

EMPLEO DEL MEDIDOR DE CLOROFILA PARA CALCULAR LA DOSIS DE NITRÓGENO ÓPTIMA ECONÓMICA EN TRIGO

Presentado en el XXIV Congreso Argentino de Ciencias del Suelo – Bahía Blanca – Mayo 2014

Reussi Calvo, N.^{1,2*}; Sainz Rozas, H.^{2,3}; Echeverría, H.²

¹Laboratorio de suelos FERTILAB, ²Unidad Integrada Balcarce, ³CONICET

* Autor de contacto: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar; Moreno 4524, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina; 0223-4724184.

RESUMEN

Los modelos actuales de diagnóstico de nitrógeno (N) en trigo no contemplan la incidencia de la relación insumo:producto. El medidor de clorofila SPAD podría ser utilizado para monitorear el estatus nitrogenado y estimar la dosis óptima económica del cultivo (DOE). El objetivo fue evaluar la utilidad del SPAD para monitorear el estatus nitrogenado del trigo y definir la DOE en diferentes momentos del ciclo. Se realizaron un total de 5 ensayos de fertilización nitrogenada en el sudeste bonaerense. Se determinó el índice verdor con el SPAD en los estadios de dos macollos (Z22), cuatro macollos (Z24), un nudo (Z31) y hoja bandera (Z39), y se estimó el índice de suficiencia de N (ISN). El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la DOE menos la dosis de N aplicada. El rendimiento promedio fue de 7529, 6976, 7096, 9014 y 8234 kg ha⁻¹ para Gral. Madariaga, Maipú, Miramar, Pieres y Lobería, respectivamente. Se observó estrecha asociación entre el ISN y la dDOE ($r^2 = 0,25; 0,55; 0,86$ y $0,72$ para Z22, Z24, Z31 y Z39, respectivamente). La dDOE fue 0 cuando el ISN fue de 0,97; 0,95; 0,93 y 0,94 para Z22, Z24, Z31 y Z39, respectivamente. Para finalizar, se obtuvo un modelo general para el periodo que va desde mediados de macollaje hasta hoja bandera del trigo ($r^2 = 0,66$), que define como umbral de ISN 0,94 para la dDOE = 0. Esta información permitiría realizar planteos de fertilización nitrogenada más precisos y rentables que los empleados en la actualidad.

PALABRAS CLAVE: nitrógeno; clorofilómetro; relación de precios.

INTRODUCCIÓN

La metodología más difundida para el diagnóstico de nitrógeno (N) se basa principalmente en la determinación del contenido de N de nitrato (N-NO₃⁻) en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño *et al.*, 2002; Barbieri *et al.*, 2012). Para su empleo, se han propuestos distintos umbrales de disponibilidad de N (suelo+fertilizante), los cuales varían según la zona, sistema de labranza y el rendimiento objetivo del cultivo (Barbieri *et al.*, 2012). En la actualidad las dosis de N empleadas en el sudeste bonaerense (SEB) varían desde 70 hasta 160 kg N ha⁻¹ según las características del ambiente y el rendimiento objetivo. La aplicación de dicho método de diagnóstico no contempla la incidencia del costo de los insumos y de su relación con el precio del trigo (relación insumo-producto). Alvarez (2008) analizando redes de ensayos de fertilización reportó que la utilización de umbrales de N fijos permitió lograr márgenes netos positivos de la inversión en fertilización sólo en años con relaciones de precios favorables. Además, Barbieri *et al.* (2009) determinaron que fertilizaciones al macollaje permitieron obtener menores dosis óptima económica (DOE) que al momento de la siembra, siendo menor para variedades francesas que para las tradicionales.

El SEB se caracteriza por tener una muy baja probabilidad de déficit hídrico (menor al 5%) desde la siembra hasta la espigazón del cultivo de trigo (Reussi Calvo & Echeverría, 2006), por lo tanto es factible considerar el fraccionamiento de la dosis de N con el objetivo de maximizar el rendimiento y la eficiencia de

