

SERIES TEMPORALES DE NDVI-MODIS SOBRE OLIVARES Y CAMPO NATURAL EN EL VALLE DE CHILECITO, LA RIOJA, ARGENTINA

¹EMANUEL S. LUNA TOLEDO Y ²PATRICIA I. FIGUEROLA

¹Ing. RNRZA, Doctorante, Ayudante de Primera, Dpto. Cs. Básicas, UNdeC, La Rioja, Arg. Tel: +54 3825 426291 etoledo@undec.edu.ar

² Doctora en Cs. de la Atmósfera, Prof. Titular, Dpto. Cs. Básicas, UNdeC, La Rioja, Arg. pfiguerola@undec.edu.ar

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – Guarapari.

Resumen

El Valle de Chilecito en la provincia de La Rioja, es una región de escasa precipitación donde las grandes extensiones de cultivos son irrigadas extrayendo agua desde las capas subterráneas. El objetivo del presente trabajo fue analizar el comportamiento del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (en inglés: NDVI) en fincas de olivos junto a factores estacionales asociados a labores de riego y de poda. Se utilizó una serie temporal (2002-2010) de imágenes NDVI-MODIS de una finca comercial y un campo natural adyacente a la misma. El NDVI es un buen estimador que permite reflejar las condiciones en las cuales se encuentran la vegetación.

La finca analizada tiene una dimensión superior a las 1.000 has y para una adecuada representación del cultivo se seleccionaron cuatro sitios en misma, cuyas fechas de plantación fueron respectivamente: 1996, 1997, 1999 y 2002. Las cuatro series temporales fueron representadas. Se obtuvo la tendencia de NDVI para el lote plantado en 2002 y la mejor aproximación fue una función inversa exponencial. Los valores anuales de NDVI fueron relacionados con valores anuales de riego cuyo coeficiente de determinación (r^2) fue: 0.83.

Palabras claves: NDVI, riego, olivos.

Introducción

La provincia de La Rioja, en el noroeste argentino, integra actualmente una de las más importantes provincias olivícolas de la Argentina en la cual el Valle de Chilecito tiene un papel destacado (Gómez del Campo et al., 2010). La implantación de olivo en La Rioja ha superado hoy las 27.000 has. El área de estudio es clasificada como árido mesotermal, según Thornthwaite con precipitación anual menor a 160 mm, que junto a la elevada demanda atmosférica obliga al uso de riego en olivares intensivos, obtenido principalmente de agua subterránea.

La teledetección es una alternativa viable en el mapeo de grandes áreas de cobertura vegetal y permite detectar cambios espaciales y temporales, con el propósito de manejar de manera sustentable los recursos naturales y agropecuarios de una región (Tsouni et al., 2008).

Los estudios ecológicos de campo demostraron que las tendencias en la fenología siguen patrones temporales bien definidos e identificables a partir del uso de datos satelitales (Zhang et al 2003). El comportamiento estacional de la vegetación es una componente importante en la interpretación de las imágenes satelitales ya que casi el 90% de la información relativa a la vegetación está contenida en las bandas roja e infrarroja. El NDVI es el índice más usado debido a que integra dos aspectos claves: La baja reflectancia en la banda del rojo (R) y la alta reflectancia el infrarrojo cercano (IR), y se calcula según la siguiente expresión:

(1)

Este índice ha mostrado tener una fuerte relación con la biomasa, el índice de área foliar (IAF) y la productividad primaria neta areal (PPNA) (Paruelo et al., 1997). Los índices de vegetación han tenido una amplia variedad de aplicaciones agrícolas tales como el monitoreo anual e interanual de la vegetación, la modelación agro-hidrológica y agro-climática, detección de cambios, detección de estrés vegetal, agricultura de precisión, evapotranspiración, estimaciones de producción, análisis de sequías, estimaciones biofísicas de parámetros de la vegetación, estudios epidemiológicos, etc. (Huete et al., 1999).

