

## **PRESCRIPCIÓN VARIABLE DE NITROGENO EN TRIGO A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS POR DRONES**

MELCHIORI, R.J.M.<sup>1</sup>; KEMERER, A.C. <sup>1, 2</sup>; CASUCCIO, L.M.<sup>3</sup>; ALBARENQUE, S.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INTA EEA Paraná; <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER; <sup>3</sup>Asesor Privado  
[melchiori.ricardo@inta.gob.ar](mailto:melchiori.ricardo@inta.gob.ar)

### **INTRODUCCIÓN**

Los sensores remotos han sido utilizados en Agricultura de Precisión (AP) para determinar la variabilidad espacial del crecimiento de los cultivos y delimitar zonas de productividad diferente (Mulla, 2013; Schepers et al., 2004), así como también para cuantificar el estatus nitrogenado de cultivos (Gitelson et al., 2002). Los índices de vegetación, como el NDVI (Rouse et al., 1973), se vinculan a variables como la cobertura, biomasa aérea y nitrógeno (N) acumulados. Estas variables son directamente afectadas por el nivel de disponibilidad de N para los cultivos, en base a esto los índices pueden utilizarse como criterio para diagnosticar y prescribir recomendaciones sitio específicas de N.

Desde los inicios de la utilización de sensores en AP se han desarrollado sensores ópticos portables y distintos algoritmos para el diagnóstico y prescripción variable de N en cereales. (Franzen et al., 2016; Raun et al., 2005). Entre los algoritmos más utilizados se encuentra la propuesta generada por Raun et al. (2005). Dicha metodología se basa en la predicción de la respuesta a la fertilización utilizando el NDVI. Una de las variables intervinientes en el modelo de cálculo propuesto, denominada índice de respuesta (IR), propuesto por Raun y Johnson (1999), para el cual se requiere disponer de áreas o franjas sin limitación de N desde la siembra de los cultivos, lo que constituye una tarea adicional para el productor y una potencial limitante a la adopción de éste método.

Una propuesta alternativa desarrollada por Holland y Schepers (2013) propone estimar el IR a partir de la distribución de frecuencia de los datos de índices de vegetación obtenidos en un lote, seleccionando un percentil superior (ie. P95%).

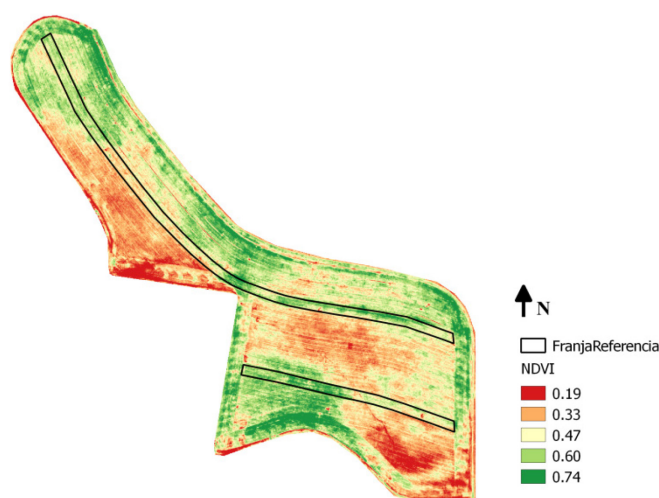
Durante los últimos años, se ha expandido fuertemente la utilización de drones (Colomina y Molina, 2014), y de cámaras digitales modificadas (Rabatel et al., 2014) que permitirían obtener en forma rápida mapas de índices de vegetación para caracterizar la variabilidad espacial del crecimiento de cultivos con la finalidad de generar mapas de prescripción variable para N.

