

CARACTERIZACIÓN DE PLANTACIONES DE OLIVARES A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT

M. F. Pérez Nores^a, V. Gonzalez^a, M. Paccioretti^b, y M. Nolasco^{a*}

^a Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina.

^b Instituto de Patología Vegetal, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

*mnicasco@agro.unc.edu.ar

RESUMEN

La teledetección permite registrar la energía reflejada por los cultivos, para estudiar su variabilidad espacial y temporal. El objetivo del trabajo fue determinar relaciones entre características de manejo cultural de plantaciones de olivo (*Olea Europaea* L.) y datos derivados del sensoramiento remoto. Ocho lotes ubicados en La Rioja fueron relevados durante el periodo 2016-2018. Se registró edad, sistema de conducción y riego. A partir de 72 imágenes Landsat 8, para cada lote se obtuvo el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), se construyó una serie temporal (2013-2019) y se calcularon estadísticos descriptivos del índice. Los resultados permitieron diferenciar plantaciones jóvenes en crecimiento, de plantaciones adultas en el zenit de la producción. La frecuencia temporal de toma de datos permitió discriminar lotes por edad, tipo de sistema de riego, identificar momentos de realización de labores específicas como la cosecha, suspensión en el suministro de agua y anomalías en las precipitaciones.

Palabras clave: NDVI – Olivicultura – Edad - Sistema de Riego - La Rioja.

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas la producción de olivo (*Olea europaea* L.) en Argentina ha experimentado un aumento considerable, convirtiéndose en el principal productor y exportador de productos olivícolas de América (Nimo, 2018). Este aumento se explica por los programas de incentivos fiscales que incluían la implantación de olivares, y por la mayor demanda de aceite de oliva en el mercado internacional (Rondanini *et al.*, 2011). La cosecha 2017/2018 produjo 43.500tn de aceite y 106.000tn de aceitunas para conserva y la exportación alcanzó las 36.000tn y 55.500tn., respectivamente (Consejo Oleícola Internacional, 2019).

En términos de superficie implantada para el año 1988 se registraron 31.745 ha dedicadas a la olivicultura en la republica argentina, de las cuales 2.900 corresponden a olivares ubicados en la provincia de la Rioja (Castillo, 2013). Para el año 2018 se estimó un área de 90.000 hectáreas a nivel país, (MAGYP, 2018) y para la provincia de la Rioja se contabilizan 26.010 ha (Nimo y Garciarena, 2017).

En los últimos años, los sistemas de producción han incorporado nuevas tecnologías a fin de aumentar la cantidad y precocidad de la producción (Trentacoste *et al.*, 2015). A diferencia de la olivicultura tradicional (Figura 1), las nuevas plantaciones son de tipo intensivas, es decir que tienen una mayor densidad de plantas por hectárea, riego localizado por goteo (Figura 2), nuevos cultivares de producción temprana y sistemas de conducción dirigidos a facilitar la cosecha mecánica (De la Rosa *et al.*, 2007). La mayor productividad y precocidad de los sistemas intensificados, permite afrontar los mayores costos que implica el establecimiento de este tipo de huertos (Ferreres *et al.*, 2012).



Figura 1. Olivar adulto, sistema tradicional con riego por inundación (Lote 4).



Figura 2. Olivar joven, sistema intensivo con riego por goteo (Lote 7)

En los agroecosistemas, la teledetección permite detectar, registrar y analizar la energía reflejada o emitida por los cultivos. Esta información puede ser obtenida para grandes áreas y de forma periódica, permitiendo estudiar la variabilidad espacial y temporal de los lotes (Mulla, 2013). De este modo es posible diferenciar tipos de coberturas agrícolas en base a su respuesta espectral. Los datos provistos por los sensores remotos han sido utilizados eficazmente en el mapeo de superficies agrícolas (Nolasco *et al.*, 2015), en análisis fenológicos, y determinación de rendimientos (Sayago *et al.*, 2018).

