

EVOLUCIÓN DE UN ÍNDICE DE VERDOR EN HOJA PARA EVALUAR EL STATUS NITROGENADO EN TRIGO

GANDRUP, MARÍA E.¹; GARCIA, FERNANDO O.^{1,2};
FABRIZZI, KARINA P.¹; ECHEVERRIA, HERNÁN E.¹

RESUMEN

El medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) es una herramienta promisorio para monitorear el status de nitrógeno (N) del cultivo, a través del índice de verdor (IV) y del índice de suficiencia de N (ISN) en hoja. Los objetivos fueron describir la evolución del IV y el ISN durante la estación de crecimiento del cultivo de trigo, y establecer la relación entre el IV y el ISN con el rendimiento y el contenido de proteína en grano. La experiencia se realizó en 1997/98, en Balcarce (Buenos Aires), en dos lotes que tenían 5 y más de 20 años de agricultura. El P disponible no fue limitante. Los tratamientos fueron dosis de N (0, 30, 60, 90, 120 y 180 kg N ha⁻¹). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados (DCBA). El IV permitió monitorear el status de N del cultivo de trigo, ya que presentó valores más altos en el sitio de mayor fertilidad nitrogenada y disminuyó a medida que avanzó el ciclo del cultivo, siendo esta disminu-

¹ Unidad Integrada EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, CC 276, (7620) Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

² INPOFOS Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Correo Electrónico fgarcia@inpfos.org

ción más pronunciada para N0 y más atenuada para 180. El ISN se comportó de manera similar al IV, debido a que se empleó la misma variedad de trigo y prácticas de manejo de cultivo similares. Se determinó una baja relación entre IV e ISN al macollaje con el rendimiento en grano. A partir de encañazón, se alcanzaron aceptables ajustes entre dichas variables ($R^2=0.68$ a 0.84 para IV; $R^2=0.70$ a 0.84 para ISN), lo que pone de manifiesto su valor predictivo. En grano lechoso temprano, se determinaron buenos ajustes entre IV e ISN y el contenido de proteína en grano ($R^2=0.82$ para IV; $R^2=0.61$ para ISN), indicando que ambos son buenos predictores de este parámetro.

Palabras clave: *índice de verdor, nitrógeno, trigo, medidor de clorofila, proteína.*

SUMMARY

The chlorophyll meter (Minolta SPAD 502) would be a promissory tool to evaluate crop N status through the leaf greenness index (IV) or the N sufficiency index (ISN). The objectives of this study were to describe the evolution of IV and ISN during the wheat growing season, and to establish the relationship of IV and ISN with yield and grain protein content. The study was carried during 1997/98, at Balcarce (Buenos Aires) in two sites with 5 and more than 20 years of agriculture. A randomized complete block design was used. Availability of P was not limiting for wheat growth. Treatments were N rates (0, 30, 60, 90, 120 and 180 kg N ha⁻¹). The IV was able to monitor the crop N status showing the highest values in the highest N treatment. The IV decreased along the wheat growing season, this decrease was greater in the N0 treatment and lower in the N180 treatment. The ISN behaved similarly to the IV, because a same wheat variety and similar management practices were used in both experiments. A weak relationship was determined between IV and ISN at tillering, and grain yield. Acceptable adjustments were reached between these variables and yield ($R^2=0.68$ at 0.84 for IV; $R^2=0.70$ at 0.84 for ISN) at jointing. At early milk grain, significant relationships were determined between IV and ISN, and grain protein content ($R^2=0.82$ for IV; $R^2=0.61$ for ISN).