uso de N (EUN). Si bien, mediante el análisis de muestras de suelo al macollaje es posible estimar la DOE el mismo demanda un mayor esfuerzo y tiempo respecto a las metodologías basadas en el empleo del medidor portátil de clorofila Minolta SPAD® 502. El mismo permite realizar lecturas de la intensidad del color verde (IV) de la hoja las que se relacionan estrechamente con las mediciones destructivas de clorofila y con la concentración de N en hoja (Schepers et al., 1992; Waskom, 1996). No obstante, las lecturas de IV con el SPAD presentan el inconveniente de estar afectadas por numerosos factores (Blackmer & Schepers, 1995; Gandrup et al., 2004), por lo tanto, para minimizar los errores se recomienda calibrar las mediciones de IV con áreas de referencia sin limitaciones de N. A partir de las lecturas de IV con el SPAD en las áreas de referencia se determina un índice de suficiencia del nutriente (ISN), que surge del cociente entre la lectura de IV del lote y el IV del área sin limitaciones nutricionales. Gandrup et al. (2004) determinaron estrecha asociación entre el IV y/o ISN con el rendimiento del cultivo a partir de fines de macollaje y encañazón del trigo. Además, Scharf et al. (2006) determinó que las mediciones de IV se relacionaban con la DOE y la respuesta en rendimiento al agregado de N en maíz. Si bien existe información sobre el empleo del medidor de clorofila SPAD para el monitoreo del estatus nitrogenado del trigo, no hay información sobre el empleo de dicha herramienta para definir la DOE de N del cultivo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad del SPAD para monitorear el estatus nitrogenado del trigo y definir la DOE para diferentes momentos del ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2011 se realizaron 5 ensayos bajo siembra directa en el SEB. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se evaluaron seis dosis de N (testigo, 50, 100, 150, 200 y 300 kg N ha⁻¹), aplicadas al voleo bajo la forma de urea (46-0-0) en el estadio de dos hojas del trigo (Z12, según la escala de Zadocks et al. (1974)). Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 30 y 20 kg ha⁻¹ de P y S, respectivamente. A la siembra del cultivo se realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de materia orgánica (MO), pH y N anaeróbico (Nan), y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para N-NO₃⁻. La concentración de N-NO₃⁻ se extrajo con KCl y se determinó por colorimetría (Keeney & Nelson, 1982). La MO se determinó por el método Walkley & Black (Nelson & Sommers, 1996) y el pH en relación 1:2,5 (suelo-agua). Además, el Nan se obtuvo según la metodología descrita por Echeverría et al. (2000). En la **Tabla 1** se presentan algunas características de suelo de los sitios experimentales.

Tabla 1. Cultivo antecesor y análisis de suelo a la siembra del trigo en diferentes sitios del Sudeste de Buenos Aires. MO= materia orgánica; P Bray = fósforo extractable; Nan = nitrógeno anaeróbico; N- NO₃⁻ = nitrógeno como nitrato.

Sitio experimental	Antecesor	MO (%)	pH	0-20cm		
				P Bray (mg kg ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹) (0-60cm)
Gral. Madariaga	Soja	6,5	5,8	7,1	77	74
Maipú	Girasol	5,6	5,9	8,7	73	78
Miramar	Soja	5,6	5,6	14,7	58	81
Pierres	Soja	5,8	6,4	15,6	62	69
Lobería	Soja	5,0	6,3	27,2	94	47

Durante el ciclo del cultivo se realizaron lecturas de IV en los estadios de dos y cuatro macollos, un nudo y hoja bandera (Z22, Z24, Z31 y Z39, según Zadocks et al., 1974). Se promediaron 15 lecturas realizadas en la última hoja expandida (lígula totalmente visible). A partir de las lecturas de SPAD se determinó el ISN como el

cociente entre la lectura de la parcela problema y la de referencia (300 kg N ha^{-1}). Se determinó la DOE para cada sitio empleando la relación de precios histórica de 5,9:1 (Barbieri *et al.*, 2009). Para sitios sin respuesta al agregado de N la DOE fue igual a 0. El déficit o exceso de N respecto de la DOE (dDOE) se calculó como la diferencia entre DOE y la dosis de N aplicada (Hawking *et al.*, 2007). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N.

A la cosecha se determinó el rendimiento (1.8 m^2) y se expresó al 14 % de humedad. La concentración de N total en grano se determinó por el método de combustión seca de Dumas, utilizando un analizador TruSpec CNS (LECO, 2008).

Se realizó el análisis estadístico utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1988). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas se empleó el Test de la diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de probabilidad de 0,05 (SAS Institute, 1996). Las pendientes de las rectas se compararon mediante el test de paralelismo y coincidencia utilizando el procedimiento PROC REG (SAS Institute, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones durante el ciclo del trigo fueron de 355, 350, 450, 420 y 450 mm en el sitio Gral. Madariaga, Maipú, Miramar, Pieres y Lobería, respectivamente. Este nivel de precipitaciones sumado al adecuado contenido de humedad a la siembra del cultivo indicaría que la disponibilidad hídrica no habría limitado mayormente el rendimiento del cultivo.