El objetivo de este trabajo fue determinar la factibilidad de reemplazar el uso de franjas de referencia reales mediante el cálculo de referencias virtuales para su utilización en algoritmos de prescripción variable de N, calculadas a partir de mapas de índices de vegetación obtenidos con cámaras aerotransportadas en un dron para la prescripción variable de N.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó sobre un lote de trigo de la EEA Paraná del INTA (-31° 50'6"; -60° 32' 40"70 m.s.n.m.), ubicado en la localidad de Oro Verde, Paraná, provincia de Entre Ríos, Argentina. Al momento de la siembra se aplicó una dosis de 160 kg de N ha<sup>-1</sup> en dos franjas que atravesaron zonas con topografía y antecedentes de productividad

diferente, que se utilizaron como áreas de cultivo con una condición sin limitación de N (franjas de referencia real).



**Figura 1.** Mosaico ortorrectificado de NDVI del cultivo de trigo en Z31 y polígonos correspondientes a las franjas de referencia real con dosis de fertilización a la siembra de  $160 \text{ kg de N ha}^{-1}$

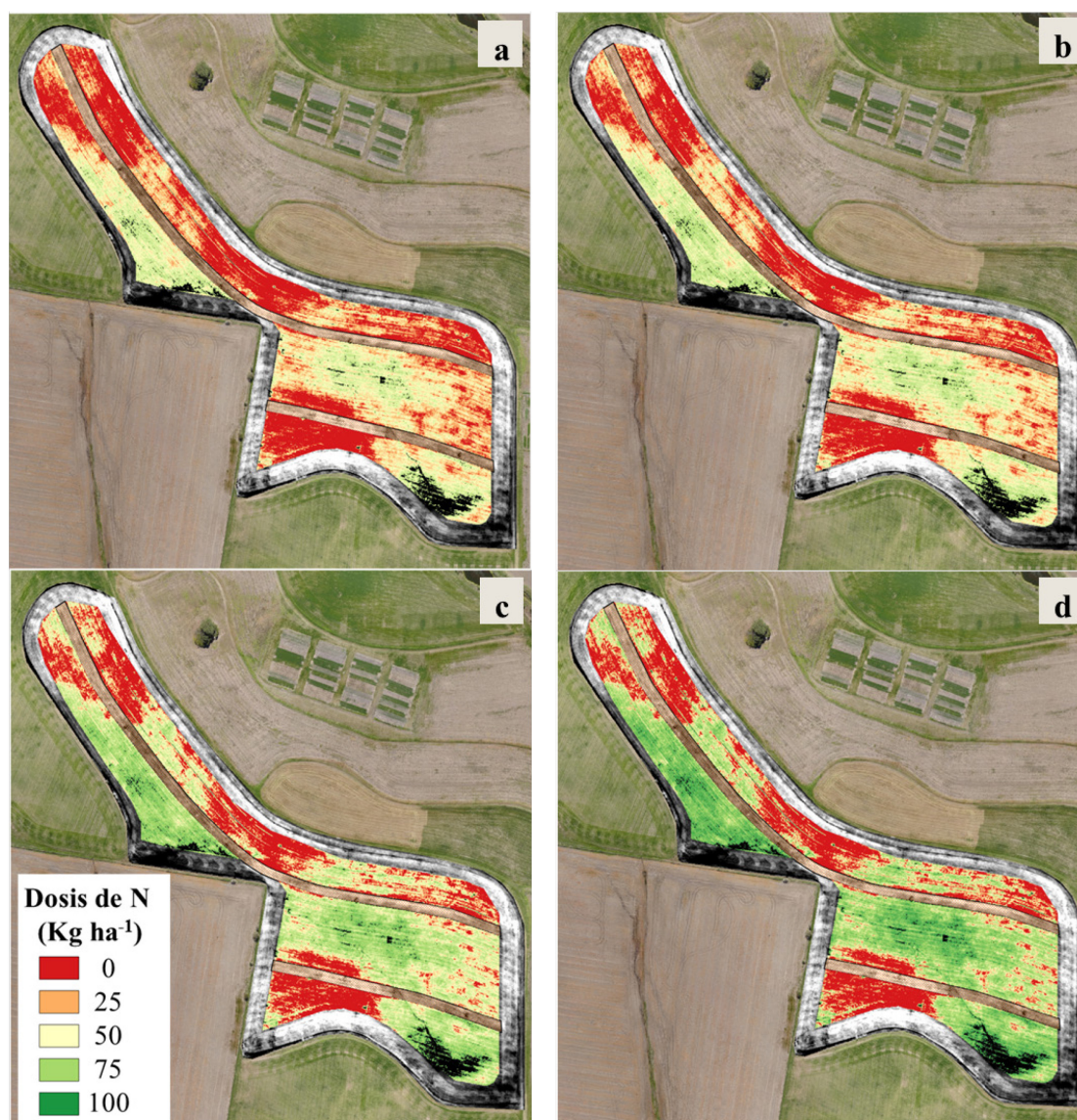
En el estadio de primer nudo (Z31) del cultivo de trigo (Zadocks et al., 1974) se realizó un vuelo con un dron EbeeAG de Sensefly, equipado con una cámara Canon Powershot S110 (NIR). El plan de vuelo fue diseñado con el software Emotion2 a una altura de vuelo de 245 m. Se obtuvieron 171 fotogramas con una resolución espacial de  $5 \times 5 \text{ cm}$  que fueron procesados con el software Postflight 3D para obtener un mapa de NDVI ortorrectificado. El mapa ortorrectificado fue remuestreado a una resolución espacial de  $50 \times 50 \text{ cm}$  en el software Qgis 2.14.0 Essen, sobre el cual se delimitaron los polígonos correspondientes a las franjas de referencia real.

