

DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE REFERTILIZACION NITROGENADA EN TRIGO UTILIZANDO SENSORES ACTIVOS

Berger, A.G.^{1*}; Asuaga, A.²; Berteretche, M.²; Beux, L.²; Asuaga, J.³; Garrone, M.⁴,
Calistro, R.¹, Morales, X.¹

¹ INIA La Estanzuela, R. 50 Km 11, CP 7000, Colonia. Uruguay; ² Grupo campo; ³ Estratos SRL; ⁴ Asesora
privada.

[*abberger@inia.org.uy](mailto:abberger@inia.org.uy)

PALABRAS CLAVE: sensoramiento remoto; greenseeker; cropscanner; trigo; NDVI;
CI.

INTRODUCCION

El manejo de la fertilización con nitrógeno (N) en trigo es uno de los principales factores generadores de variaciones en calidad y rendimiento en grano en Uruguay. Existen evidencias claras de que la continuidad en el tiempo del sistema de agricultura continua en siembra directa ha conducido a la reducción de la capacidad de aporte de N a través de la mineralización de materia orgánica del suelo (Hoffman, et al. 2011). Esto altera las dosis y la capacidad de los actuales métodos de recomendación de refertilización con N de diagnosticar dosis óptimas en sitios con historia agrícola en comparación con sitios sin historia agrícola (Hoffman, et al. 2013). Existe además la necesidad de contar con herramientas objetivas que permitan cuantificar estos efectos dentro del potrero, considerando la variabilidad en potencial de rendimiento y respuesta a fertilización con N de cada sector, causada por el uso agrícola y las propiedades naturales de cada sitio.

Mediante técnicas de sensoramiento remoto es posible analizar directamente mediante espectrometría, el estado de la vegetación (i.e. contenido de clorofila, área foliar, nitrógeno absorbido) utilizando la reflectancia característica de los materiales a medir (vegetación, suelo, restos secos) (Hatfield et al., 2008). Los sensores pasivos (cámaras o sensores montados en satélites, aviones o UAVs) miden la reflectancia ($R = \text{luz reflejada desde el suelo} / \text{luz incidente}$) de la luz solar. Los sensores activos miden la reflectancia de la luz emitida por el mismo sensor, excluyendo y por lo tanto en forma independiente de la intensidad de la luz solar. Esto habilita a que las medidas puedan ser tomadas a cualquier hora del día, en días soleados y nublados, incluso por la noche, logrando así mayor precisión e independencia de las condiciones ambientales. Los sensores activos son más versátiles que los pasivos y son más simples de utilizar y operar. Los sensores activos desarrollados hasta el momento que han logrado mayor difusión, basan su análisis en dos-tres bandas espectrales en tres regiones específicas (660-680nm, 730nm, 780-850nm) (Holland et al., 2010, Solari et al., 2008).

En ambos casos, ya sea mediante sensoramiento remoto activo o pasivo, no existe un modelo de diagnóstico y recomendación de refertilización nitrogenada para las condiciones nacionales. En general los métodos más utilizados en la región son los basados en el algoritmo de la Universidad de Oklahoma (Raun, et al., 2002) que han sido utilizados satisfactoriamente en Argentina (Melchiori et al., 2009). Se han reportado otros algoritmos que podrían ser útiles, pero hasta el momento no se han utilizado ni validado en Uruguay y en la región (i.e. Algoritmo de Holland, Holland et al., 2010; Canopy chlorophyll content index (CCCI) Fitzgerald et al., 2010; Algoritmo de Yara N-Sensor; NNI, Mistele et al., 2008)

El objetivo de este trabajo fue buscar nuevas herramientas que permitan estimar objetivamente el potencial de rendimiento y la respuesta a refertilización con N, iniciando trabajos exploratorios de evaluación de los sensores disponibles y su capacidad de estimar parámetros del cultivo, el rendimiento en grano y la respuesta a la refertilización.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron sensores activos de reflectancia y se instaló una red de cuatro sitios experimentales de ensayos de respuesta a refertilización con N en el año 2013. Los sitios fueron instalados en chacras comerciales en el departamento de Soriano y Colonia y contaron con 6 dosis de N en Zadoks 22 (0, 40, 80, 120, 160, 200 Kg N Ha⁻¹) y 3 repeticiones arreglados en un diseño de bloques completos al azar. No se realizaron refertilizaciones posteriores a Zadoks 22. Cuando el cultivo alcanzó el final de macollaje (Zadoks 30), se determinó el contenido de nitrógeno en planta, la acumulación de materia seca aérea, el índice de área foliar y se tomaron mediciones no destructivas de contenido de clorofila con SPAD, y de NDVI y CI (Hatfield et al., 2008) con los sensores activos GreenSeeker-handheld (www.trimble.com) y CropScanner (www.cropscanner.com).

RESULTADOS Y DISCUSION

Se obtuvieron respuestas en rendimiento de grano significativas al agregado de N en 3 de los cuatro sitios instalados (EM, SR y TN), y no significativas en uno (LO) en el que el rendimiento estuvo aparentemente limitado por otros factores y fueron comparativamente más bajos (Figura 1).

