

# Monitoreo de la fenología y fenometría del olivar a través de la dinámica del NDVI-MODIS en Vichigasta, La Rioja

Luna Toledo, E. S. y P.I. Figuerola

## RESUMEN

El conocimiento de la fenología, la fenometría y el comportamiento estacional de la vegetación constituye una herramienta valiosa para comprender el funcionamiento de un agrosistema. Las metodologías tradicionales para realizar observaciones "in situ" son laboriosas y costosas cuando se aplican en grandes extensiones agrícolas y/o naturales por lo que resultan inviables. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés), obtenido desde sensores satelitales, puede ser usado como un estimador de la fenología y de la fenometría vegetal, y un indicador del comportamiento estacional de la vegetación.

El objetivo de este trabajo fue explorar las relaciones entre el producto NDVI del sensor MODIS (MOD13Q1) y datos de fenología y fenometría del olivo (Variedad Picual y Arbequina) medidos in situ en una finca comercial de la localidad de Vichigasta, Provincia de La Rioja mediante metodologías convencionales de observación y medición. La dinámica del NDVI en olivo (especie perennifolia) tuvo un comportamiento distinto a otros frutales típicos de la región (ej. vid, caducifolio). En olivo se encontraron valores de NDVI máximos para el periodo otoño-invierno y valores mínimos en el periodo primavera-verano. Se observó además una relación cuadrática entre las fases fenológicas y la dinámica del NDVI, con un alto coeficiente de determinación ( $r^2=0,92$ ). Finalmente, se relacionó el NDVI con el volumen de copa ( $r^2= 0,68$ ) obteniendo una relación significativa entre ambos. El uso de esta metodología puede ser prometedora para el monitoreo remoto de variables fenológicas y fenométricas en olivares.

**Palabras clave:** Arbequina, Picual, Índice de Vegetación, Estacionalidad.

Luna Toledo, E. S. and P.I. Figuerola, 2016. Monitoring olive phenology and phenometry through NDVI - MODIS dynamics, in Vichigasta, La Rioja. RADA VII: 73-81

## SUMMARY

Knowledge of the phenology, phenometry and seasonal behavior of vegetation is a valuable tool for understanding the operation of an agricultural system. Traditional methodologies for observation "in situ" are laborious and expensive when applied in large agricultural and/or natural areas, making them nonviable. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), obtained from satellite sensors, can be used as an estimator of plant phenology and phenometry, and as an indicator of seasonal patterns of vegetation.

The aim of this study was to explore the relationship between the NDVI-MODIS product (MOD13Q1) and olive data phenology and phenometry (Var. Picual and Arbequina), measured in situ in a commercial orchard in Vichigasta, La Rioja Province, Argentina, by conventional observation and measurement methods. NDVI dynamics in olive trees (evergreen species) showed a behavior different to other typical fruits of the region (e.g., vines, deciduous). The maximum NDVI values were found in olive in the autumn-winter period and minimum values in the spring-summer period. A nonlinear relationship was also observed between the phenological phases and the NDVI dynamics, with a high coefficient of determination ( $r^2 = 0.92$ ). Finally, the NDVI was significantly related to canopy volume ( $r^2 = 0.68$ ). The use of this methodology seems to be promising for the remote monitoring of phenological and phenometrical variables in olive.

**Keywords:** Arbequina, Picual, Vegetation index, Seasonality.

*E. S. Luna Toledo: NTA EEA La Rioja, Ruta Nac. 38 Km 267, Chamental, La Rioja. E. S. Luna Toledo y P.I. Figuerola: Universidad Nacional de Chilecito, 9 de Julio 22, Chilecito, La Rioja. Correspondencia a: lunatoledo.emmanuel@inta.gob.ar*

## INTRODUCCIÓN

La Argentina es uno de los principales productores olivícolas fuera de la cuenca del mediterráneo, superando en la actualidad las 100.000 has. La mayor parte de la superficie implantada se concentra en las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza (Searles *et al.*, 2011).

El conocimiento de la fenología y la fenometría de este cultivo, constituyen un valioso instrumento para comprender el funcionamiento y la estacionalidad de este tipo de agrosistema, y sirve además como herramienta de manejo agronómico.

Características estacionales de la vegetación, tales como emergencia/ brotación y senescencia están estrechamente relacionadas a características de la atmósfera baja, incluyendo patrones del tiempo tales como características de temperatura y humedad (Reed *et al.*, 1994; Tucker *et al.*, 2001). Cambios en eventos fenológicos (patrones recurrentes del crecimiento y el desarrollo de la vegetación) pueden ser señales importantes de la variación climática interanual o de cambios ambientales locales o globales (Reed *et al.*, 1994; White *et al.*, 1997).

Si a esto le sumamos la variabilidad estacional en el crecimiento vegetativo y reproductivo propia del olivo, debida principalmente a la competencia por asimilados desencadenada por los frutos en crecimiento (Rallo & Cueva, 2008), tenemos que la fenología puede ser útil para la predicción de la producción.