Key words: *greenness index, nitrogen, wheat, chlorophyll meter, protein.*

INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos para la producción del cultivo de trigo es la sincronización entre los requerimientos y la disponibilidad de N (Schepers *et al.*, 1992). Esta sincronización es fundamental durante los 20 a 30 días previos a la antesis, debido a que las deficiencias nitrogenadas en este período reducen el rendimiento a través de una menor producción de granos (Abbate *et al.*, 1994). La mayoría de las investigaciones para diagnosticar las necesidades de N en el cultivo de trigo se basan en desarrollar métodos confiables a la siembra o en estadios tempranos de este, con el fin de tomar decisiones de fertilización para incrementar el rendimiento en grano y, para realizar un uso eficiente del N. Por otro lado, se han encontrado respuestas importantes en el contenido proteico de los granos de trigo por la aplicación de N entre espigazón y antesis (Gravelle *et al.*, 1988; Echeverría y Studdert, 2001), evidenciando la importancia de evaluaciones del status de N en estadios más avanzados del cultivo, con el fin de diagnosticar fertilizaciones para mejorar la calidad de la producción.

Existen métodos para diagnosticar el status de N en el cultivo de trigo, que se basan en mediciones sobre el tejido vegetal. Entre éstos, el medidor de clorofila *Minolta SPAD® 502* se presenta como una alternativa promisoría para el monitoreo del status de N durante el ciclo del cultivo, a través de la cuantificación no destructiva del verdor de la hoja o índice de verdor (IV) (Waskom, 1996). El medidor de clorofila es un método rápido y fácil de utilizar, permitiendo realizar muestreos más frecuentemente y explorar en mayor medida la variabilidad en un sitio comparado con otros métodos (Murdock *et al.*, 1997). La fundamentación del método se basa en las estrechas relaciones que existen entre las lecturas de IV y el contenido de clorofila y, entre ambos y la concentración de N en hoja (Schepers *et al.*, 1992). Esto se debe a que la cantidad de clorofila está influenciada por la disponibilidad de nutrientes (Finnan *et al.*, 1997), encontrándose que hasta un 75% del N reducido en la hoja está dentro de los cloroplastos y

las proteínas solubles, asociadas a la fotosíntesis (Grindlay, 1997). Sin embargo, las lecturas de IV sólo pueden predecir parcialmente la concentración de N en hoja. A altos niveles de N, el IV no aumenta sino que se hace constante, como sucede con el rendimiento en grano, mientras que la concentración de N en hoja continúa incrementándose con el suministro de N (Peltonen *et al.*, 1995; Schepers *et al.*, 1992). Esto implica que el IV no es apto para poder identificar el consumo de lujo en la planta e impide predecir si el N es aplicado en exceso (Piekielek *et al.*, 1995).

Además, presenta el inconveniente de que el IV necesita calibraciones según la especie (Castelli *et al.*, 1996) y es afectado por numerosos factores como genotipos, estados de crecimiento, otros nutrientes, enfermedades o ataques de insectos y, condiciones ambientales como humedad y temperatura al momento de la medición (Piekielek y Fox., 1992; Blackmer y Schepers, 1995; Strada y Echeverría, 1998; Fox *et al.*, 2001). Por lo tanto, se puede afirmar que no es factible establecer un valor de IV crítico que indique suficiencia de N en todos los cultivos, sitios, años y condiciones ambientales. Debido a esto y, para minimizar la influencia causada por los factores mencionados, se recomienda calibrar las lecturas de IV estableciendo áreas de referencia con exceso de N para lograr una concentración máxima de clorofila en las hojas (Waskom, 1996). A partir de las lecturas de IV en las áreas de referencia sin limitación de N, se estima un índice de suficiencia de N (ISN) que surge del cociente entre el IV del sector del lote o parcela a caracterizar y el IV del área sin limitación de N (Peterson *et al.*, 1993). Se plantea que tanto el IV como el ISN serían adecuados estimadores del rendimiento y del contenido de proteína del cultivo de trigo.

