una herramienta muy útil en agricultura, ya que

ofrece información relevante del conjunto de la parcela de forma rápida y a coste reducido (Martínez-Casanovas et al., 2010). Gracias al programa Sentinel de la ESA (European Space Agency) se pueden obtener datos de forma periódica y gratuita (Li y Roy, 2017).

El objetivo del presente trabajo es evaluar cuatro índices espectrales en la parada vegetativa de verano, calculados a partir de imágenes obtenidas del satélite SENTINEL-2, de acceso libre y gratuito, para discriminar la calidad de la nuez en madurez fisiológica y madurez de cosecha, en una plantación de nogales de 15 ha. Los índices evaluados han sido el NDVI

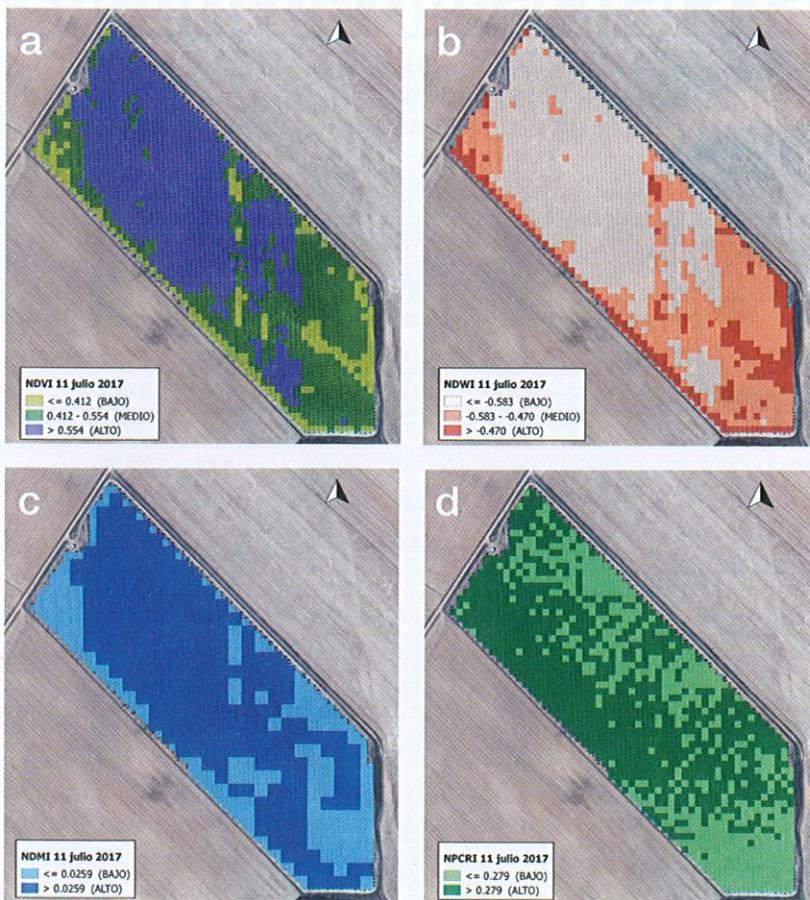


Foto 1
NDVI (a), NDWI (b), NDMI (c) y NPCRI (d) e intervalos estudiados obtenidos el 11 de julio de 2017 a través de imagen satélite Sentinel-2.

(Normalized Difference Vegetation Index), el NDWI (Normalized Difference Water Index), el NPCRI (Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index) y el NDMI (Normalized Difference Moisture Index).

Material y métodos

El trabajo se realizó en una parcela de nogales (*Juglans regia* L.) de 15 ha situada en Villagarcía de Campos (Valladolid), a 775 m de altitud y con coordenadas $41^{\circ}45'22''$ N y $5^{\circ}11'11''$ O (ETRS89 UTM30N) (**Foto 1**), con las variedades 'Chandler' a pie directo y 'Howard' sobre pie *Juglans regia*, plantada en 2006 y conducida en vaso. La variedad 'Chandler' se recolectó el 3 de octubre y 'Howard' el 17 de octubre, ambas cuando el ruzno se desquebrajaba fácilmente.

Se han calculado cuatro índices espectrales obtenidos de la imagen tomada del satélite Sentinel-2 el 11 de julio de 2017, en la parada de crecimiento vegetativo de verano. Los índices empleados para

evaluar su capacidad de discriminación de zonas dentro de la parcela en función de la calidad de la nuez son los siguientes (**Foto 2**):