Los datos fenológicos han tomado también una valoración especial debido a su utilidad como cali-

bradores y evaluadores de la información satelital, y por su importancia como variable ecológica (Tucker *et al.*, 2001).

En años recientes, la disponibilidad global de imágenes satelitales, como así también las mejoras en la resolución temporal de las mismas, proporcionan datos para monitorear eventos fenológicos (Reed, 1994). La fenología usando sensores remotos (Julien & Sobrino, 2009) es llevada a cabo utilizando principalmente series temporales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés). Este índice, puede ser usado como un estimador de la fenología y de la fenometría vegetal, y puede ayudar a comprender el comportamiento estacional de la vegetación.

El NDVI (Rouse *et al.*, 1974) es una medida adimensional derivada desde datos radiométricos, ampliamente utilizado, que sirve para caracterizar cambios espaciales y temporales de la cantidad de vegetación verde. Se basa en la relación existente entre la radiación reflejada en la región espectral del infrarrojo cercano ( $R_{IRC}$ ) que responde a la estructura de las hojas, y la radiación reflejada en la región del rojo ( $R_{Roj}$ ) que es función de la radiación absorbida por pigmentos fotosintéticos (Jensen, 2000). El NDVI se calcula de la siguiente manera:

$$NDVI = (R_{IRC} - R_{Roj}) / (R_{IRC} + R_{Roj}) \quad (1)$$

La vinculación del NDVI con la radiación fotosintéticamente activa absorbida (Choudhury, 1987) explica la relación entre las imágenes de este índice y la actividad fotosintética de la cubierta vegetal (Tucker & Sellers, 1986) teniendo en cuenta los patrones climáticos (Justice *et al.*, 1985; Potter & Brooks, 1998). Consecuentemente, variaciones

de la fenología a través de varios ciclos vegetativos pueden ser registradas por series temporales de NDVI (Anyamba & Tucker, 2005). Al ser un estimador de la actividad fotosintética vegetal, imágenes de NDVI muestran sitios con más o menos vegetación, pero también puede diferenciar sitios en donde la vegetación tiene más o menos vigor. Esto hace posible monitorear cultivos y extraer de las series de tiempo parámetros relacionados a la estacionalidad (inicio/fin de la estación de crecimiento, longitud, integral anual, etc.).

El objetivo de este estudio fue analizar la dinámica del comportamiento espectral obtenido desde imágenes satelitales MODIS a través de su producto NDVI, y comparar las mismas con observaciones in situ de fenología y fenometría en las variedades de olivo Arbequina y Picual, realizada entre octubre de 2011 y diciembre de 2013. Además se compara la dinámica anual del NDVI en olivos, con otro frutal típico de la región, pero de régimen caducifolio (vid).

## MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se llevó a cabo en la finca comercial All Pack S.A. (~1300 has) ubicada en la localidad de Vichigasta, Departamento de Chilecito (La Rioja, Argentina), a los 29° 32' Lat. S; 67° 28' Long. O, sobre la ruta nacional 74. Chilecito se ubica en la ecoregión de Monte con una temperatura media anual de 18,8°C y una precipitación media anual de 146 mm (SMN-Estadística 2001-2010). En la Figura 1 se muestra las temperaturas máximas y mínimas diarias registradas en el periodo de estudio en Chilecito-AERO del Servicio Meteorológico Nacional (29°8' Lat. S; 67°15' Long. O).

En este trabajo se evaluó la dinámica de dos lotes de olivo de 8 años de edad: uno de la variedad Arbequina y el otro de variedad Picual, cuyas dimensiones son 10,5 has y 12,2 has., respectivamente. La densidad de plantación es de 312 plantas por hectárea (marco de plantación de 8 m x 4 m).

En cada lote de Arbequina y Picual se seleccionaron diez árboles de olivo ubicados en el centro del lote, oblicuamente y equidistantes para representar el estado promedio del lote. Se midieron variables fenométricas (Fig. 2): altura, cobertura, diámetro de tronco y fenológicas (Fig. 3): descanso, brotación, floración, cuajado y crecimiento de frutos, endurecimiento de carozos y coloración de las dos variedades de olivo. Estas determinaciones se realizaron con una frecuencia mensual en el caso de las mediciones fenométricas y de frecuencia variable en el caso de la fenología dependien-