Existen relativamente pocos estudios que cuantifiquen la relación entre el NDVI y el riego, pero es de esperarse que un aumento del riego incremente los valores de NDVI. Por lo cual la información satelital puede ser útil en la programación de riegos. Varios estudios relacionaron el NDVI y el riego para el vid, algodón, maíz y Bermudagrass (Johnson et al 2001; Lee et al 2008; Xi Xiong 2005)

El objetivo del presente trabajo fue analizar series temporales de NDVI-MODIS sobre una finca de olivo, detectar sus variaciones y la relación del índice de vegetación con las dotaciones de riego y épocas de poda, y también analizar comparativamente el comportamiento de un campo de vegetación natural.

Materiales y métodos

La densidad de plantación en las grandes fincas del valle varía entre 250-300 olivos/ha con un marco de plantación de 7-8 m entre filas y 4-5 m entre arboles, esto es según las leyes de diferimiento impositivo que rigen en muchas de ellas. Datos anuales de riego (mm/año) y de poda para los diferentes sitios de muestreo fueron proporcionados por la finca en estudio. Las grandes extensiones de estas extienden las tareas de poda desde finales de la cosecha (fines de marzo), hasta el mes de agosto inclusive.

El producto MOD13Q1 (NDVI 250m, cada 16 días), de MODIS-TERRA fue obtenido en el sitio <ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/>, desde enero de 2002 hasta diciembre de 2010 (207 imágenes). Los pixeles seleccionados corresponden a una finca de olivo en la cual se estudio 4 lotes de diferentes edades de plantación que fueron: 1996, 1997, 1999 y 2002, y también de un campo natural adyacente a la finca, seleccionados desde imágenes LANDSAT TM (Pixel de 30*30 m.), obtenidas desde el Servicio de Geología de los Estados Unidos (www.glovis.usgs.gov).

La escena H12V11 de NDVI-MODIS fue trabajada entre las coordenadas (67°26'11.24"O; 29° 37'29.48"S) y (67°24'39.32"O; 29°40'17.05"S), correspondiente a una región olivícola del valle. Para el tratamiento digital de las imágenes se utilizó el software ERDAS imagine 9.3, importando las imágenes desde formato HDF y luego proyectándolas desde sinusoidal a UTM WGS84. Las imágenes se reescalaron con el módulo MODEL MAKER de ERDAS (factor de escala: 0.0001). Luego se identificaron los pixeles desde imágenes LANDSAT TM geo-referenciadas y se trabajó con los mismos para todas las imágenes de la serie NDVI-MODIS. Por cada lote se trabajo con 4 pixeles (250 metros), equivalente a un área de 25 hectáreas, con el fin de garantizar la representatividad de cada lote. Se seleccionó un campo natural adyacente a la finca formado por 4 sitios de 4 pixeles.

Un modelo matemático logístico fue utilizado para explicar el comportamiento temporal de una de las series completas. La técnica de suavizado de medias móviles (período de 12 meses) fue aplicada y luego se le eliminó la tendencia con un filtro estacional. Para analizar la relación entre el NDVI y el riego se aplicó un análisis de regresión lineal. En el tratamiento estadístico de los datos se utilizó INFOSAT profesional 2010 y XLSTAT 2010 (Balzarini et al 2008; www.xlstat.com).

Resultados y Discusión

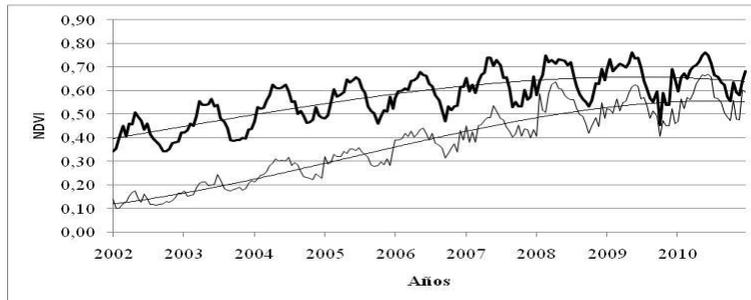


Figura 1: Serie temporal de NDVI para plantaciones de olivo (años 1996 (—) y 2002 (---) respectivamente).