Diversos autores han aplicado los datos espectrales al mapeo de olivares comerciales. Noori y Panda (2015), obtuvieron buenos ajustes al relacionar características estructurales y fisiológicas de plantas de olivo en Irán, con índices espectrales. Kefi *et al.* (2016), en Túnez, identificaron plantaciones de olivo con y sin riego utilizando índices de vegetación y de sequía. Rubio Delgado *et al.* (2018), relacionaron índices espectrales con el contenido de Cloro/Nitrógeno en hoja a lo largo del ciclo fenológico de olivares en España. En Argentina, De Salmuni *et al.* (2007) utilizaron datos de Landsat 5 para identificar áreas irrigadas en la provincia de San Juan, entre las que se encontraban lotes de olivo. Sin embargo, estudios dirigidos a diferenciar características de las plantas y prácticas de manejo de olivares en Argentina, aún están faltando. El objetivo del presente trabajo fue determinar relaciones entre los datos derivados de imágenes satelitales y las características diferenciales de manejo cultural de las plantaciones de olivo. Específicamente, el estudio se centró en las variables variedad, edad, sistema de riego, y momento de cosecha de distintos lotes de olivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en Aimogasta (departamento Arauco, La Rioja) sobre huertos de diversas variedades comerciales de olivo. La zona presenta un suelo de textura arenosa con un contenido de grava del 13%, y una profundidad de aproximadamente 1,5m (Correa Tedesco *et al.*, 2010). La precipitación media anual es de 130mm, concentrada como lluvias torrenciales en el verano. El régimen térmico se caracteriza por elevados valores que limitan la plantación de variedades que poseen requerimientos de frío para romper la dormición. En invierno el valor promedio diario de la temperatura mínima del aire es de 4,7°C, mientras que a mediados de verano se alcanza un promedio diario de la temperatura máxima de 34,6°C. La evapotranspiración anual de referencia promedia los 1605 mm (Correa Tedesco *et al.*, 2010). El déficit hídrico que se produce, hace necesario el riego suplementario para desarrollar actividades agrícolas.

Datos de referencia a terreno

Se relevaron a campo 8 lotes de olivo durante el período 2016-2018. Para cada lote se registró localización, variedad comercial, sistema de conducción, sistema de riego y edad (Tabla 1). Adicionalmente, se hicieron dos relevamientos por cada estación del año a fin determinar la etapa fenológica, el estado fisiológico y registrar labores culturales realizadas.

Tabla 1. Descripción de lotes de olivo relevados en Aimogasta en el periodo 2016-2018.

Lote	Variedad	Edad	Sist. Cond.	Sist. Riego
1	Manzanilla	J	Int.	Goteo
2	Arauco	A	Trad.	S/riego
3	Manzanilla	A	Int.	Goteo
4	Arauco	A	Trad.	Inund.
5	Arauco	A	Trad.	Inund.
6	Aceitera	A	Trad.	Inund.
7	Picual	J	Int.	Goteo
8	Arauco	A	Int.	Goteo

Edad: joven (J), Adulto (A). Sistema de Conducción: Intensivo (Int.), Tradicional (Trad). Sistema de Riego: Goteo, Inundación (Inund). Sin Riego (S/Riego).

Datos satelitales

Se utilizaron imágenes del satélite Landsat 8 (path & row: 231/080) adquiridas durante el periodo en estudio (2013-2019). Desde la plataforma LandViewer (<https://eos.com/landviewer>) se seleccionaron aquellas sin nubosidad ni smog en la atmósfera. Los 8 lotes, con una superficie media de 13ha, fueron georreferenciados y se definieron polígonos que demarcaban los perímetros de cada huerto. Sobre cada imagen del producto NDVI, para los píxeles dentro de cada lote, se calculó el valor medio del índice. Se realizó una serie temporal relacionando los valores medios de NDVI de cada lote, con la fecha de adquisición de la imagen.

Análisis estadístico

Con los valores de NDVI por pixel, se calcularon para cada lote los valores máximos, mínimos, promedio y desvío estándar (DE). Estos estadísticos se obtuvieron para cada intervalo abril-abril y para todo el período considerado.

