



ANALISIS DE MAPAS DE TOSCA Y NDVI EN EL SO BONAERENSE

Zajac C. C.; Bondia P¹.; Zajac E .E¹; Vallejos A. G.^{1*}; Galantini J.A.²

¹Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur; ²CIC, Comisión Investigaciones Científicas (CERZOS –Dpto. Agronomía, UNS).

*avallejo@criba.edu.ar, San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Argentina, 0291- 4595126 int 4377.

INTRODUCCIÓN

La difusión de la agricultura de precisión (AP) en Argentina comenzó con el lanzamiento del Proyecto de Agricultura de Precisión del INTA Manfredi en Córdoba (Bragachini et al., 2006).

En el Sudoeste Bonaerense (SOB) es frecuente encontrar lotes agrícolas bajo siembra directa (SD) dedicados al cultivo de cebada con rendimientos variables, debido a la presencia de un manto calcáreo, comúnmente denominado “tosca” que limita la exploración radicular y el almacenamiento de agua, siendo esta una de las principales limitantes agronómicas en planteos agrícolas zonales.

Dadas las condiciones edafoclimáticas, la región posee alto potencial para implementar AP sin embargo su adopción ha sido incipiente y sólo productores innovadores son los usuarios de la misma. En zonas agroecológicas más propicias para el desarrollo del cultivo de trigo como Tandil (Bragachini et al., 2007) y cebada en Tres Arroyos (Méndez et al., 2010) han obtenido resultados promisorios en sus ensayos aplicando AP en ambos cultivos, de ahí el interés de conducir mayores estudios zonales para dilucidar inconvenientes técnicos surgidos de la implementación de la AP.

Kruger et al., (2005) menciona que las condiciones edafo-climáticas en el SOB determinan que los sistemas de producción sean predominantemente mixtos y que los cereales de invierno sean la alternativa casi excluyente para gran parte de la agricultura regional. Tal vez por este motivo la AP no ha tenido mucha difusión en la región; además durante la secuencia de cultivos forrajeros, no es posible seguir recolectando datos de monitores de rendimiento (MOR), implicando ello un inconveniente considerable y que requiere la búsqueda de alternativas viables que permitan implementar la AP prescindiendo de la utilización de mapas de rendimiento (MR).

Calviño & Sandras (1999) y Ross & Massigoge (2012) mencionan que la presencia de tosca limita la profundidad de los suelos lo que ocasiona una reducción en el rendimiento de los cultivos. Para estas situaciones la utilización de imágenes satelitales combinadas con mapas de tosca (MT) serían una herramienta valiosa en suplir la falta de MR.

La utilización de sensores remotos en el SOB resulta interesante en la determinación del rendimiento en cultivos de invierno, autores como Mulla y Schepers (1997) mencionan que es una tecnología atractiva, no invasiva y de bajo costo de aplicación a gran escala.

Las imágenes provenientes del sensor MODIS, montado en los satélites Terra/Aqua, poseen una interesante resolución temporal (compendio de 16 días), espacial (píxel de 250 m), espectral (36 bandas), barrido de aproximadamente 2300 km y productos derivados como el MOD 13 Q1. <http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

González et al., (2008) cita que mediante algoritmos la NASA ha generado a partir de las imágenes MODIS distintos productos. Uno de ellos es el MOD 13 Q1 que está compuesto por 12 bandas, de las cuales la 1 corresponde al NDVI.

Autores como Paruelo (2008) mencionan que varios índices espectrales han sido propuestos como estimadores de la presencia y condición de la vegetación (Baret and Guyot 1991; Ridao et al., 1998; Fensholt et al. 2004), sin embargo el NDVI ha sido y es el más usado.

El NDVI se calcula como:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IR} - \text{R})}{(\text{IR} + \text{R})}$$

en donde R e IR corresponden a la reflectancia en la porción roja e infrarroja del espectro respectivamente.

El NDVI ha mostrado tener una fuerte relación con la biomasa (Gerberman et al., 1984; Ripple 1985; Sellers 1985), el IAF (Curran 1983; Asrar et al., 1984; Baret et al. 1989) o la productividad primaria neta aérea (PPNA) (Prince 1991; Paruelo et al. 1997).

En el SOB Marini (2008) analizando la variación anual del NDVI para lotes representativos de cultivos de invierno se observó que a fines de abril los lotes se encontraban laboreados, lo que se tradujo en bajos índices. Durante las etapas de floración y espigazón se alcanzaron valores cercanos a 0,80. A fines de diciembre el NDVI desciende como consecuencia de la etapa de madurez fisiológica y la cosecha del cultivo. En marzo y abril del año siguiente, el suelo presentó residuos del cultivo o mostró altos índices. Esta última condición obedece generalmente a la incorporación de un cultivo forrajero de invierno, con lo que puede hablarse de uso mixto agrícola-ganadero en tales lotes.