La Figura 1 muestra la variación del NDVI con los años para dos años diferentes de plantación, la curva sinusoidal es debido al régimen de poda que anualmente se realiza sobre el cultivo. Se muestra claramente el aumento del NDVI con el desarrollo del cultivo, con un NDVI próximo a 0.1 en el 2002 y un NDVI cercano a 0.6 (anual) en la actualidad. El olivo plantado en 1996 se encuentra estabilizado en su desarrollo y en el 2010 muestra un NDVI medio anual de 0.65. Los cuatro lotes registran un NDVI similar en el 2010.

En la Figura 2 se muestra el NDVI para un campo natural adyacente a la finca, no se observa ninguna tendencia significativa, y los picos de NDVI (Mayo, Junio, Julio) están asociados a una respuesta desfasada de la vegetación natural a la precipitación estival (Enero, Febrero, Marzo).

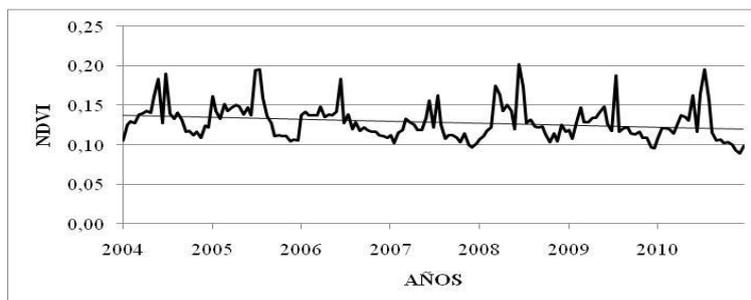


Figura 2: Comportamiento interanual del NDVI para un campo natural adyacente a la finca.

La serie de NDVI sobre el lote plantado en el 2002 se encuentra accesible desde esa fecha hasta la actualidad, permitiendo obtener imágenes del desarrollo completo del cultivo. Las imágenes MODIS están disponibles desde comienzo del año 2000, por lo tanto para los otros lotes no disponemos de la serie completa para relacionarla con el desarrollo fenológico. El modelo que mejor ajustó es:

(2)

Donde $\alpha=0.67$; $\beta=4.7381$ y $\gamma=0.01839$, y F cantidad de años después de la plantación. Se multiplica la expresión por 23, pues se tiene una imagen cada 16 días (~ 1 año = 23 imágenes). La expresión tiene un error cuadrático medio (ECM) de 0.0025 (ver Figura 3).

El árbol de olivo es una planta perenne que luego de algunos años alcanza su máximo desarrollo. La expresión (2) nos permite ver que su crecimiento es inversamente proporcional a una exponencial, usando esta expresión podemos estimar que luego de 11 (once) años el NDVI no cambia en más que 0.01, y después de 15 años es menor que 0.002.

La Figura 1 muestra pequeñas perturbaciones a lo largo del año, que puede ser debido a condiciones del suelo, periodos de estrés, etc., patrones irregulares que pueden ser eliminados utilizando medias móviles (Figura 4) con un periodo de 12 meses. La secuencia de medias móviles se definió como:

(3)

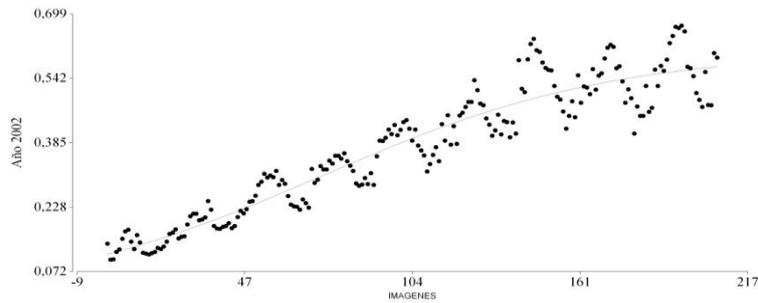


Figura 3: Serie de datos de NDVI, correspondiente al lote plantado el año 2002, y la curva de tendencia ecuación (2).