Los objetivos de este trabajo, realizado en el sudeste bonaerense, fueron: a) evaluar la evolución del IV y el ISN durante la estación de crecimiento de un cultivar de trigo pan, en sitios con diferente disponibilidad de N inicial y bajo diferente oferta de N; b) establecer la relación entre IV e ISN durante el ciclo del cultivo con el rendimiento en grano y c) establecer la relación entre IV e

ISN en estadios avanzados del cultivo con el contenido de proteína en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó durante la campaña de trigo 1997/98 sobre dos ensayos situados en establecimientos de productores (Santa Teresita y Marahue) de la zona serrana del sudeste bonaerense (Balcarce, Buenos Aires). Los suelos se clasificaron como Argiudoles típicos correspondientes a la Serie Mar del Plata (Carta de Suelos de la República Argentina 1:50.000. Hoja 3757-31-1, SAGyP). Las condiciones hídricas fueron adecuadas durante el ciclo del cultivo de trigo, con precipitaciones de 446 mm en Marahue y 539 mm en Santa Teresita para el período julio – diciembre.

El lote del ensayo Santa Teresita presentó una historia agrícola muy prolongada, con más de 20 años de agricultura continua, mientras que el de Marahue solo tenía 5 años de agricultura luego de la última pastura. Ambos ensayos se establecieron bajo labranza vertical, el cultivo antecesor fue maíz y el cultivar de trigo pan Klein Dragón (ciclo corto). Las propiedades químicas de los primeros 20 cm de suelo a la siembra, para ambos ensayos, se presentan en la Tabla 1.

Con el fin de cubrir las necesidades de nutrientes para el cultivo, en Marahue se aplicaron 26 kg P ha⁻¹ como superfosfato triple de calcio (20% P) en línea con la semilla. A pesar de que la disponibilidad de S-sulfatos y Zn se consideró baja en Santa Teresita,

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo a la siembra en la capa superficial (0 – 20cm)

Ensayo	MO	P Bray I	pH	sulfatos	CIC	Cationes intercambiables				Micronutrientes			
	g /100g	Mg/kg		Mg/kg	meq/100 g	meq/100 g				Mg/kg			
						Ca	Mg	K	Na	Zn	Fe	Cu	Mn
Marahue	6.0	6.7	5.6	9.6	24.5	12	2.5	1.8	0.4	2.4	158	2.0	32
Santa Teresita	4.4	69.9	6.0	6.7	29.7	18	1.9	1.6	0.4	1.6	150	2.5	47

MO= materia orgánica, CIC= capacidad de intercambio catiónico.

resultados obtenidos en un ensayo conducido dentro del mismo sitio, mostraron que no se obtuvieron incrementos de rendimiento por la aplicación de estos nutrientes (Informe de Fertilización de Trigo en el Sudeste Bonaerense. Ensayos Campaña 1997/98 – Unidad Integrada INTA - FCA Balcarce).

En ambos ensayos se utilizó un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y las parcelas fueron de 135 m² (3 m * 45 m). Los tratamientos fueron niveles de N: N0, N30, N60, N90, N120 y N180 (0, 30, 60, 90, 120 y 180 kg N ha⁻¹). En ambos ensayos, la fertilización nitrogenada se realizó con urea (46% N) al voleo en cobertura total, en pre y postemergencia para Santa Teresita y Marahue, respectivamente.

Se realizaron determinaciones de N-NO₃⁻ en el perfil del suelo (en capas de 20 cm hasta 60 cm de profundidad), a la siembra y durante el ciclo del cultivo sobre los tratamientos N0, N60 y N120, por el método colorimétrico (Bremner, 1965).

En el trigo se determinaron acumulación de materia seca (MS) y N en la biomasa aérea (Nabs) durante el ciclo del cultivo sobre los tratamientos N0, N60, N120 y N180 (este último solo en madurez fisiológica), rendimiento en grano y contenido de proteína de los granos a cosecha. Para la determinación de MS se realizaron cortes a nivel del suelo en ocho submuestras al azar, de 1 m lineal cada una, en cada unidad experimental. Las plantas enteras se pesaron en fresco y se secaron a estufa a 60°C, para estimar el contenido de MS. Del mismo material fresco cortado, se separó y se molió una fracción para la determinación del Nabs. El Nabs y el contenido de proteína (% N * 5.7) se determinaron por el método de digestión Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

Se calculó el N del fertilizante recuperado por la biomasa aérea como:

$$Nrec (\%) = ([Nabf - Nabt] / Nf * 100)$$

donde: Nabf (N absorbido en el tratamiento fertilizado), Nabt (N absorbido por N0), y Nf (N aplicado como fertilizante).