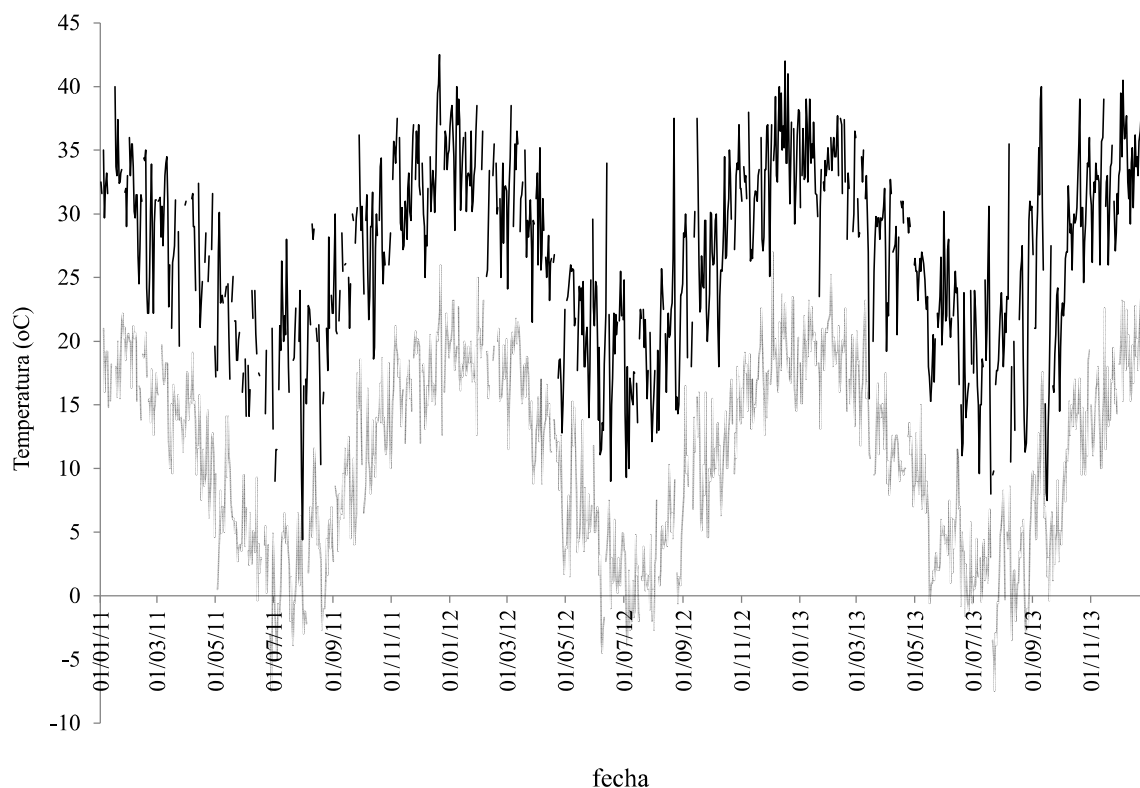
do de la energía de las fases. Las observaciones y mediciones se realizaron en parcelas comerciales, y por lo tanto sometidas a labores culturales típicas del cultivo (ferti-riego, poda, cosecha).

La poda tiene como objetivo evitar sombreamiento y mantener las dimensiones adecuadas de la plantación para la mecanización de las actividades de cosecha. La máquina cosechadora que utilizan es una *Colossus* (<http://www.maqtec.com>). La finca donde se realizaron las observaciones tiene tres modalidades de poda: Primero la poda de rebaje o topping, que se realiza mecánicamente con barra de discos rotativos y cortantes. La altura promedio de los árboles fue en el caso de Arbequina (2012) de 3,78m antes del topping y 3,53m después del mismo; y de 3,95m y 3,80m antes y después del topping del año 2013. La altura promedio de Picual (2012) fue 4,83m y 4,73m antes y después del topping, y de 4,85m y 3,98m antes y después del topping del año 2013. La poda tipo topping se realizó entre los meses de julio-agosto.

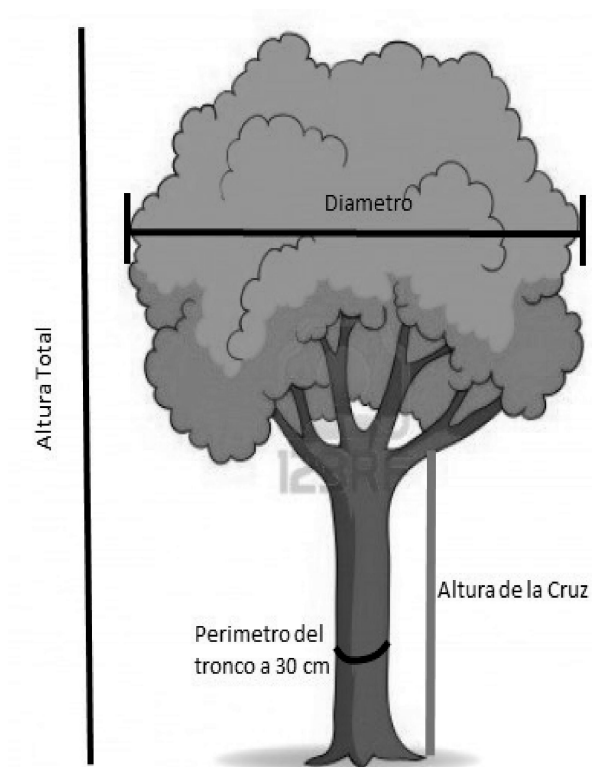
Segundo, la poda lateral que consiste en mantener un ancho del seto adecuado para la máquina de recolección, esto permite conservar el eje central y evitar que el olivar se vuelva improductivo por un excesivo sombreamiento interno dentro el seto. La maquinaria utilizada es la misma que la utilizada para el topping pero con una orientación vertical. Y tercero es la poda de ramas bajas o pollera (ramas por debajo de la altura de la cruz). La altura promedio de la cruz es de 0,97m desde el suelo (Fig. 2).