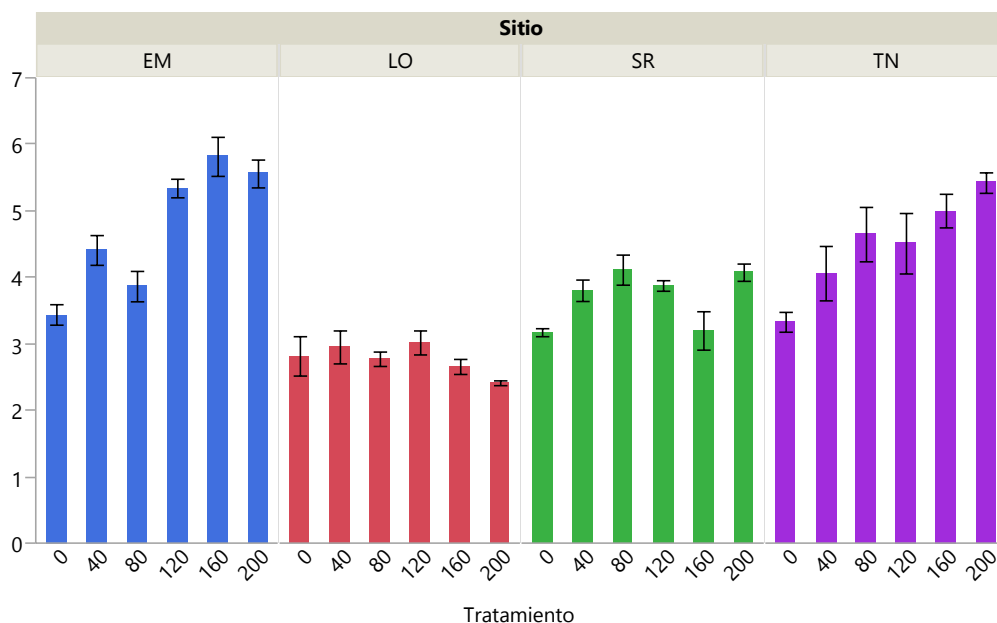


Figura 1. Rendimiento promedio para cada uno de los sitios experimentales en 2013. Las barras representan el error estándar de la media.

Los valores de NDVI observados por ambos sensores estuvieron altamente relacionados entre sí (0.91 R²), lo cual es esperable ya que utilizan los mismos principios físicos para realizar la medida con bandas en la región del rojo e infrarrojo.

Los valores de NDVI estuvieron altamente correlacionados con el índice de área foliar, con la acumulación de materia seca, y el nitrógeno absorbido por el cultivo (0.58, 0.89 y 0.73 R^2 respectivamente). Por el contrario no se encontró ninguna relación con el valor de SPAD (no presentado) que es un buen indicador del contenido de clorofila por unidad de área foliar, ni con el valor de contenido de N en la materia seca (Figura 2). Dado que el NDVI es un indicador de la cantidad de clorofila por unidad de superficie, los resultados sugieren que al menos en este estado de desarrollo del cultivo, el factor que contribuye de mayor manera al cambio en cantidad de clorofila por unidad de superficie es el aumento de materia seca o índice de área foliar, más que el contenido de clorofila por unidad de materia seca o área foliar.