Farrell y Rivas (2008) concluyeron mediante su trabajo que el momento óptimo para estimar el rendimiento en girasol, a partir del producto MODIS TERRA Vegetation indices 16 day L16 day - L3 global -250 m SIN GRID V 005- es a inicios de floración y mitad de antesis.

En función de estos antecedentes se consideró importante evaluar las relaciones existentes entre los MT y las Imágenes NDVI para cebada cervecera en el SOB, con la intención de aportar datos experimentales que permitan investigaciones aplicadas a la AP ya que se cuenta con escasa información científica en la región.

Objetivos

a) Realizar muestreo en grilla del lote mediante GPS y sonda para obtener los MT.

- b) Determinar NDVI para fechas próximas a floración en cebada en el área experimental.
- c) Correlacionar los MT y las imágenes NDVI.
- d) Separar ambientes productivos con los MT y los NDVI para la campaña fina 2013.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un lote perteneciente al establecimiento agropecuario La Moreneta (38°46'8.06"S, 61°58'28.35"O) ubicado en el partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales. El cultivo utilizado en la rotación fue cebada cervecera (*Hordeum vulgare* cv. Scarlett) bajo el sistema de SD, separación entre líneas de 0,45 m, con una superficie de 49,82 ha en la campaña 2013.

El clima es templado subhúmedo seco, precipitación media anual de 591 mm y evapotranspiración de 770 mm anuales, serie 1896-2004 (Mormeneo & Díaz, 2003). Temperatura media anual de 14,8 ° C, máximos en verano de 41,5 ° C y mínimos de -8,7°C en invierno, periodo de heladas entre fines de abril hasta fines de octubre (Casagrande & Vergara, 1990).

Según USDA (1999) el suelo fue clasificado como Argiustol típico, fino, fase somera, ubicado en lomas del paisaje ondulado, desarrollados en pendientes suaves, donde se observa manchones producidos por tosca aflorante o apenas subsuperficial. Poseen perfil desarrollado y una secuencia de horizontes A1-B2t-B3-C Son suelos bien drenados, sin alcalinidad y salinidad. El espesor del A1 es de 27 cm y la textura franca con tenor de carbono orgánico de 2,14% (INTA 1989).

Durante la campaña de cebada 2013 se procedió a compilar los datos de profundidad a la tosca provenientes de un muestreo en grilla con GPS y sonda (equidistancia 70 m). Se armó una base de datos con la ayuda de un SIG para el área experimental e interpoló utilizando el semivariograma esférico ordinario de "Kriging" (radio de 12 puntos) obteniendo el MT.

Seguidamente se obtuvo el producto MOD 13 Q1 del sitio EOS DATA GATEWAY de NASA (Torres, 2010) vía http para la fecha del 16/10/2013 seleccionándose la banda 1 (NDVI) por su proximidad con la floración de cebada, aproximadamente segunda quincena de octubre en la zona de Coronel de Marina Leonardo Rosales.

Este producto se importó posteriormente a software de procesamiento de imágenes satelitales para cambio de extensión a *tiff asignándoles coordenadas POSGAR zona 4 exportándose a un SIG, para obtener los valores de NDVI. Donde se recortó la mencionada imagen para el área experimental y se obtuvo los valores de NDVI, utilizándose únicamente aquellos pixeles incluidos en las áreas analizadas.

Posteriormente se realizaron regresiones entre los MT y los NDVI proveniente de imágenes satelitales (MOD 13 Q1) en busca de posibles interrelaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos analizados según la metodología descripta en materiales y métodos se generaron los MT de la Figura 1.

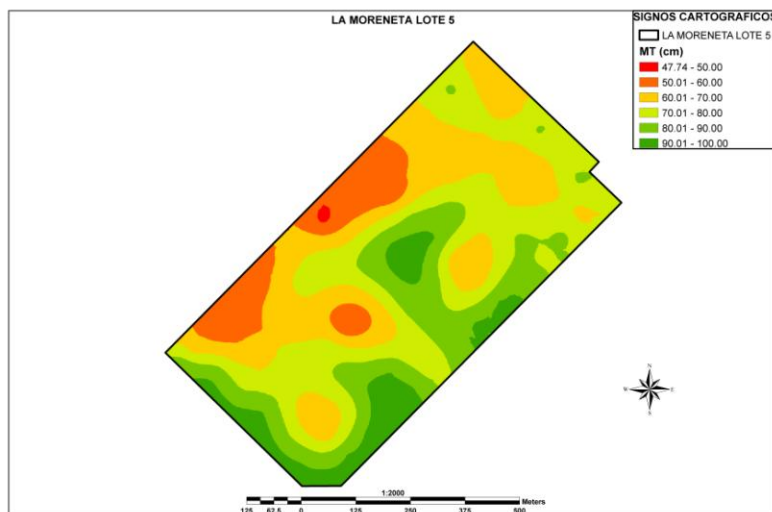


Figura N° 1: Mapa de tosca (MT) y profundidades en cm.