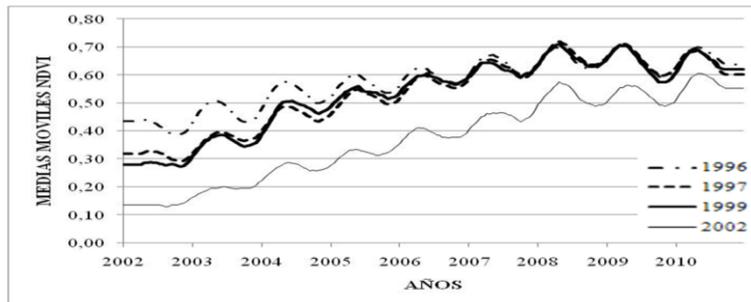


Figura 4: Valores de NDVI con los años, aplicando Media Móviles (N=12).

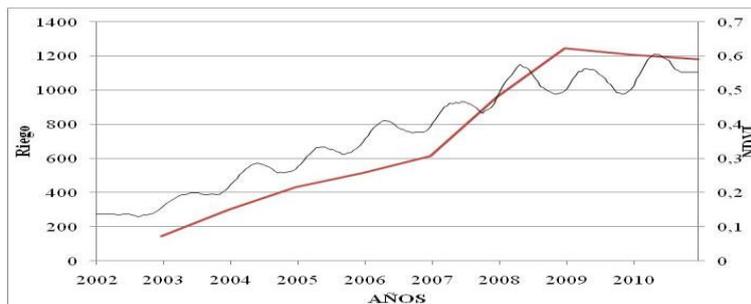


Figura 5: Serie de la plantación de 2002 comparada al régimen de riego durante su desarrollo

La Figura 4 muestra los NDVI habiendo sido aplicado Media Móviles, observamos que el crecimiento es similar para el lote 1996 y 1997 en los últimos 8 años. Se observa también que para los lotes 1996, 1997 y 1999, los valores de NDVI desde el año 2007 son similares, con una leve tendencia a disminuir en el 2010. En los últimos tres años se disminuyó el riego en unos 200 mm anuales aproximadamente para las tres series más antiguas. La disminución significativa del riego no afectó en forma importante en el NDVI en estos tres lotes. En el lote del 2002 se disminuyó el riego en 65 mm., pero se observa que el NDVI siguió creciendo. Es posible obtener un NDVI óptimo y el mejor régimen de irrigación necesaria.

A las series de medias móviles se filtro la tendencia estacional obteniendo la serie de la Figura 6. Los picos inferiores están asociados a las épocas de podas que se extienden desde abril a agosto inclusive, distintos sectores son podados en diferentes momentos debido a la limitación de personal para realizar las tareas.

Los valores medios anuales de NDVI fueron obtenidos desde el 2002 al 2010 para cada lote, y fueron relacionados con los valores anuales de riego. La recta de regresión con un coeficiente de determinación, r^2 , igual a 0.83 es mostrada en la Figura 7.

La recta puede brindar información de cuál es el NDVI esperado para cada valor de riego.

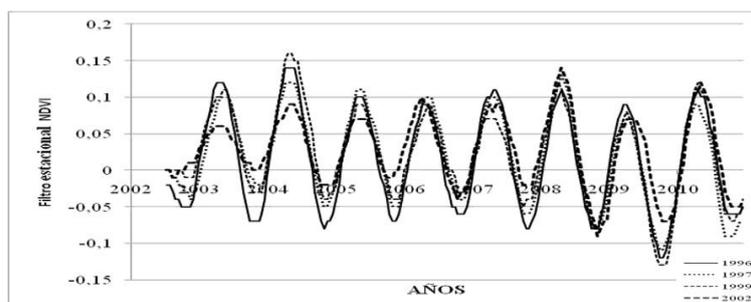


Figura 6: Filtro estacional aplicado a medias móviles de NDVI.