El NDVI se obtuvo desde el producto MOD13Q1 del sensor MODIS ubicado en el satélite TERRA, con una resolución de pixel 250m x 250m, y con una frecuencia temporal de observación cada 16 días. Las imágenes fueron descargadas de manera gratuita desde el sitio <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Los datos fueron procesados usando los software ERDAS y ENVI. Los parámetros de estacionalidad de las plantaciones se obtuvieron usando el software TIMESAT (Jönsson & Eklundh, 2004) que analiza las series temporales y ajusta los valores del NDVI a una curva descrita mediante un modelo matemático doble-logístico, corrigiendo de esta manera datos con ruido y/o debidos a la nubosidad. A partir de estas curvas, es posible obtener variables fenológicas tales como fecha de inicio/finalización del periodo de crecimiento, amplitud, velocidad de crecimiento, etc. Los pixeles MODIS seleccionados para el análisis de las series, corresponden a los sitios de terreno donde se realizaron las observaciones fenológicas y fenométricas.

Con la finalidad de comparar la dinámica del NDVI del olivo con otros frutales típicos de la re-



**Figura 1:** Variación de las temperaturas diarias máximas (en negro) y mínimas (en gris) en el periodo 2011-2013 (Fuente: SMN. St 87213).



**Figura 2:** Esquema de medición a campo de variables fenométricas.

gión, se seleccionó en una zona cercana a la finca de olivo, un lote de vid (especie caducifolia), con la intención de mostrar dos situaciones contrastantes.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La dinámica del NDVI en olivos es mostrada en la Figura 4. Se advierte que los valores de NDVI sobre Picual son más altos que en Arbequina debido a un mayor volumen de copa, y por lo tanto, una mayor proporción de cobertura vegetal activa. En el periodo octubre de 2011-julio de 2012, el valor promedio del volumen de copa fue: en las variedades Picual y Arbequina 20,23 m<sup>3</sup> y 10,96 m<sup>3</sup> respectivamente. Mientras que para el periodo 2012-2013, estos valores fueron de 24,32 m<sup>3</sup> y 11,30 m<sup>3</sup> respectivamente.

La Figura 5 compara valores de NDVI de lotes de olivo (Arbequina) y vid, luego de aplicarles el modelo doble-logístico. Es posible ver un comportamiento distinto de estas especies, en parcelas adyacentes. El olivo es un árbol perennifolio donde las diferencias entre valores máximos y mínimos de crecimiento a lo largo del ciclo no son tan pronunciadas como los arboles de hojas caducas. La

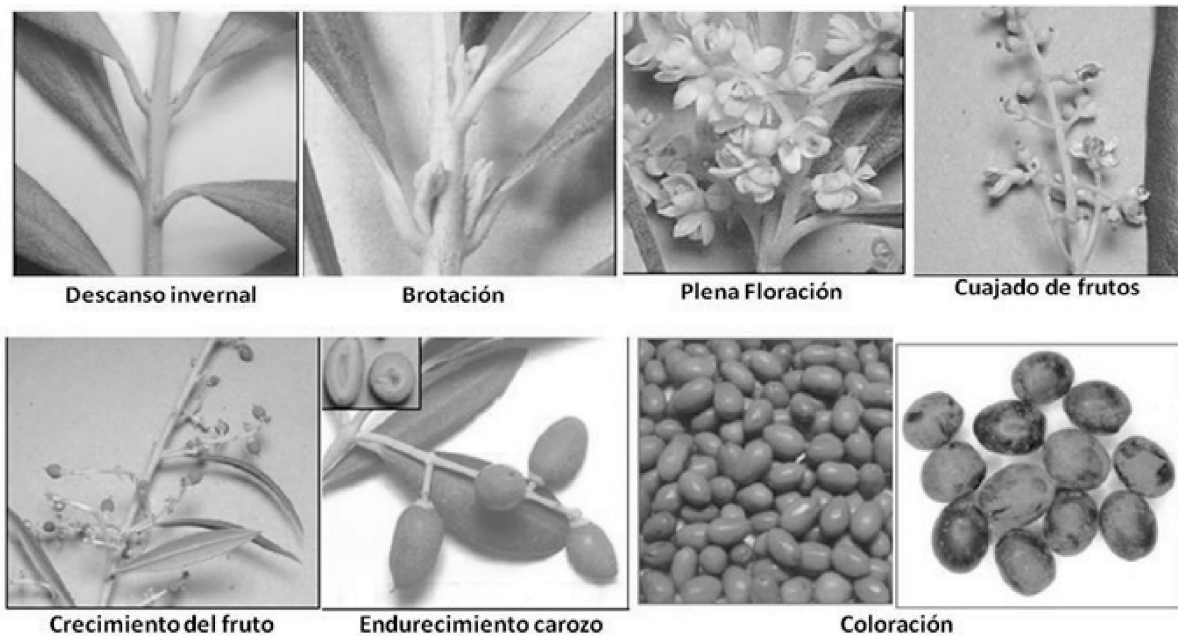


Figura 3: Fases fenológicas observadas a campo. Modificado de Aybar *et al.*, 2006.