En la Figura 2 se pueden observar los valores NDVI para la fecha 16/10/2013 obtenidos de la imagen MOD 13 Q1 superpuestos a los mapas de tosca en el área de estudio.

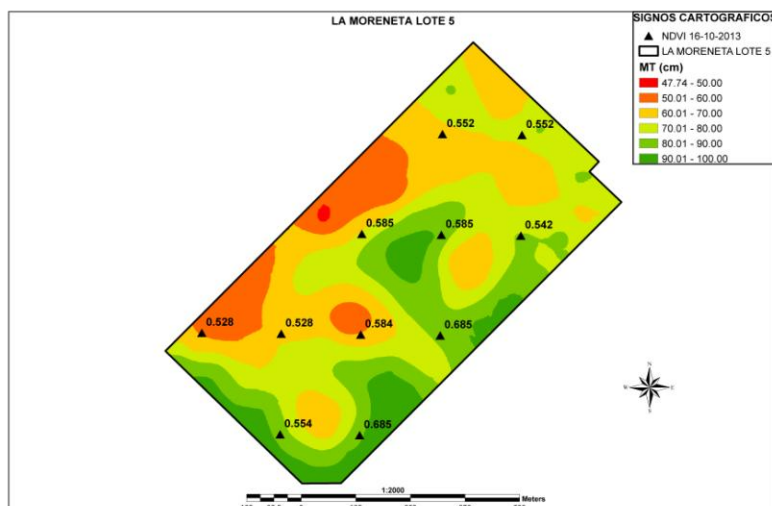


Figura N° 2: Mapa de tosca (MT), profundidades en cm y NDVI superpuestos en el área experimental.

En la Figura 3 se observan los resultados experimentales obtenidos luego de realizar las regresiones entre los MT y el NDVI con un R^2 0,96 para un nivel de confianza de 0,95 lo que indica una alta correlación entre las variables estudiadas.

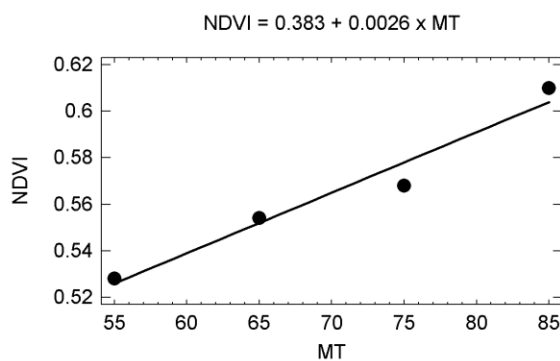


Figura N° 3: Regresiones entre el rendimiento en cebada y NDVI en la zona de estudio.

Se lograron identificar 6 áreas con profundidad diferencial a la tosca en el área experimental (Figura 1). Los bajos valores de NDVI observados podrían deberse a la baja densidades de siembra utilizadas utilizada por el productor agropecuario.

Los resultados preliminares obtenidos permitirían la utilización complementaria de imágenes MOD 13 Q1 (NDVI) y MT en el estudio de variables biológicas y edáficas en el partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales, aunque habría que intensificar los esfuerzos en realizar estudios futuros que corroboren lo mencionado, profundizando los estudios en el tiempo y espacio debido a que se encontraron valores bajos de NDVI que podrían deberse a la densidad de siembra utilizadas por el productor.

Sería interesante evaluar simultáneamente en el tiempo MT, MR provenientes de cosechadoras e imágenes NDVI (MOD 13 Q1) con el objetivo de analizar la dinámica fenológica del cultivo de cebada y determinar la heterogeneidad ambiental en base a estos recursos disponibles, para realizar posteriormente manejo sitio específico en sistemas productivos zonales.

CONCLUSIONES

Se lograron identificar 6 zonas con variaciones importantes en la profundidad a la tosca a partir de los MT en el área experimental.

Se encontraron regresiones significativas entre los MT y los valores de NDVI con un R^2 de 0,96, de forma que en situaciones que no exista disponibilidad de MR podrían utilizarse los NDVI y los MT para suplantarlos.