RESULTADOS

En las Figuras 3 y 4 se presentan las series temporales de valores de NDVI para los lotes con sistema de riego por goteo e inundación respectivamente, para el período en estudio. Esta serie exhibe un comportamiento cíclico en los valores del índice para la mayoría de los lotes estudiados. Se destacan dos etapas: una de aumento en los valores del índice entre los meses de octubre y marzo y otra de descenso

Tabla 3. Valores Máximos, Mínimos, Medios y Desvío Estándar (DE) de NDVI por lote, para cada año (periodo abril-abril).

Lote	Estadístico	Año						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Max	0,158	0,240	0,289	0,338	0,309	0,404	0,363
	Min	0,140	0,147	0,204	0,199	0,212	0,241	0,298
	Media	0,147	0,182	0,222	0,239	0,248	0,291	0,336
	DE	0,006	0,028	0,029	0,046	0,033	0,040	0,026
2	Max	0,472	0,432	0,480	0,402	0,298	0,330	0,226
	Min	0,320	0,287	0,352	0,264	0,210	0,173	0,211
	Media	0,393	0,390	0,392	0,341	0,250	0,228	0,217
	DE	0,059	0,041	0,050	0,045	0,031	0,040	0,005
3	Max	0,538	0,499	0,560	0,528	0,541	0,491	0,373
	Min	0,370	0,410	0,423	0,356	0,370	0,351	0,351
	Media	0,467	0,451	0,480	0,466	0,433	0,387	0,361
	DE	0,069	0,028	0,050	0,044	0,061	0,043	0,009
4	Max	0,410	0,479	0,513	0,480	0,471	0,494	0,445
	Min	0,296	0,330	0,344	0,292	0,395	0,348	0,421
	Media	0,367	0,419	0,398	0,425	0,427	0,429	0,435
	DE	0,039	0,044	0,047	0,054	0,025	0,041	0,009
5	Max	0,592	0,559	0,459	0,510	0,493	0,527	0,478
	Min	0,346	0,347	0,374	0,414	0,390	0,343	0,458
	Media	0,469	0,460	0,441	0,460	0,439	0,434	0,471
	DE	0,071	0,068	0,028	0,035	0,035	0,059	0,011
6	Max	0,465	0,595	0,530	0,524	0,495	0,531	0,513
	Min	0,391	0,417	0,434	0,442	0,412	0,413	0,468
	Media	0,434	0,477	0,456	0,474	0,459	0,475	0,485
	DE	0,028	0,043	0,031	0,028	0,023	0,033	0,018
7	Max	0,283	0,337	0,306	0,366	0,333	0,387	0,359
	Min	0,210	0,175	0,209	0,226	0,195	0,239	0,332
	Media	0,241	0,251	0,263	0,301	0,275	0,316	0,352
	DE	0,032	0,058	0,039	0,042	0,050	0,053	0,011
8	Max	0,430	0,424	0,487	0,525	0,541	0,497	0,491
	Min	0,334	0,386	0,412	0,433	0,431	0,439	0,473
	Media	0,391	0,408	0,435	0,480	0,491	0,465	0,484
	DE	0,035	0,013	0,023	0,026	0,038	0,019	0,007

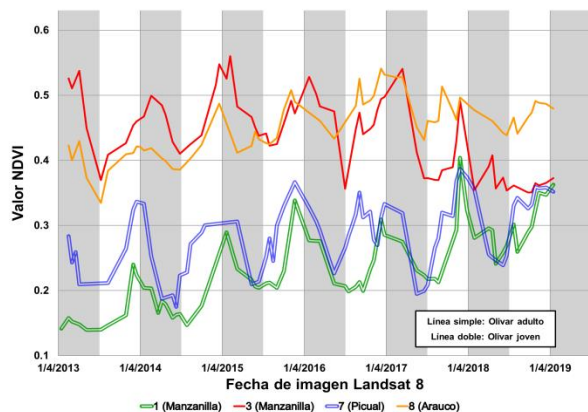


Figura 3. Serie temporal de valores promedios de NDVI para lotes de olivo con sistema de riego por goteo, Intervalos sombreados se corresponden con los periodos abril-septiembre.