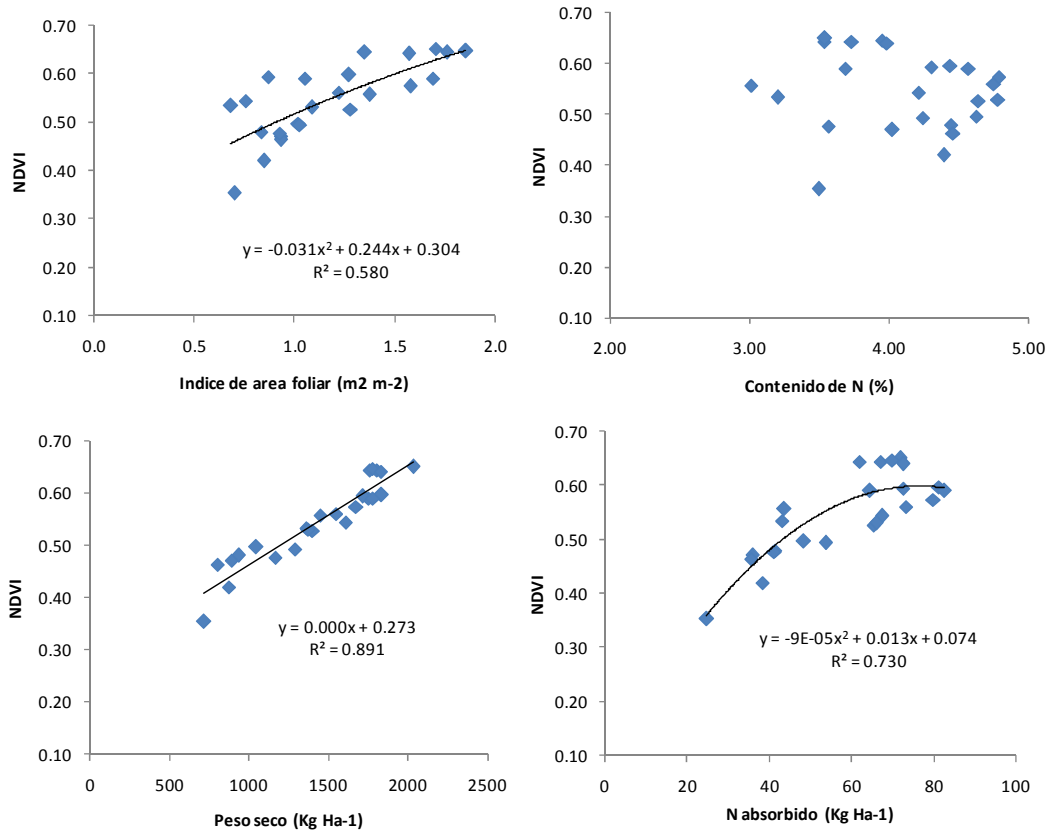
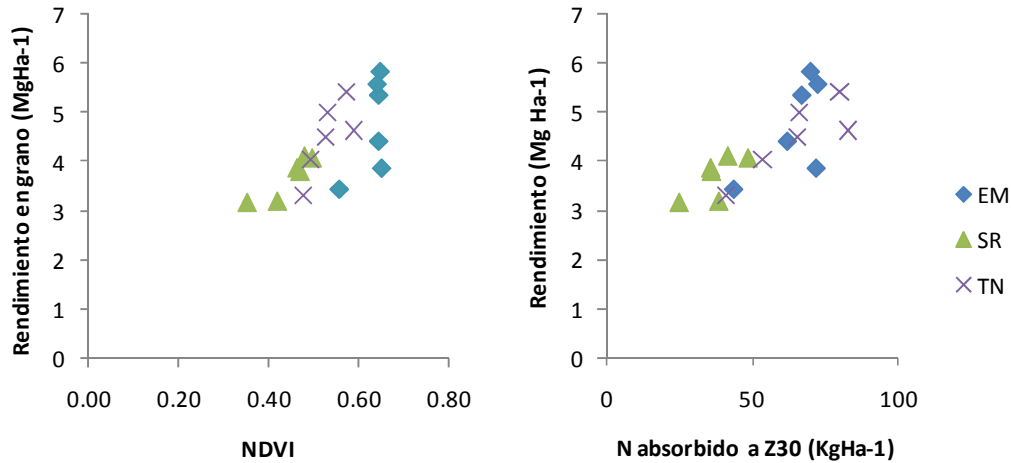


Figura 2. Variación del NDVI con variables del cultivo promedio para los tratamientos en todos los sitios.

El sensor CropScanner cuenta además con un canal que mide la reflectancia en longitudes de $740 \pm 5\text{nm}$ (denominada borde rojo), las cuales permiten construir el índice CI que esta reportado por su mejor relación con el contenido de clorofila por unidad de área que el NDVI. No se detectó en el presente trabajo sin embargo una ventaja en el uso de CI respecto a NDVI (por lo que no se presentan los datos de CI). Probablemente esto se debe a que los niveles de área foliar estuvieron dentro del rango de valores para los cuales el NDVI no ha llegado aún a su máximo. Si hubieran sido mayores (índice de área foliar >2), probablemente se habría observado una ventaja en el uso del CI respecto a NDVI.



proceso de expansión agrícola madura en Uruguay. Fagro-IPNI Cono Sur. Paysandú Uruguay. pp. 45-60.

Hoffman E, Fassana N, Perdomo C. 2013. Manejo del nitrógeno en cereales de invierno. ¿Agregando más nos estamos quedando cortos? In III Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. Pensar en las causas y no solo medir las consecuencias. Fagro-IPNI Cono Sur. Paysandú Uruguay. pp. 51-62

Holland, K.H.; Schepers, J.S.. 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. *Agronomy Journal*. 102 (5): 1415-1424

Mistele, B.; Schmidhalter, U. 2008. Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 29: 184-190.

Melchiori R.J.M.; Caviglia O.P.; Albarenque S.M. 2009. Manejo sitio-específico del nitrógeno en el cultivo de trigo basado en sensores remotos. En: Melchiori R.; Caviglia O.; Albarenque S. y A. Kemerer (Eds). *Jornada Nacional de Agricultura de Precisión: Integrando tecnologías para una agricultura sustentable*.

Raun, W.R.; Solie, J.B.; Johnson, G.V.; Stone, M.L.; Mullen, R.W.; Freeman, K.W.; Thomason, W.E.; Lukina, E.V.. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*.

Solari, F.; Shanhan, J.; Ferguson, R.; Schepers, J.; Gitelson, A.. 2008. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agronomy Journal*. 100(3):571-579