$$\begin{aligned} \text{NDVI (píxel } 10 \times 10 \text{ m): } & \text{Índice de vegetación de diferencia normalizada.} \\ & \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})} = \frac{(\text{Banda } 08 - \text{Banda } 04)}{(\text{Banda } 08 + \text{Banda } 04)} \\ \text{NDWI (píxel } 10 \times 10 \text{ m): } & \text{Índice de agua de diferencia normalizada.} \\ & \frac{(\text{GREEN} - \text{NIR})}{(\text{GREEN} + \text{NIR})} = \frac{(\text{Banda } 03 - \text{Banda } 08)}{(\text{Banda } 03 + \text{Banda } 08)} \\ \text{NPCRI (píxel } 10 \times 10 \text{ m): } & \text{Índice de clorofila normalizado.} \\ & \frac{(\text{RED} - \text{BLUE})}{(\text{RED} + \text{BLUE})} = \frac{(\text{Banda } 04 - \text{Banda } 02)}{(\text{Banda } 04 + \text{Banda } 02)} \\ \text{NDMI (píxel } 20 \times 20 \text{ m): } & \text{Índice de humedad de diferencia normalizada.} \\ & \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR})} = \frac{(\text{Banda } 08_{20\text{m}} - \text{Banda } 11_{20\text{m}})}{(\text{Banda } 08_{20\text{m}} + \text{Banda } 11_{20\text{m}})} \end{aligned}$$

Los datos obtenidos se han tomado de 12 nogales (6 del cv. Chandler y 6 del cv. Howard) recogiendo 25 nueces de cada uno de ellos, a partir de una clasificación con tres intervalos de NDVI (11 de julio). Los tratamientos establecidos han sido a partir de los intervalos obtenidos por interpolación discreta con tres intervalos iguales (alto, medio y bajo) en los índices NDVI y NDWI, y dos intervalos iguales (alto y bajo) en los índices NPCRI y de NDMI. Las repeticiones corresponden a los árboles escogidos de forma que, en

función del índice estudiado, el número varía de 3 a 9.

Para evaluar la calidad de la nuez en cosecha, de una muestra de 25 nueces de cada árbol se han determinado los siguientes parámetros: el peso de nuez (fresco sin ruzno); el peso de mariposa (fresco de semilla); la fibra (%) por método enzimático-gravimétrico; el fósforo (%) por espectrofotometría UV-VIS (previa digestión ácida por vía seca), la grasa (%) por gravimetría (previa extracción soxhlet); los hidratos de carbono (%); la humedad (%) por gravimetría; los contenidos en calcio (%), el hierro ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), el magnesio (%) y el zinc ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) por espectrofotometría de absorción atómica (previa digestión ácida por vía seca); el nitrógeno (%), y las proteínas (%) por combustión directa DUMAS; y el sodio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) por espectrofotometría de emisión atómica (previa digestión ácida por vía seca). El análisis estadístico de los resultados se ha realizado mediante análisis de varianza (ANOVA) con el programa Statgraphics Centurion 17.2.

Resultados y discusión

El índice de vegetación NDVI y el índice NDWI han resultado tener un comportamiento inverso en los intervalos estudiados es decir, a medida que aumenta el NDVI disminuye el NDWI y viceversa (**Foto 2**). Se ha observado una tendencia a mostrar nueces con mayor contenido en fósforo, grasa y sodio a medida que aumenta el vigor y disminuye el NDWI, encontrándose diferencias significativas en el contenido en fósforo en detrimento de la zona con menos vigor y mayor nivel de NDWI (**Tabla 1**). Por otra parte, a medida que disminuye el vigor y aumenta el índice NDWI de los nogales se obtienen nueces con mayor peso de nuez, peso de mariposa, fibra, hidratos de carbono y proteínas. Se han encontrado diferencias significativas en el peso de nuez respecto a los tres intervalos estudiados en ambos índices. En el contenido de calcio, hierro, magnesio y zinc no se ha observado ninguna tendencia relacionada con el NDVI y el NDWI, aunque se ha observado que el contenido de magnesio y zinc fue mayor cuando el NDVI se encontraba en el rango Medio.

En el análisis de los frutos dentro de las zonas con distinto índice de humedad

Tabla 1.

Promedios en 2017 correspondientes a PN, peso de nuez (g); PM, peso de mariposa (g); HC, hidratos de carbono (%); GR, grasa (%); FIB, fibra (%); PR, proteínas (%); Ca, calcio (%); Mg, magnesio (%); P, fósforo (%); Fe, hierro (mg kg⁻¹); Na, sodio (mg kg⁻¹) y Zn, zinc (mg kg⁻¹) para los intervalos Alto, Medio y Bajo de NDVI y NDWI, y los intervalos Alto y Bajo de NDMI y NCPRI. Significación estadística (Sig): ns, no significativo; *: p<0,05; **: p<0,01. Datos con distinta letra indican diferencias significativas según el test de Fisher (LSD).