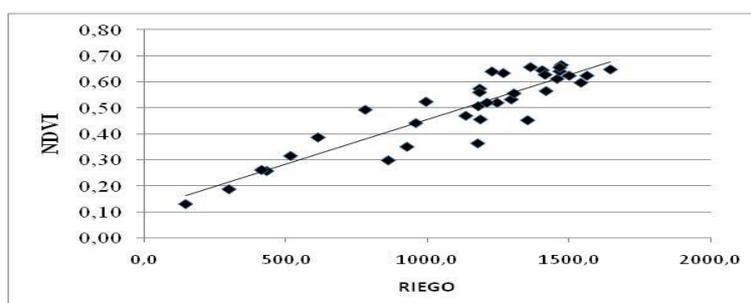


Figura 7: Relación entre el NDVI medio anual y valores de riego anual, para los cuatro lotes.

Conclusión

El régimen de riego tuvo una fuerte relación con el NDVI. Se podría interpretar que el NDVI se incrementó con los valores de riego por dos razones aparentes, primero debido al aumento del riego en sí y segundo debido a la etapa normal de desarrollo de la vegetación. Para el primer caso, disminuciones en el riego llevaron a disminuciones en el NDVI, y para el segundo caso, disminuciones en el riego, no significaron disminuciones en el NDVI.

A través del modelo podemos deducir que el crecimiento de la vegetación se estabiliza luego de 11 años bajo el régimen de fertiriego y poda actual, por lo que cambios en alguno de estos podría dar lugar a cambios en la estabilización del NDVI.

Las tendencias de las series estuvieron determinadas por los riegos, mientras que la estacionalidad en ellas estuvo asociada con las épocas de podas anuales.

En estudios futuros se podría enfocar la relación entre la producción de frutos con índices de vegetación y la influencia del riego sobre estos, de manera de obtener información que permita tomar decisiones para maximizar la producción con el menor consumo de agua.

Referencias

- Balzarini, M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Gómez del Campo M., Morales Silero A, Vita Serman F, Rousseux M y Searles P. 2010. El Olivar en los valles áridos del Noroeste de Argentina. OLIVAE. ISSN: 0255-996X. Madrid, España.
- Huete A., Chris Justice and Wim van Leeuwen. 1999. MODIS VEGETATION INDEX Algorithm theoretical basis document. Version 3.
- Lee E., Thomas N. Chase, Balaji Rajagopalan, Roger G. Barry, Trent W. Biggse and Peter J. Lawrenceca. 2008. Effects of irrigation and vegetation activity on early Indian summer monsoon variability. International journal of climatology.
- Lee F., Johnson, Dean Roczen and Shlemon Youkhana. 2001. Vineyard canopy density mapping with ikonos satellite imagery. Presented at the Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Denver, Colorado, 5-7 November 2001.
- Paruelo J.M.; Epstein, H. E., Lauenroth, W.K. and Burke, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the US. Ecology 78:953-958.
- Tsouni A., Kontoes, C., Koutsoyiannis, D., Elias P. and Mamassis, N. 2008. Estimation of Actual Evapotranspiration by Remote Sensing: Application in Thessaly Plain, Greece. Sensors. 8: 3586-3600.
- Xiong X.: The relationship among ndvi, nitrogen and irrigation on bermudagrass. 2005. 130 pages Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Oklahoma State University. July of 2005.
- XLSTAT. 2011. Tutorial XLSTAT versión 2011.2. Disponible en <http://www.xlstat.com>. Link activo el 28 de marzo de 2011.