Se extrajeron los valores de NDVI de los píxeles contenidos dentro de las franjas de referencia real y fuera de ellas. A partir de los datos de NDVI de las franjas de referencia real se calculó el valor promedio, denominado  $\text{NDVI}_r$ . Se determinó la distribución de frecuencias de los datos de NDVI externos a las franjas de referencia y se obtuvieron los valores correspondientes a los percentiles 80, 90 y 95. Estos valores fueron utilizados como valores de referencia virtual, denominados  $\text{NDVI}_{rv80}$ ,  $\text{NDVI}_{rv90}$ ,  $\text{NDVI}_{rv95}$ . Se calcularon las dosis de refertilización considerando los valores de NDVI para la referencia real ( $\text{NDVI}_r$ ) y virtual ( $\text{NDVI}_{rv80}$ ,  $\text{NDVI}_{rv90}$ ,  $\text{NDVI}_{rv95}$ ) y un rendimiento máximo de  $5000 \text{ kg ha}^{-1}$ , utilizando el método denominado Sensor Based Nitrogen Rate Calculator (<http://www.nue.okstate.edu/SBNRC/SBNRC.php>) desarrollado por la Universidad de Oklahoma (Raun et al., 2005) y ajustado localmente para cultivares de trigo de ciclo corto (Melchiori et al., 2007). A partir de la información obtenida se generaron los mapas de prescripción para cada valor de NDVI de referencia, se determinaron las diferencias en kg de fertilizante y costos.

## RESULTADOS

El  $NDVI_r$  de las franjas de referencia estuvo comprendido entre 0,25 y 0,79, con un valor promedio de 0,55 y un coeficiente de variación de 17%. Para el resto del lote, el NDVI varió entre un mínimo de 0,25 y un máximo de 0,81, con un coeficiente de variación del 25%. Los valores de NDVI correspondientes a los percentiles determinados a partir la distribución de frecuencias fueron 0,57 para el percentil 80, 0,62 para el percentil 90 y de 0,66 para el percentil 95.