En todos los sitios experimentales se determinaron respuestas ($p < 0,05$) en rendimiento por la aplicación de N (Tabla 2). El rendimiento promedio fue de 7529, 6976, 7096, 9014 y 8234 kg ha^{-1} para Gral. Madariaga, Maipú, Miramar, Pieres y Lobería, respectivamente, lo cual pone de manifiesta la potencialidad de la campaña 2011. La máxima respuesta en rendimiento (diferencia de rendimiento entre el tratamiento 300N y 0N) para aplicaciones de N fue de 854 kg ha^{-1} en Gral. Madariaga, 1162 kg ha^{-1} en Maipú, 2340 kg ha^{-1} en Miramar, 2969 kg ha^{-1} en Pieres y 1563 kg ha^{-1} en Lobería (Tabla 2). La mayor respuesta a N en Pieres se explicaría en parte por los bajos niveles de N-NO_3^- y Nan a la siembra sumado a la alta potencialidad del sitio (Tabla 1). Similares respuestas fueron determinadas por otros autores en el SEB (Calviño *et al.*, 2002; Barbieri *et al.*, 2012).

La concentración de N en grano aumentó por efecto de la fertilización con N, siendo en promedio la respuesta para la dosis máxima de N de 0,4; 0,74; 0,69; 0,66; 0,58% para Gral. Madariaga, Maipú, Miramar, Pieres y Lobería, respectivamente (Tabla 2). En general, para las mayores dosis de N, la concentración de N en grano se ubicó por encima al umbral de 2 % citado por Goss *et al.* (1982). Otros trabajos han determinado incrementos en la concentración de N en grano por efecto de N (Barbieri *et al.*, 2012; Reussi Calvo *et al.*, 2013). Por otra parte, la eficiencia de recuperación de N en grano (ERNg) se ubicó dentro de los rangos citados en la bibliografía (Barbieri *et al.*, 2012; Velasco *et al.*, 2012), siendo el valor promedio de 13,2; 19,6; 27,6; 37,4 y 20,6 % para Gral. Madariaga, Maipú, Miramar, Pieres y Lobería, respectivamente.

Tabla 2. Rendimiento de trigo, nitrógeno en grano (N) y eficiencia de recuperación de N del fertilizante en grano (ERNg) para los sitios experimentales en el Sudeste de Buenos Aires.

Sitio experimental	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	N (%)	ERNg (%)
Gral. Madariaga	0N	6783b*	1.62f	
	50N	7202a	1.64f	14
	100N	7412a	1.72ef	15
	150N	7334a	1.76de	11
	200N	7426a	1.88bc	13
	300N	7637a	2.02a	13
Maipú	0N	6205b	1.54d	
	50N	6400b	1.69cd	21
	100N	6741ab	1.71c	17
	150N	6805ab	1.85b	18
	200N	7297a	1.98b	21
	300N	7367a	2.28a	21
Miramar	0N	5174d	1.49d	
	50N	6002dc	1.52d	24
	100N	6593bc	1.67c	28
	150N	7803a	1.64c	29
	200N	7711a	1.97b	32
	300N	7513ab	2.18a	25
Pierres	0N	6887d	1.66e	
	50N	7646c	1.71de	28
	100N	9329ab	1.78d	44
	150N	9659a	2.0bc	45
	200N	9643a	2.07b	37
	300N	9856a	2.32a	33
Lobería	0N	7435d	1.58c	
	50N	7666d	1.68bc	20
	100N	8299bc	1.71bc	22
	150N	8530ab	1.78bc	20
	200N	8298bc	1.93ab	19
	300N	8998a	2.16a	22

*En cada columna y para cada sitio, valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de la mínima diferencia significativa (LSD) al 5 % de probabilidad.

En la Figura 1 se presenta la relación entre el ISN y la dDOE para los diferentes momentos de medición. En la misma se observa una estrecha asociación entre ambas variables a medida que avanza el ciclo del cultivo ($r^2 = 0,25; 0,55; 0,86$ y $0,72$ para Z22, Z24, Z31 y Z39, respectivamente). El bajo ajuste determinado en Z22 se explicaría en parte por la baja sensibilidad del SPAD para detectar deficiencia de N en estadios tempranos (Gandrup *et al.*, 2004). Para maíz y en 62 sitio-años, Barker & Sawyer (2010) observaron una estrecha relación entre el ISN y la dDOE ($r^2 = 0,75$). Además, Scharf *et al.* (2006) determinaron mejores ajustes entre las variables mencionadas con el avance de la estación de crecimiento del maíz ($r^2 = 0,53$ y $0,76$ para V5 y V9, respectivamente), lo cual coincide con lo obtenido en esta experiencia. Por otra parte, las relaciones entre el IV y la dDOE fueron menores respecto al ISN (datos no mostrados), lo cual está en línea con lo determinado por diferentes autores (Scharf *et al.*, 2006; Hawkins *et al.*, 2007).