Se determinó el IV con un medidor de clorofila *Minolta SPAD® 502*, el que emite luz a dos longitudes de onda (650 nm y 940 nm) a través de la hoja, captando la luz transmitida y convirtiendo estos valores en lecturas de SPAD. El IV de cada unidad experimental resultó del promedio de 10 lecturas de SPAD tomadas al azar en cada parcela. Las lecturas se efectuaron sobre la última hoja completamente expandida del tallo principal, o en la hoja bandera a partir de espigazón, en un punto medio ubicado entre la base y el extremo superior de la lámina y, el margen y la nervadura central de la misma. Se calculó el ISN como el cociente entre el IV de cada parcela y el IV promedio del tratamiento más alto en cada momento de medición. Se determinó el estado fenológico del cultivo a través de la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974).

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS Institute, 1985). Las variables medidas se relacionaron a través de regresiones, estimándose los parámetros de las ecuaciones y su ajuste mediante el coeficiente de regresión (R^2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Marahue y Santa Teresita presentaron situaciones contrastantes de disponibilidad de N a la siembra y durante el ciclo del cultivo de trigo (Figura 1), a consecuencia del manejo previo de los sitios (5 y más de 20 años de agricultura, respectivamente), ocasionando respuestas diferentes a la aplicación de N en producción de MS (Figura 2) y Nabs (Figura 3). Marahue presentó una disponibilidad inicial de $N-NO_3^-$ superior a la de Santa Teresita (64,2 y 20,6 kg ha⁻¹, respectivamente) y un mayor contenido de $N-NO_3^-$ en suelo en el tratamiento N0 en estadios más avanzados, posiblemente debido en parte a la mineralización de N en este suelo con mayor contenido de materia orgánica (Tabla 1). Esto explica la mayor producción de MS en el tratamiento N0 y la falta de respuesta a la aplicación de N en Marahue con respecto a

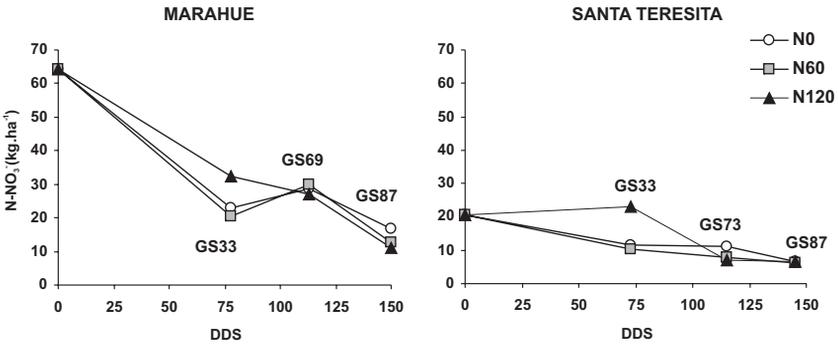


Figura 1. Evolución del $N-NO_3^-$ a 0-60 cm de profundidad durante el ciclo del cultivo de trigo, para ambos ensayos, en los tratamientos 0 (N0), 60 (N60) y 120 (N120) kg N ha^{-1} . DDS= días desde la siembra, GS33= encañazón, GS69= antesis completa, GS73= grano lechoso temprano, GS87= madurez fisiológica.