dinámica del NDVI en olivo muestra un patrón continuo, aunque con una marcada estacionalidad. Esto puede deberse a múltiples factores entre los cuales la carga de frutos y distribución de asimilados juegan un papel fundamental (Rallo & Cuevas 2008). Otros factores ambientales como temperaturas, humedad, y factores propios de la especie

como la vecería pueden ser responsables de la estacionalidad. El análisis de datos muestra valores máximos de NDVI en el periodo otoño-invierno y valores mínimos durante el periodo primavera-verano (Figs. 4 y 5). Un comportamiento similar se observó en otra finca de la zona en la localidad de Catizaco, Chilecito (Luna Toledo & Figuerola,

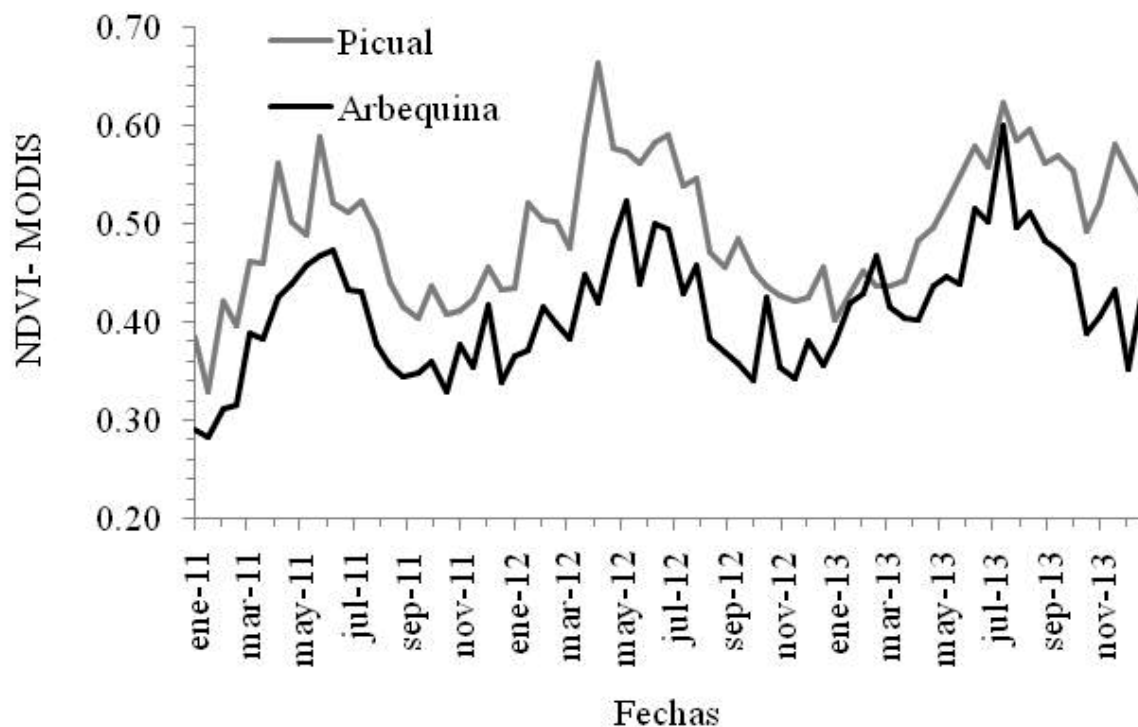
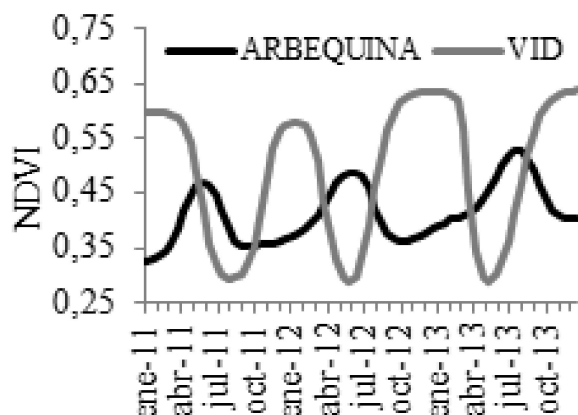


Figura 4. Variación estacional del NDVI-MODIS en pixeles correspondientes a parcelas de olivo medidas *in situ* en la localidad de Vichigasta, variedad Picual y variedad Arbequina.

2011). Cabe mencionar que el tamaño de los olivos de la zona son de mayores dimensiones que los de España, posiblemente debido a un exceso de aplicación de riego y a condiciones climáticas y de suelo más favorables para su desarrollo vegetativo (Gómez del Campo *et al.*, 2010).