BIBLIOGRAFÍA

- Asrar, G., Fuchus, M., Kanemasu, E.T., Hatfield, J.L. (1984). Estimation absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal* 76: 300 – 306.
- Baret, F.; Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetations indices for LAI and APAR assesment. *Remote Sensing Environment*. 35: 161 - 173.
- Baret, F., Guyot, G., Major, D.J. (1989). Crop biomass evaluation using radiometric measurements. *Photogrammetria* 43: 241 – 256.
- Bragachini, M., Méndez, A.; Proietti, F., Villarroel, D., Juan, N., Otermín, J., Woycik, H. (2007). Agricultura de Precisión hacia el manejo de la calidad de granos en el cultivo de trigo (Tandil, Provincia de Bs. As.). En: *Trigo 2007. Boletín de Divulgación Técnica N°1*. Ediciones INTA. E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina, pp 53-57.
- Bragachini M., Méndez A., Saavedra A., Scaramuzza F., Proietti F. (2006). La Agricultura de Precisión en Argentina Presente y Futuro. 6º Curso de Agricultura de Precisión – Manfredi – Córdoba – 25 al 27 de julio de 2006.
- Burgos J., Vidal A. (1951). Los climas de la república Argentina según la nueva clasificación de Thomthwaite. *Meteoros I* (1): 3-32. Buenos Aires.
- Calviño P.A., V.O. Sadras (1999). Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil depth and crop management. *Field Crops Research* 63, 237-246.
- Casagrande, G.A. & Vergara, G.T. (1990). Características dimáticas de la región. Capítulo 2. Labranzas en la región semiárida argentina. INTA. Centro Regional La Pampa-San Luis. EEA Ing. Agr. Guillermo Covas.
- Curran, P.J. (1983). Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. A 309: 257 – 270.
- Farrell Mauricio y Raúl Rivas (2008). Relación entre índices de vegetación provenientes de imágenes MODIS y el rendimiento en girasol en el área centro de la Pampa, Argentina. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8 al 10 de octubre de 2008. San Salvador de Jujuy – Argentina.
- Gerbeman, A.J., Cuellar, J.A., Gausman, H.W. (1984). Relationship of sorghum canopy variables to reflected infrared radiation for 2 wavelengths and 2 wavebands. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 50: 209 – 214.
- González, Liliana, Paredes P., Rial Pablo (2008). Severidad de la sequía en Santa Cruz: evaluación a través de índices de vegetación de imágenes Modis. INTA, Laboratorio de Teledetección y SIG. EEA Santa Cruz. Convenio INTA – Provincia de Santa Cruz.

- Kruger, H., Agamennoni, R., Ripoll, M. (2005). Siembra directa de trigo en el sur de la región Semiárida Pampeana, Boletín Técnico N° 14, INTA EEA Hilario Ascasubi. Ed Unidad de Comunicaciones INTA Bahía Blanca, Argentina.
- Marini F. M. (2008). El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). Investigaciones Geográficas, N° 47, 2008, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante. pp. 111-121, (ISSN: 0213-4691).
- Méndez A., Villarroel D., Massigoge J., Juan N., Vélez J. (2010). Análisis del rendimiento y la calidad de la cebada cervecera en función de la profundidad de tosca en el perfil del suelo. IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA 2010. XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2010, Vitória – ES, Brasil, 25 a 29 de Julho 2010.
- Mormeneo, I., Díaz, R. (2003). Método para clasificar la anomalía de las lluvias. Rev Brasileira de Agrometeorología, Santa María, v.11,n1, p. 159 - 167. (Br)
- Mulla, D.J., Schepers, J.S. (1997). Key process and properties for site-specific soil and crop management. En F.J. Pierce y E.J. Sadler (eds), State of Site Specific Management, ASA, CSSA y SSSA, Madison, WI.
- Paoloni J.D., González Uriarte M. (2005). Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del partido de Coronel Dorrego (Pcia. de Buenos Aires). EdiUNS, 9, 15, 42, 45. 46 pp.
- Paruelo J.M. (2008) La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas 17 (3): 4 – 22.
- Paruelo, J.M., Epstein, H.E., Lauenroth, W.K., Burke, I.C. (1997). ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the US. Ecology 78: 953 – 958.
- Prince, S.D. (1991). A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. International Journal of Remote Sensing 12: 1313 – 1330.
- Ripple, W.J. (1985). Asymptotic reflectance characteristics of grass vegetation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 43: 1915 – 1921.
- Sellers, P.J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. International Journal of Remote Sensing 6: 1335 – 1372.
- Ross F., J. Massigoge, 2012. Interacción fertilización nitrogenada y ambiente en cebada cervecera cv. Scarlett: I Rendimiento. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo; XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012
- Torres Vanesa (2010). Monitoreo de la condición de la vegetación en Santa Cruz y Tierra del Fuego, a través de índices de imágenes Modis. INTA, Laboratorio de Teledetección y SIG, EEA Santa Cruz.
- INTA (1989). Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Instituto de Suelos – INTA, Buenos Aires, 525 p.
- USDA. (1999). Soil Taxonomy, Second Edition. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys. Natural Resources Conservation Service, Agriculture Handbook N° 436, Washington, EE.UU.
- (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).