Santa Teresita (Figura 2). El Nabs fue mayor en Marahue respecto de Santa Teresita para todos los momentos y tratamientos evaluados (Figura 3), observándose un comportamiento similar al de

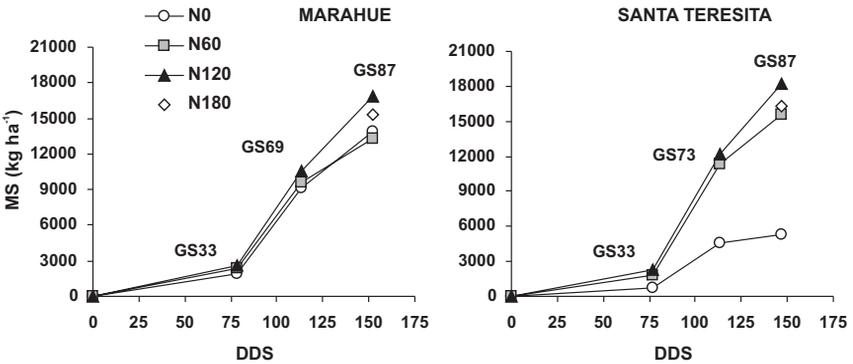


Figura 2. Acumulación de materia seca (MS) durante el ciclo del cultivo de trigo, en ambos ensayos, para los tratamientos 0 (N0), 60 (N60), 120 (N120) kg N ha^{-1} , y 180 (N180) kg N ha^{-1} en madurez fisiológica. DDS= días desde la siembra, GS33= encañazón, GS69= antesis completa, GS73= grano lechoso temprano, GS87= madurez fisiológica.

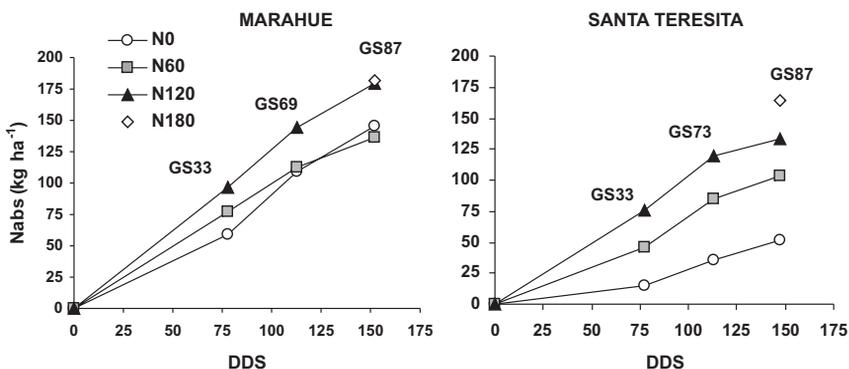


Figura 3. N absorbido por el cultivo de trigo (Nabs), en ambos ensayos, en los tratamientos 0 (N0), 60 (N60), 120 (N120) kg N ha⁻¹, y en el tratamiento 180 (N180) kg N ha⁻¹ en madurez fisiológica. DDS= días desde la siembra, GS33= encañazón, GS69= antesis completa, GS73= grano lechoso temprano, GS87= madurez fisiológica.

la MS, en el tratamiento N0 y en la respuesta a la aplicación de N para ambos ensayos. La diferencia entre ambos ensayos también se manifestó en el Nrec, ya que en Marahue fue muy bajo (15 a 31%) y disminuyó a medida que avanzó el ciclo del cultivo, indicando que la principal fuente de N provino de fracciones del suelo y no del fertilizante, mientras que en Santa Teresita fue elevado (50 a 86%) y aumentó hacia el final de la estación de crecimiento.

En ambos ensayos se observaron respuestas significativas en rendimiento a la aplicación de N. En Santa Teresita, el tratamiento N0 presentó el menor rendimiento y se determinó la mayor respuesta a la aplicación de N, comparado con Marahue (Tabla 2). En Marahue, la menor respuesta a la fertilización nitrogenada en dosis superiores a 60 kg N ha⁻¹ posiblemente se debió al efecto de vuelco. El contenido de proteína en grano en Marahue fue aproximadamente un 20% superior al observado en Santa Teresita (Tabla 2). Con las dosis más bajas de N, el rendimiento se incrementó mientras que la proteína disminuyó en ambos ensayos. A partir de las dosis de 30 y 60 kg N ha⁻¹ para Marahue y

Santa Teresita, respectivamente, las respuestas en rendimiento y proteína fueron crecientes con la aplicación de N.