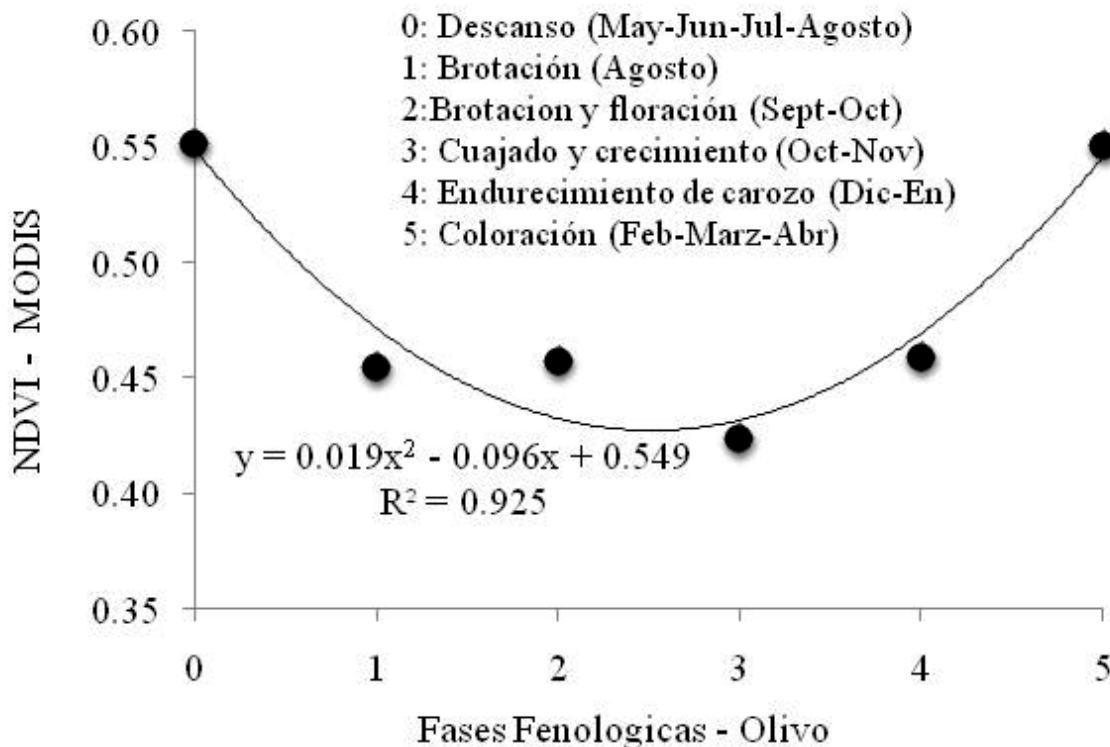
**Figura 5.** Variación estacional del NDVI-MODIS modelo doble-Logístico usando TIMESAT en pixeles correspondientes a parcelas de olivo (variedad Arbequina) y vid (plantación adyacente) en la localidad de Vichigasta.

La dinámica del NDVI de las parcelas de olivo (Figs. 4 y 5) muestra claramente que existe una estacionalidad interanual, que puede ser vinculada a

diferentes causas. Existe una tendencia marcada de disminución del NDVI en las fases de mayor actividad reproductiva: floración y fructificación (Fig. 6). Esto podría deberse a mecanismos eco-fisiológicos de fuente-sumidero. El crecimiento de brotes está muy afectado por la carga actual (años ON y OFF). Es decir, los frutos son destino principal de los asimilados de las plantas y por lo tanto el crecimiento vegetativo está determinado por la presencia de sumideros alternativos con mayor o menor capacidad competitiva (Rallo & Cuevas, 2008).

Así también, temperaturas elevadas, durante la primavera-verano (>35°C), podrían conducir progresivamente al cierre de estomas, con el consecuente impedimento de intercambio gaseoso y fotosíntesis normal, que indirectamente reducen o anulan el crecimiento de brotes (Rallo & Cuevas, 2008). Valores superiores a 35°C son frecuentes en el valle de Chilecito (ver Fig. 1), por lo cual podrían evaluarse a futuro su efecto en el intercambio gaseoso de olivos en la región. El riego en estas fincas de olivo es por goteo y no se suprime en invierno para asegurar un llenado del fruto (Figuerola *et al.*, 2013), por lo cual las temperaturas moderadas en el invierno podrían determinar que el crecimiento no cese en esta época del año.

La Figura 6 muestra la relación entre el NDVI y las fases fenológicas del olivo variedad Picual

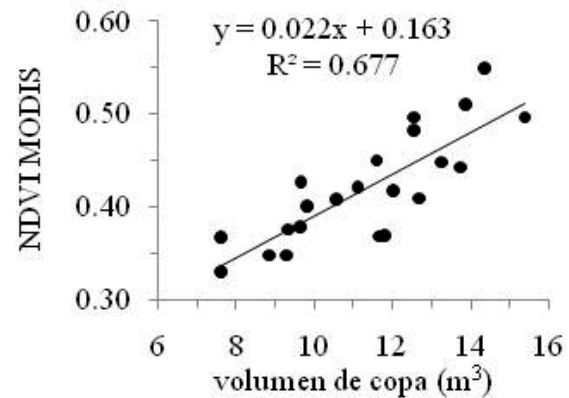


**Figura 6.** Variación de NDVI de acuerdo a fases fenológicas del olivo variedad Picual.

que comprenden: descanso, brotación, floración, cuajado, crecimiento de frutos, endurecimiento de carozos, y cambios en la coloración de los frutos. Con mínimo valor de NDVI en floración y cuajado, y máximo valor de NDVI en descanso y coloración de los frutos. La relación entre estas dos variables es de tipo cuadrática con un muy alto coeficiente de determinación ( $r^2=0,925$ ).