Los valores de  $NDVI_{rv90}$  y  $NDVI_{rv95}$  determinaron diferencias importantes en la cantidad de N prescrita respecto a las determinadas con el  $NDVI_r$ , mientras que el valor de  $NDVI_{rv80}$  no mostró diferencias respecto a las dosis de N prescritas a partir de las franjas de referencia (Fig. 2). Las dosis máximas determinadas en cada caso fueron de 70, 75, 88 y 96 kg de N  $ha^{-1}$  considerando  $NDVI_r$ ,  $NDVI_{rv80}$ ,  $NDVI_{rv90}$  y  $NDVI_{rv95}$ , respectivamente.



**Figura 2.** Mapas de prescripción de refertilización de N para el cultivo de trigo generados a partir del método Sensor Based Nitrogen Rate Calculator (SBNRC) de la Universidad de Oklahoma, utilizando en el cálculo como condición sin limitación de N a) los valores de  $NDVI_r$  de una franja de referencia real (160 kg N  $ha^{-1}$ ), b) el valor de NDVI

correspondiente al percentil 80 de los datos ( $NDVI_{rv80}$ ) del resto del lote, c) el valor de NDVI correspondiente al percentil 90 ( $NDVI_{rv90}$ ); y d) el valor de NDVI correspondiente al percentil 95 ( $NDVI_{rv95}$ ).

La cantidad total de fertilizante a aplicar en el lote fue mayor al utilizar el valor de  $NDVI_{rv95}$  como referencia virtual en lugar del valor de  $NDVI_r$ , en el cálculo de la dosis de N, y en consecuencia con un costo 76% superior (Tabla 1). Al considerar el valor de NDVI del percentil 90 ( $NDVI_{rv90}$ ), la cantidad total de fertilizante a aplicar y el costo asociado fue un 55% más elevado, mientras que en el caso del valor de  $NDVI_{rv80}$  fue sólo un 16% mayor.

**Tabla 1.** Cantidad y costo de fertilizante prescripto según los valores de NDVI de la franja real ( $NDVI_r$ ) y de los percentiles utilizados como valores de referencia ( $NDVI_{rv80}$ ,  $NDVI_{rv90}$  y  $NDVI_{rv95}$ )

Cultivo Total	$NDVI_r$	$NDVI_{rv80}$	$NDVI_{rv90}$	$NDVI_{rv95}$
Cantidad de Urea	346.4	400.7	538.6	610.8
Costo fertilizante	129.9	150.2	202.0	229.0

## DISCUSIÓN

Se observó un rango amplio de valores de NDVI en la franja de referencia real, sin limitación de N, lo que pone de manifiesto que la limitación al crecimiento en estos casos, estuvo condicionada por otros factores diferentes a la fertilización nitrogenada. Esto concuerda con lo reportado por Roberts et al. (2012), el cual relativizó la utilidad de las franjas de referencia. La escasa diferencia observada entre el valor de NDVI del percentil 80 ( $NDVI_{rv80}$ ) y el valor medio de NDVI de la franja de referencia real ( $NDVI_r$ ) permitiría sustentar la posibilidad de reemplazar la utilización de la franja de referencia por el análisis de la distribución de los datos de NDVI de un lote, denominado referencia virtual (Holland y Schepers, 2013). En este sentido, las fotografías aéreas presentan una ventaja adicional respecto a la evaluación con sensores en tiempo real, ya que permiten disponer de todos los valores de NDVI del lote. En cambio, los sensores en tiempo real están condicionados a un conocimiento previo del lote, para evaluar los ambientes con distinta productividad y obtener una distribución de valores de NDVI representativa. Considerando el inconveniente práctico que representa el establecimiento de las franjas de referencia, la utilización del percentil 80 determina ventajas claras con costos similares o aún más bajos, dado que no se han considerado los costos de fertilizante para el establecimiento de la franja de referencia. El empleo de valores de NDVI de percentiles superiores determina un incremento importante en los gastos.