Tabla 2. Rendimiento y proteína en granos de trigo en Marahue y Santa Teresita, para los tratamientos 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), 90 (N90), 120 (N120) y 180 (N180) kg N ha⁻¹.

Tratamiento	Rendimiento		Proteína	
	Marahue	Santa Teresita	Marahue	Santa Teresita
	— kg ha ⁻¹ —		— % —	
N0	5946 c	2799 d	11.97 c	9.78 bc
N30	6630 ab	3670 c	11.17 d	9.14 bc
N60	6818 a	5449 b	11.91 c	8.84 c
N90	6377 abc	5866 b	12.45 bc	9.66 bc
N120	6224 bc	6159 ab	12.88 ab	10.17 ab
N180	6497 ab	6871 a	13.40 a	11.37 a
DMS (0.05)	531	846	0.55	1.32

Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente (p>0.05)

DMS= diferencia mínima significativa.

Los valores de IV fueron superiores en Marahue en comparación con Santa Teresita, para la mayoría de los tratamientos y momentos evaluados (Figura 4), posiblemente debido a la mayor disponibilidad de N. En Marahue se observaron valores máximos de IV de 42.2 a 45.2 unidades SPAD en GS21 (macollaje) y valores mínimos de 26.4 y 34.9 unidades SPAD en GS83 (grano pastoso temprano), para el tratamiento N0 y N180, respectivamente. En Santa Teresita, el rango de valores fue mayor, alcanzando máximos de 37.9 a 44.3 unidades de SPAD para el tratamiento N0 y N120 en GS21, y mínimos de 19.8 y 31.4 unidades de SPAD para N30 y N180 en GS83.

En líneas generales, el IV disminuyó en ambos ensayos a medida que avanzó el ciclo del cultivo, siendo esta disminución más pronunciada para el tratamiento N0 (especialmente en Santa Teresita) y más atenuada en N180, mientras que el resto de los tratamientos se ubicaron en una posición intermedia. Las variaciones de IV dentro de cada tratamiento a lo largo del ciclo del cultivo fueron más marcadas en Santa Teresita que en Marahue,

posiblemente debido a la menor fertilidad nitrogenada en este sitio. Si bien la caída de IV hacia GS50 (comienzo de espigazón) ocurrió en ambos ensayos, fue más pronunciada en Santa Teresita, y puede asociarse al agotamiento de N del suelo por absorción del cultivo en este período. Evans *et al.* (1983) explican que el agotamiento de N en el suelo en espigazón es más pronunciado en condiciones de escasa fertilidad o bajas aplicaciones de N, como en Santa Teresita, generando una menor absorción durante el llenado de granos. Finalmente, la disminución de IV, coincidente con la senescencia de la hoja bandera (hacia GS83), comenzó más tarde en Marahue que en Santa Teresita (a partir de grano lechoso temprano -GS73- y mediados de antesis -GS65-, respectivamente), debido posiblemente a la mayor disponibilidad de N. Estas variaciones de IV a través del ciclo del cultivo fueron también observadas por Falótico *et al.* (1999) en trigo y por Sainz Rozas y Echeverría (1998) en maíz, e indican la importancia de referir las lecturas de IV a un momento fenológico dado.