Una variable medida a campo que mostró tener una buena relación con el NDVI fue el volumen de copa (VC) definida por  $VC = \pi D^2 H / 6$ , donde D es el diámetro medio y H la altura del olivo. A los valores de H se le restó la altura de la cruz (Fig. 2) debido a que en esta finca existe la práctica de eliminar la sección denominada pollera. La Figura 7 muestra la dispersión entre el NDVI de un pixel de una parcela de olivo variedad Arbequina y el volumen de copa medido a campo mensualmente. El coeficiente de determinación entre ambos es  $r^2=0,677$ , siendo una muy buena relación entre datos de campo y datos obtenidos desde imágenes satelitales.

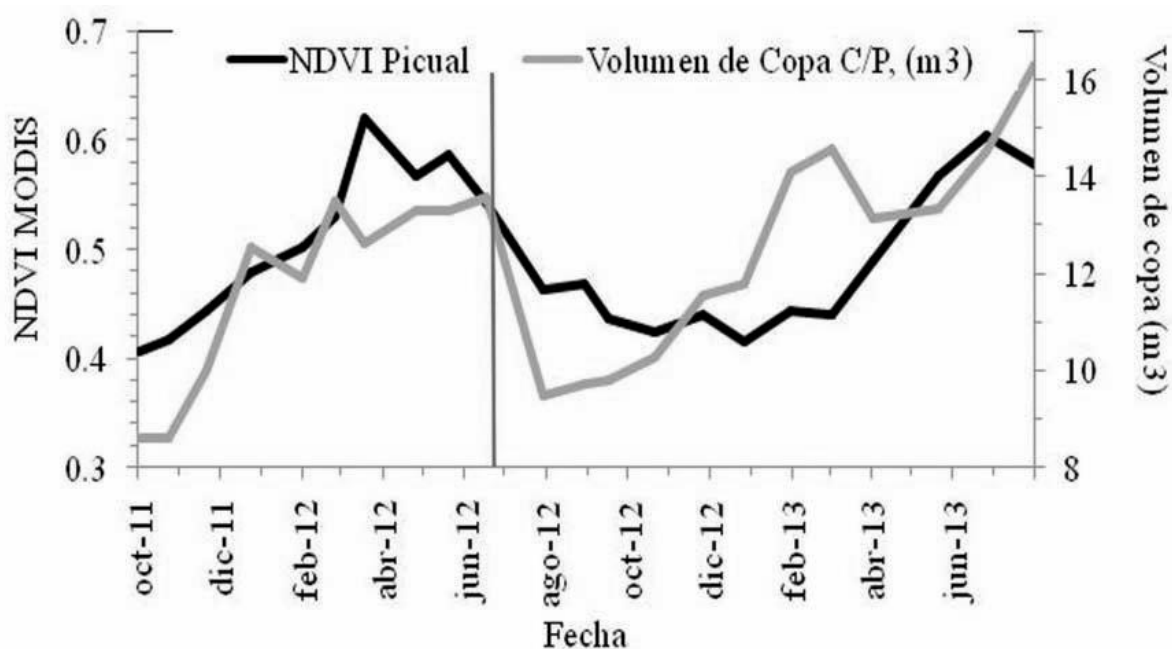
Algunos autores analizaron las causas de la variación intra-pixel e identificaron los factores claves que afectan significativamente el NDVI (Pettoirelli *et al.*, 2008; Markon *et al.*, 1995; Jones & Vaughan 2010). Ellos mencionan que los factores más importantes son la fracción de la cobertura vegetal, la altura del canopy, el vigor, las propiedades de las hojas, y las condiciones de estrés. Knipling (1970) menciona cambios significativos en la reflectancia del infrarrojo cercano cuando hay un cambio en el



**Figura 7.** Relación entre el NDVI-MODIS y el volumen de copa medido sobre árboles de olivo en la variedad de Arbequina.

porcentaje de la cobertura vegetal. Sin embargo varios autores (Pettoirelli *et al.*, 2008, Markon *et al.*, 1995) advierten que valores iguales de NDVI podrían representar diferentes condiciones en la vegetación, por lo cual se necesita tener un conocimiento previo de las características del cultivo en el campo.

La Figura 8 muestra la marcha de dos variables: los valores de NDVI y el volumen de copa del olivo variedad Picual, donde se puede observar una buena correspondencia entre ambas series. En este gráfico se observa como el evento de poda (línea roja) afecta la tendencia del NDVI y del VC, bajando significativamente el valor de ambas variables luego de la misma. Esto también ha sido observado en otros trabajos como Er-Raki *et al.*



**Figura 8.** Variación de NDVI-MODIS y el volumen de copa ( $m^3$ ). A fines de julio del 2012, se realizó la poda en la finca (línea roja).