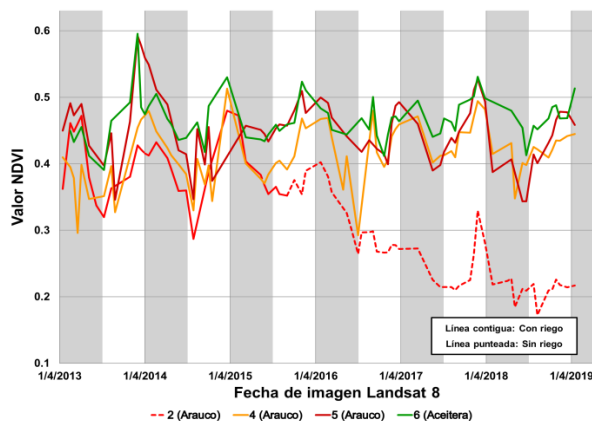


Figura 4. Serie temporal de valores promedios de NDVI para lotes de olivo con sistema de riego por inundación, Intervalos sombreados se corresponden con los periodos abril-septiembre.

entre los meses de abril y septiembre (intervalos sombreados). Así mismo en los meses de abril-mayo se aprecian bruscos descensos en los valores de NDVI coincidentes con las actividades de cosecha.

Al analizar la serie temporal de NDVI en función de la edad de la plantación, se observan dos características diferenciales. Por un lado, en las plantaciones jóvenes (Lotes 1 y 7) el promedio de los valores medios es menor a 0,3 y en las plantaciones adultas mayores a 0,4 (Tabla 2). Por otro lado, al analizar la tendencia de los valores medios de NDVI, se aprecia en las plantaciones jóvenes un aumento constante (Tabla 3). Estos olivares jóvenes fueron implantados en el año 2009-2010. Noori y Panda (2015) encontraron relaciones significativas entre parámetros estructurales (volumen de la canopia, diámetro y altura del tronco) de olivares e índices de vegetación satelitales. Al igual que el presente estudio, existen relaciones entre el aumento de la cubierta vegetal y sus valores de reflectancia. En las plantaciones adultas, los valores medios no reflejan una tendencia definida para el periodo de estudio.

Tabla 2. Valores promedio (\bar{x}) de los estadísticos descriptivos de cada lote, para el período 2013-2019

Lo te	\bar{x} máxim a	\bar{x} mínima	\bar{x} media	\bar{x} DE
1	0,30	0,21	0,24	0,03
7	0,34	0,23	0,29	0,04
3	0,50	0,38	0,43	0,04
4	0,47	0,35	0,41	0,04
5	0,52	0,38	0,45	0,04
6	0,52	0,43	0,47	0,03
8	0,48	0,42	0,45	0,02
2*	0,38	0,26	0,32	0,04

Filas sombreadas corresponden a lotes con olivares jóvenes

** Lote sin riego*

A partir del índice satelital se pueden también distinguir comportamientos atípicos que describen distintas situaciones de los olivares, por ejemplo, el cambio en las precipitaciones. La totalidad de los lotes reflejan un aumento en los valores de NDVI en enero/febrero de 2018 (Figura 3), en coincidencia con eventos extraordinarios de precipitación mayores a 110mm en el mes de enero (<https://www.tutiempo.net/clima/01-2018/ws-872220.html>).

De los ocho lotes considerados, el lote número 2 fue sometido a riego mínimo desde el año 2016, según fue informado por el productor, lo cual se manifiesta en el descenso de sus valores de NDVI a partir de dicho año. Kefi *et al.* (2016), trabajando con plantaciones de olivares en Túnez también reportaron mayores valores del índice para plantaciones con riego, respecto a las de secano.

Si se compara la variabilidad anual de los valores de NDVI (Tabla 3) en los olivares adultos regados por inundación (Lotes 4, 5 y 6), respecto al olivar adulto regado por goteo (Lote 8), se aprecian menores valores de desvío estándar en este último, en cuatro de los siete años considerados. Esta menor variabilidad puede relacionarse con el suministro continuo de agua en el sistema de riego por goteo.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se evaluó la aplicación de datos derivados de imágenes satelitales, específicamente el producto NDVI, para determinar diferentes condiciones de manejo cultural de las plantaciones de olivo.