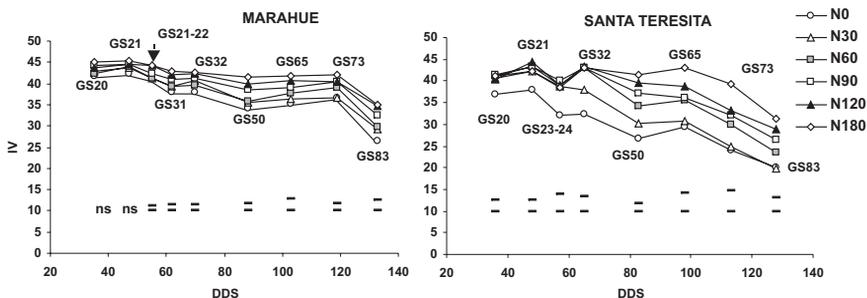


Figura 4. Evolución del índice de verdor (IV) en ambos ensayos durante el ciclo del cultivo de trigo, con los tratamientos 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), 90 (N90), 120 (N120) y 180 (N180) kg N ha⁻¹. DDS= días desde la siembra, GS20= un tallo, GS21= macollaje, GS21-22= macollaje, GS23-24= macollaje, GS31= 1 nudo detectable (inicio de encañazón), GS32= 2 nudos detectables (encañazón), GS50= comienzo de espigazón, GS65= mitad de antesis, GS73= grano lechoso temprano, GS83= grano pastoso temprano.

En ambos ensayos, se observaron diferencias más reducidas entre tratamientos en estadios tempranos del cultivo (GS20 a GS32 -un tallo a encañazón), excepto el tratamiento N0 de Santa Teresita que se diferenció marcadamente del resto de los tratamientos. Estas diferencias se acentuaron a medida que avanzó el ciclo del cultivo (desde GS32 en adelante), siendo más importantes en Santa Teresita que en Marahue. En Marahue, las diferencias entre tratamientos a GS20 y GS21 no fueron significativas, y a partir de GS21-22 (macollaje) se observaron diferencias ($p < 0.05$) en todos los momentos de medición (Figura 4). En Santa Teresita, las diferencias de IV entre tratamientos fueron significativas en todas las mediciones, aunque en etapas tempranas (desde GS20 hasta GS32) solo el tratamiento N0 se diferenció ($p < 0.05$). En GS32, NO difirió de N30 y este del resto de los tratamientos. En GS50 se observaron diferencias ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos.

El ISN presentó en general valores más bajos en Santa Teresita que en Marahue, debido a la menor fertilidad nitrogenada (Figura 5). De la misma manera que en el IV, en ambos ensayos las diferencias en ISN entre tratamientos fueron más reducidas en etapas tempranas que en etapas tardías del cultivo. Esta tendencia también fue observada a comienzo de encañazón y hacia llenado de grano por Andrián *et al.* (2001) y por Urricariet y Zubillaga (2001), respectivamente. Dentro de cada medición, el ISN discriminó los tratamientos de igual manera que el IV. El comportamiento similar entre IV e ISN se explica por el empleo de la misma variedad de trigo y prácticas de manejo de cultivo similares.

Se encontraron ajustes significativos entre IV e ISN y rendimiento en grano en todos los estados de evaluación (Tabla 3). Estos ajustes fueron bajos durante el macollaje de trigo (GS20 y GS21), indicando que el IV y el ISN no son adecuados predictores del rendimiento en estados de desarrollo tempranos del cultivo. Estudios realizados en maíz sugieren que la escasa relación entre el ISN, y el rendimiento en grano se debe a que las diferencias en rendimiento fueron causadas por deficiencias o por suministros de N por mineralización en etapas tardías (Blackmer y Schepers,

1995). En estadios más avanzados (a partir de GS32), la relación entre el IV e ISN y rendimiento mejoró, logrando el mayor ajuste en GS50 ($R^2 = 0.84$ para IV e ISN) (Tabla 3). Las relaciones más estrechas encontradas en estadios avanzados entre IV e ISN y rendimiento, coinciden con los resultados obtenidos en trigo por Andrián *et al.* (2001) y Urricariet y Zubillaga (2001), quienes observaron una estrecha relación entre ambas variables a partir de anthesis y llenado de grano, respectivamente. Sainz Rozas y Echeverría (1998) también obtuvieron menores ajustes en estadios tempranos en maíz, haciéndose más estrecha la relación entre estas variables alrededor de la etapa de floración.