(2013) y Pôças *et al.* (2015). El volumen de copa se recupera rápidamente entre diciembre y febrero, pero el NDVI se recupera recién en el mes de mayo en pleno descanso invernal.

El uso de índices de vegetación usando imágenes satelitales puede ser un estimador del rendimiento y una herramienta para la toma de decisiones (Valdez, 2014).

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evaluaron las relaciones entre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obtenido desde el sensor MODIS y mediciones realizadas a campo sobre parcelas de olivo.

La dinámica del NDVI para olivos de la región presenta un ciclo estacional, encontrándose valores máximos en otoño-invierno, época de descanso invernal—coloración del fruto, y un mínimo en primavera-verano correspondiente a la fase de floración-cuaje.

Se obtuvo una buena relación lineal entre NDVI y el volumen de copa, lo cual permitiría determinar esa variable fenométrica desde imágenes satelitales, aunque no se descarta la importancia de conocer el lote y su historia de manejo.

En base a los resultados podemos concluir que el NDVI puede ser usado como herramienta de estimación de variables importantes para el manejo agronómico del olivar, tales como el estado fenológico y el volumen de copa, útiles en la toma de decisiones de la producción olivícola.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación fue financiado por la Agencia Nacional de Ciencia y Tecnología (ANP-CyT –PICT #389).

## REFERENCIAS

- Anyamba, A. and C. J. Tucker, 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 596-614.
- Aybar, V.; D. Montalván, J. L. Ladux, J. Ortiz, M. Pérez y F. Fernández, 2006. Fenología del Olivar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Choudhury, B. J., 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis. *Remote Sensing of Environment*, 22(2), 209-233.
- Er-Raki, S.; J. C. Rodríguez, J. Garatuza-Payan, C. J. Watts and A. Chehbouni, 2013. Determination of crop evapotranspiration of table grapes in a semi-arid region of Northwest Mexico using multi-spectral vegetation index. *Agricultural Water Management*, 122, 12-19.
- Gómez del Campo, M.; A. Morales-Sillero, F. Vita Serman, M.C. Rousseaux y P.S. Searles, 2010. El Olivar en los Valles áridos del Noroeste de Argentina (provincia de Catamarca, La Rioja y San Juan). *Olivae* No. 114, 23-45
- Jensen, J., 2000. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Prentice-Hall, Inc.
- Jones, H. G., & Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications*. Oxford university press.
- Jönsson, P., & Eklundh, L. (2004). TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 30(8), 833-845.
- Julien, Y., and J. A. Sobrino, 2009. Global land surface phenology trends from GIMMS database. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3495-3513.
- Justice, C. O.; J. R. G. Townshend, B. N. Holben and E. C. Tucker, 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8), 1271-1318.
- Knipling, E. B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1(3), 155-159.
- Luna Toledo, E. S. y P. I. Figuerola, 2011. Series temporales de NDVI-MODIS sobre olivares y campo natural en el valle de Chilecito, La Rioja, Argentina. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari (Brasil), No14, CD 5 págs.
- Markon, C. J., Fleming, M. D., & Binnian, E. F. (1995). Characteristics of vegetation phenology over the Alaskan landscape using AVHRR time-series data. *Polar Record*, 31(177), 179-190.
- Pôças, I.; T. A. Paço, P. Paredes, M. Cunha and L. S. Pereira, 2015. Estimation of Actual Crop Coefficients Using Remotely Sensed Vegetation Indices and Soil Water Balance Modelled Data. *Remote Sensing*, 7(3), 2373-2400.
- Potter, C. S. and V. Brooks, 1998. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 19(15), 2921-2948.
- Rallo L., y Cuevas J., 2008 Fructificación y Producción. Cap. 5 en Barranco D., Fernandez-Escobar R., y Rallo L., 2008 (Eds.): *El cultivo del olivo*, Madrid, Ediciones Mundi Prensa. 6ª Edic 2008. pp. 127.



- Reed, B. C.; J. F. Brown, D. Vander Zee, T. R. Loveland, J. W. Merchant and D. O. Ohlen, 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of vegetation science*, 5(5), 703-714.
- Rouse, J., R. Hass, J. Schell, W. Deering and C. Harlan, 1974. Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. En: NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, p.:1-137.
- Searles, P. S., Agüero Alcarás, M., & Rousseaux, M. C. 2011. El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología austral*, 21(1), 15-28.
- Tucker, C. J. and P. J. Sellers, 1986. Satellite remote sensing of primary production. *International journal of remote sensing*, 7(11), 1395-1416.
- Tucker, C. J.; D. A. Slayback, J. E. Pinzon, S. O. Los, R. B. Myneni and M. G. Taylor, 2001. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, 45(4), 184-190.
- Valdez, J. D. 2014: Estudio sobre el olivo para el manejo de la producción en cultivares de Arbequina y Picual, en la localidad de Vichigasta. Tesina para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Chilecito.
- White, M.A.; P.E. Thornton and S.W. Running, 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles*, 11, pp. 217-234.