Los resultados del trabajo verificaron la utilidad del NDVI proveniente de Landsat 8. En primer lugar, fue posible distinguir la edad de los olivares, clasificando los mismos en jóvenes y adultos. En segundo lugar, se pudo diferenciar el tipo de sistema de riego (goteo o inundación) y manejo del mismo. En tercer lugar, el NDVI resultó un buen indicador del momento de realización de la cosecha. Por lo cual este índice, es importante para monitorear y comprender el crecimiento de los olivos bajo diferentes sistemas de manejo.

Este trabajo pretende mostrar, además, que la aplicación de información satelital se constituye en un instrumento de gran valor. Efectivo para evaluar alternativas de manejo, y así determinar las mejores decisiones a asumir tanto por productores como por los organismos que diseñan las políticas y contemplan las necesidades del sector agropecuario.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan un especial reconocimiento a la docente-investigadora Mónica Bocco por su orientación en el desarrollo del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castillo P. 2013. El complejo olivícola argentino: principales tendencias para el aceite de oliva y aceituna de mesa. *Doc. CIEA 09*: 159-180.
- Consejo Oleícola Internacional. 2019. Balances Aprobados. Disponible en: <http://www.internationaloliveoil.org/>. Recuperado Agosto 2019.
- Correa-Tedesco G, Rousseaux MC, Searles PS. 2010. Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea*) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management* 97(11): 1829-1837.
- De la Rosa R, León L, Guerrero N, Rallo L, Barranco D. 2007. Preliminary results of an olive cultivar trial at high density. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(5), 392-395.
- De Salmuni GS, Velasco I, Fresina M, Flores AL. 2007. Irrigated area determination: a case study in the Province of San Juan, Argentina. *GeoJournal* 70(4): 273-279.
- Ferreres E, Goldhamer DA, Sadras VO. 2012. Yield response to water of fruit trees and vines: guidelines. En: *FAO Irrigation and Drainage Paper*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, (66), 246-497pp.
- Kefi M, Pham TD, Kashiwagi K, Yoshino K. 2016. Identification of irrigated olive growing farms using remote sensing

techniques. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 1(1): 3.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. 2018. Dirección de Prensa y Comunicación. Disponible en: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/prensa/?accion=noticia&id_info=181011201301. Recuperado noviembre 2019.

Mulla DJ. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering* 114(4): 358-371.

Nimo M, Garcarena I. 2017. I Reunión Comisión Regional Cuyo. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación. Disponible en https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/cfa/regionales/_archivos//000000_2017/000000_Cuyo/000000_1ra%20Reuni%C3%B3n/000000_Material/000000_Regional%20CUYO.pdf. Recuperado noviembre 2019.

Nimo M. 2018. Cadena de Valor de Olivo. Ministerio de Producción y Trabajo, Presidencia de la Nación.

Nolasco M, Willington E, Bocco M. 2015. Uso del suelo agrícola: comparación entre series temporales e imágenes satelitales individuales para su clasificación. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR* (26): 017-021.

Noori O, Panda SS. 2016. Site-specific management of common olive: Remote sensing, geospatial, and advanced image processing applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 127: 680-689.

Rondanini DP, Castro DN, Searles PS, Rousseaux MC. 2011. Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas y aceites* 62(4): 399-409.

Rubio-Delgado J, Vega MA, Lavado JF, Villar M. 2018. Teledetección y agricultura de precisión aplicadas al olivar tradicional. *In Sistemas de información geográfica y teledetección: aplicaciones en el análisis territorial*, 55-68pp.

Sayago S, Bocco M. 2018. Crop yield estimation using satellite images: comparison of linear and non-linear models. *AgriScientia* 35(1): 1-9.

Trentacoste ER, Puertas CM, Sadras VO. 2015. Effect of irrigation and tree density on vegetative growth, oil yield and water use efficiency in young olive orchard under arid conditions in Mendoza, Argentina. *Irrigation science* 33(6): 429-440.