## CONCLUSIONES

Los valores de NDVI de la referencia real y virtual fueron similares en el caso del percentil 80, que superó el valor medio de la referencia real en 4%. Mientras que la diferencia fue superior en 13% y 20% para los percentiles de 90 y 95, respecto a la referencia real.

Los resultados demuestran la factibilidad de utilizar mapas generados a partir de fotografías obtenidas por drones para implementar algoritmos de prescripción variable de N, calculando valores virtuales de referencia considerando el percentil 80.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Geosistemas SRL que facilitó el sistema RPAS constituido por el dron, cámara y software para la obtención y procesamiento de los datos. Este trabajo realizado con fondos del proyecto PNAIyAV-1130023 de INTA.

## REFERENCIAS

- Colomina, I.; Molina, P. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 92. Pages 79–97. doi:10.1016/j.isprsjrs.2014.02.013
- Dandois, J. P.; Ellis, E. C. 2013. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment*. Volume 136. Pages 259 – 276. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.005>
- Franzen, D.; Kitchen, N.; Holland, K.; Schepers, J.; Raun, W. 2016. Algorithms for In-Season Nutrient Management in Cereals. *Agronomy Journal* Volume 1. Pages 1–19. doi:10.2134/agronj2016.01.0041
- Gitelson, A.A.; Kaufman, Y.J.; Stark, R.; Rundquist, D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*. Volume 80. Pages 76-87. doi:10.1016/S0034-4257(01)00289-9
- Holland, K.H.; Schepers, J.S. 2013. Use of a virtual-reference concept to interpret active crop canopy sensor data. *Precision Agriculture*. Volume 14. Number 1. Pages 71–85. DOI: 10.1007/s11119-012-9301-6
- Melchiori, R.J.M.; Caviglia, O.P.; Faccendini, N.R.; Albarenque, S.M. 2007. Utilización de sensores remotos para manejo de nitrógeno en trigo. *EEA Paraná Serie de Extensión N°42. Actualización Técnica Cultivos de Invierno*. ISSN 0325 – 8874. P 32 - 37.
- Mulla, D.J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystem Engineering*. Volume 114. Number 4. Pages 358–371. doi:10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009
- Rabatel, G.; Gorretta, N.; Labbé, S. 2014. Getting simultaneous red and near-infrared band data from a single digital camera for plant monitoring applications: Theoretical and practical study. *Biosystems Engineering*. Volume 117. Number 1. Pages 2 - 14. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.008>
- Raun, W.R.; Johnson, G.V. 1999. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agronomy Journal*. Volume. 91 Number 3. Pages 357 - 363. doi:10.2134/agronj1999.00021962009100030001x
- Raun, W.R.; Solie, J.B.; Stone, M.L.; Martin, K.L.; Freeman, K.W.; Mullen, R.W.; Zhang, H.; Schepers, J.S.; Johnson, G. V. 2005. Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization. *Communication of Soil Science Plant Analysis*. Volume 36. Pages 2759–2781. <http://dx.doi.org/10.1080/00103620500303988>
- Roberts, D.F.; Ferguson, R.B.; Kitchen, N.R.; Adamchuk, V.I.; Shanahan, J.F. 2012. Relationships between Soil-Based Management Zones and Canopy Sensing for Corn Nitrogen Management. *Agronomy Journal*. Volume 104. Number 1. Pages 119 - 129. doi:10.2134/agronj2011.0044.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deerin, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. N. SP-351. Ed. Third ERTS Symposium. Volume 1. Pages 309-317. Whashington. NASA.
- Schepers, A. R.; Shanahan, J. F.; Liebig, M. A.; Schepers, J. S.; Johnson, S. H.; Luchiani, A. 2004. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*. Volume 96. Number 1. Pages 195 – 203. <http://doi.org/10.2134/agronj2004.0195>
- Zadocks, J.C.; Chang, T.T.; Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the stages of cereals. *Weed Research*. Volume 14. Pages 415-421. DOI: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.