En función de los modelos de la Figura 1 es posible estimar el ISN para una dDOE = 0, el cual fue de 0,97; 0,95; 0,93 y 0,94 para Z22, Z24, Z31 y Z39, respectivamente. Para finalizar, se obtuvo un solo modelo que

relaciona el ISN con la dDOE para el periodo que va desde mediados de macollaje hasta hoja bandera del trigo (Figura 2). La dDOE fue igual a 0 cuando el ISN fue de 0,94. Estos resultados indican que es posible estimar la dDOE de N con un 66 % de confianza mediante el empleo del medidor de clorofila SPAD, información necesaria para definir eventuales refertilizaciones en trigo.

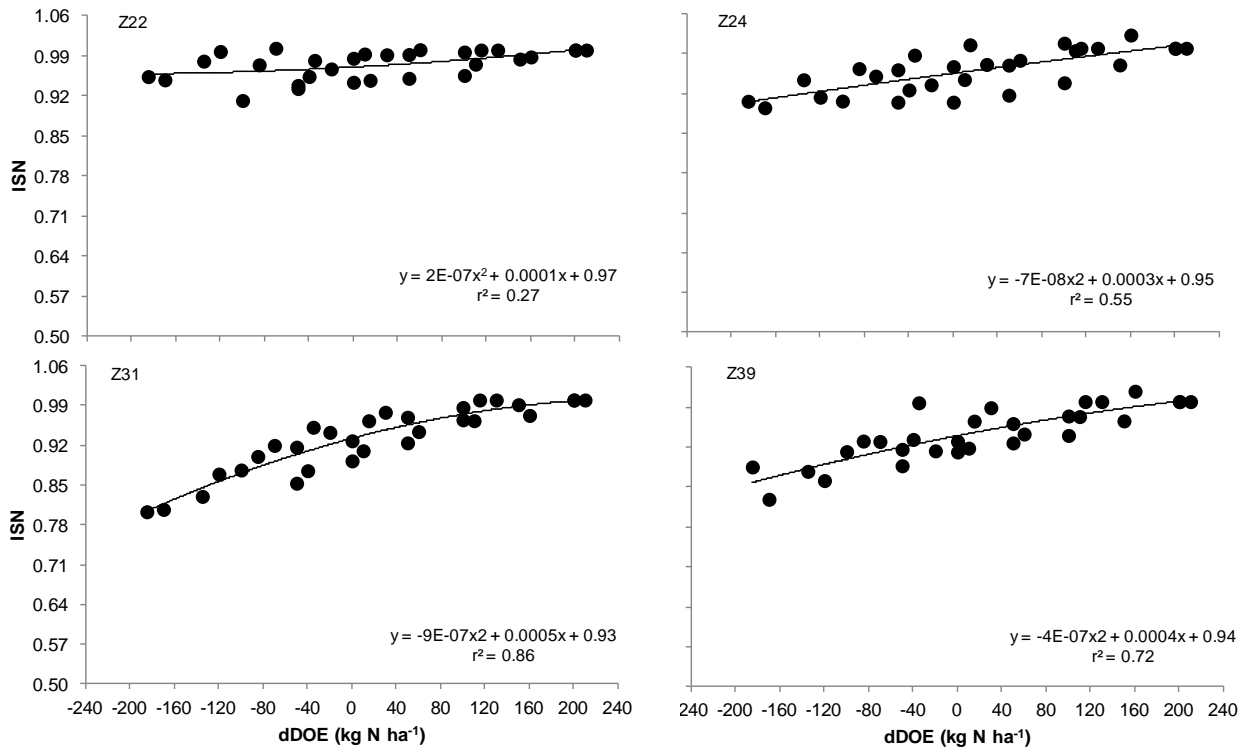


Figura 1. Índice de suficiencia de N (ISN) en función de la diferencia de N disponible a dosis óptima económica (dDOE). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N. Z22= dos macollos, Z24= cuatro macollos; Z31 = un nudo detectable y Z39 = hoja bandera.