	NDVI				NDWI				NDMI			NCPRI		
	ALTO	MEDIO	BAJO	SIG	ALTO	MEDIO	BAJO	SIG	ALTO	BAJO	SIG	ALTO	BAJO	SIG
PN	12,72 ^c	14,65 ^b	16,73 ^a	**	16,73 ^a	14,65 ^b	12,72 ^c	**	14,01	16,73	*	14,56	14,95	ns
PM	6,07	6,40	6,44	ns	6,44	6,40	6,07	ns	6,29	6,44	ns	6,40	6,18	ns
HC	11,89	12,46	12,66	ns	12,66	12,46	11,89	ns	12,27	12,66	ns	12,14	12,82	ns
GR	69,60	68,22	68,03	ns	68,03	68,22	69,60	ns	68,68	68,03	ns	68,46	68,63	ns
FIB	7,25	7,60	7,73	ns	7,73	7,60	7,25	ns	7,48	7,73	ns	7,40	7,82	ns
PR	16,26	17,43	18,01	ns	18,01	17,43	16,26	ns	17,04	18,01	ns	17,37	17,09	ns
Ca	0,08	0,09	0,08	ns	0,08	0,09	0,08	ns	0,08	0,08	ns	0,08	0,08	ns
Mg	0,150 ^{ab}	0,162 ^a	0,147 ^b	*	0,147 ^b	0,162 ^a	0,150 ^{ab}	*	0,158	0,147	ns	0,155	0,155	ns
P	0,37 ^a	0,37 ^a	0,33 ^b	**	0,33 ^b	0,37 ^a	0,37 ^a	**	0,37	0,33	**	0,36	0,36	ns
Fe	19,59	12,38	17,70	ns	17,70	12,38	19,59	ns	14,78	17,70	ns	13,90	18,74	ns
Na	131	128	110	ns	110	128	131	ns	129	110	ns	133	107	ns
Zn	34,28 ^b	38,86 ^a	34,80 ^b	*	34,80 ^b	38,86 ^a	34,28 ^b	*	37,33	34,80	ns	37,97	34,16	*



Foto 2
Plantación intensiva de nogales de 15 ha en Villagarcía de Campos (Valladolid)

NDMI, el peso de la nuez es mayor en el intervalo Bajo, mientras que el contenido en fósforo es mayor en el intervalo Alto, en ambos casos con diferencias significativas (**Tabla 1**). Las nueces producidas en la zona con el NDMI Alto contienen niveles mayores de grasa, fósforo, magnesio y zinc. Los frutos producidos en la zona con valores de NDMI bajos contienen mayor contenido en hidratos de carbono, fibra, proteínas y hierro. Por otro lado, en el estudio del índice de clorofila NPCRI, los frutos del intervalo Alto alcanzan un contenido en zinc significativamente más alto que los del

intervalo Bajo. El resto de parámetros estudiados ha mostrado valores muy similares en los intervalos estudiados. Zonas de la parcela con nogales con menores valores de NPCRI han dado frutos con mayor contenido en hierro y menor contenido en sodio. En general, los índices obtenidos a partir de la imagen satélite del 11 de julio de 2017 no han discriminado claramente la calidad de fruto. Únicamente el índice de vegetación NDVI ha discriminado algunos parámetros de calidad de fruto como el peso de nuez, el contenido en fósforo, magnesio y zinc. No obstante, a tenor de

los resultados obtenidos, sería aconsejable la continuidad de la evaluación de los índices estudiados y su relación o capacidad de discriminación de los parámetros de calidad de la nuez desde la parada de crecimiento vegetativo de verano hasta el momento de la recolección.

Bibliografía

Aleta, N y Rovira, M. 2014. El nogal para fruto en España. *Vida Rural* 389: 34-37.
 Li, J. and Roy, D.P. 2017. A global analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. *Remote Sens.* 9: 902.
 MAGRAMA. 2016. Anuario de Estadística Agraria.
 Martínez-Casanovas, J.A., Agelet, J., Arnó, J., Bordes, X. and Ramos, M.C. 2010. A protocol for the zonification of intra-field vineyard variability for selective harvesting from multispectral images. *Revista de Teledetección* 33: 47-52.
 O'Neil, C.E.; Keast, D.R.; Fulgoni, V.L. and Nicklas, T. A. 2010. Tree nut consumption improves nutrient intake and diet quality in US adults: an analysis of National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 19(1): 142-150.
 Rangel, C.A. y de la Rosa, L.A. 2013. Proteínas en frutos secos: algo más que alérgenos. *Acta Universitaria* 23(5): 3-9.

Agricultura

REVISTA AGROPECUARIA • DESDE 1929



**EL CAMPO
ESPAÑOL
TAMBIÉN SE RIEGA
CON DATOS**

SANIDAD VEGETAL
Estrategias de control de
la mosca de alas manchadas

DOSIER
Digitalización

DIGITAL AGRI
MASTER EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL
DEL SECTOR AGROALIMENTARIO Y FORESTAL

"NUEVOS TIEMPOS, NUEVAS RESPUESTAS"

UNIVERSIDAD B CORDOBA
www.digitalagri.es