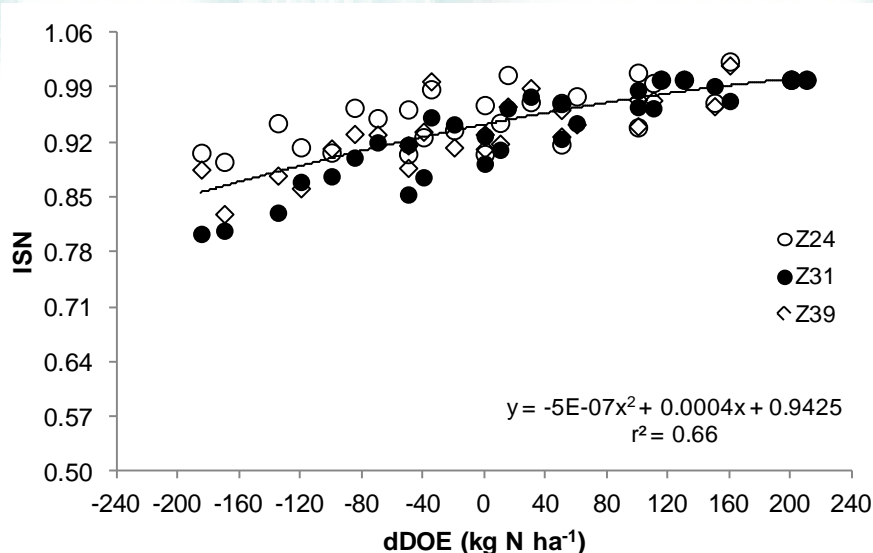


Figura 2. Índice de suficiencia de N (ISN) en función de la diferencia de N disponible a dosis óptima económica (dDOE). Valores de dDOE negativos indican deficiencia y positivos excesos de N. Z24= cuatro macollos; Z31 = un nudo detectable y Z39 = hoja bandera.

CONCLUSIÓN

Se desarrolló un modelo que estima, mediante el empleo del medidor de clorofila SPAD, la dDOE para el periodo comprendido entre mediados de macollaje y hoja bandera del trigo. Esta información permitiría realizar planteos de fertilización más precisos y rentables que los empleados actualmente, no obstante, esta información debe ser validada en otras estaciones de crecimiento del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R. 2008. Análisis de la conveniencia económica de utilizar umbrales fijos para recomendar la fertilización nitrogenada y fosforada de trigo. VII Congreso Nacional de trigo, Santa Rosa, La pampa, 2-4 julio. Conferencia en CD.
- Barbieri, P.A.; H.R. Sainz Rozas & H.E. Echeverría. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Cien. suelo* 27:115-126.
- Barbieri, P.A.; H.E. Echeverría; & H.R. Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. *Commun. Soil Sci. Plan.* 43:1512-1522.
- Barker, D.W. & Sawyer, J.E. 2010. Using Active Canopy Sensors to Quantify Corn Nitrogen Stress and Nitrogen Application Rate. *Agron. J.* 102:964-971.
- Blackmer, T.M. & J.S. Schepers. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.* 8:56-60.
- Calviño P., H.E. Echeverría & M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 20:36-42.
- Echeverría H.E., N. San Martín & R. Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Cien. Suelo* 18:9-16.
- Gandrup, M.E.; F.O. García; K.P. Fabrizzi; & H.E. Echeverría. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 33(3):105-121.
- Goos, R.J.; D.G. Westfall; A.E. Ludwick & J.E. Goris. 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. *Agron. J.* 74:130-133.
- Hawkins, J.A.; J.E. Sawyer; D.W. Barker; & J.P. Lundvall. 2007. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. *Agron. J.* 99:1034-1040.
- Keeney, D.R. & D.W. Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. et al. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, WI.* pp. 643-698.
- Nelson, D.W. & L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*, ed. D. L. Sparks, 961-1010. Madison, WI: ASA-SSSA.
- LECO. 2008. Organic application notes. Disponible en <http://www.leco.com/>, verificado 18/02/2008.
- Reussi Calvo, N.I. & H.E. Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Cien. Suelo*. 24 (2):115-122.
- Reussi Calvo, N.I.; H. Sainz Rozas; H.E. Echeverría & A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 2: doi:10.2134/agronj2012.0287.
- SAS INSTITUTE INC. 1996. *SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition.* Cary, NC.
- Scharf, P.C.; S.M. Brouder & R.G. Hoelt. 2006. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the North-Central USA. *Agron. J.* 98:655-665.
- Schepers, J.; T. Blackmer, & D. Francis. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In B. Bock y K. Kelly (ed). *Predicting fertilizer needs for corn in humid regions.* NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105 - 114.
- Velasco, J.L.; H. Sainz Rozas; H. Echeverría & P. Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Sci.* 92:1-10.
- Waskom, R. M. 1996. A review of use of chlorophyll meters to assess crop N status in the Great Plains. *Proceedings Great Plains Soil Fertility Conference.* J. Havlin (ed.). Kansas State University, Manhattan, KS, EE.UU. pp. 36 - 43.
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang & C.F. Zonzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.