Las relaciones entre IV e ISN de la hoja bandera y contenido de proteína en grano en GS50 y GS65 (Tabla 4) presentaron bajos ajustes ($R^2 < 0.5$); esto sugiere que una proporción importante del N de la proteína puede haber sido absorbido durante el llenado de los granos. Evans *et al.* (1983) explican que en condiciones que permiten la absorción de N durante el llenado de los granos, como podría haber ocurrido en Marahue, más de la mitad de la

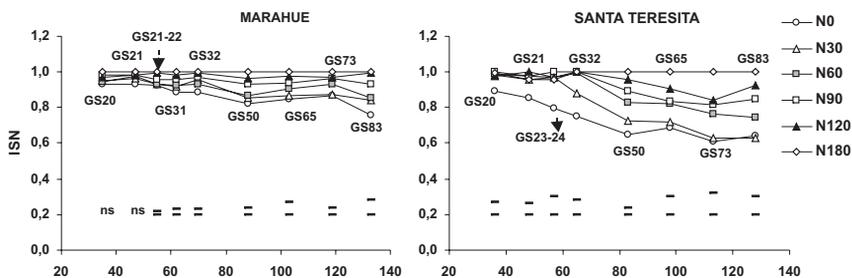


Figura 5. Evolución del índice de suficiencia de N (ISN) en ambos ensayos durante el ciclo del cultivo de trigo, con los tratamientos 0 (N0), 30 (N30), 60 (N60), 90 (N90), 120 (N120) y 180 (N180) kg N ha⁻¹. DDS= días desde la siembra, GS20= un tallo, GS21= macollaje, GS21-22= macollaje, GS23-24= macollaje, GS31= 1 nudo detectable (inicio de encañazón), GS32= 2 nudos detectables (encañazón), GS50= comienzo de espigazón, GS65= mitad de anthesis, GS73= grano lechoso temprano, GS83= grano pastoso temprano.

Tabla 3. Relación entre el índice de verdor (IV) y el índice de suficiencia de N (ISN) con el rendimiento en grano del cultivo de trigo (Rto) para ambos ensayos, en GS20 (un tallo), GS21 (macollaje), GS32 (encañazón), GS50 (espigazón), GS65 (mitad de antesis) y GS73 (grano lechoso temprano). Todas las regresiones resultaron significativas ($p < 0.05$).

Fenología	X=IV		X=ISN	
	Ecuación de regresión	R ²	Ecuación de regresión	R ²
GS 20	$Rto = -55.5 x^2 + 4969 x - 104632$	0.59	$Rto = -162680 x^2 + 326318 x - 157396$	0.28
GS 21	$Rto = -20.2 x^2 + 2078 x - 46099$	0.45	$Rto = -59837 x^2 + 128032 x - 61924$	0.38
GS 32	$Rto = -33.7 x^2 + 2896 x - 55857$	0.68	$Rto = -57860 x^2 + 116442 x - 52257$	0.70
GS 50	$Rto = -21.6 x^2 + 1750 x - 28864$	0.84	$Rto = -37217 x^2 + 72560 x - 28805$	0.84
GS 65	$Rto = -24.0 x^2 + 1959 x - 33357$	0.71	$Rto = -40850 x^2 + 78639 x - 31323$	0.76
GS 73	$Rto = -14.5 x^2 + 1131 x - 15542$	0.81	$Rto = -24005 x^2 + 46981 x - 16434$	0.80

proteína puede derivar de la absorción durante este período. Por otra parte, como fue sugerido, en condiciones de menor fertilidad como en Santa Teresita, la espigazón suele provocar un pronunciado agotamiento del N en el suelo, existiendo una baja absorción durante el periodo de llenado, y de este modo la mayor

Tabla 4. Relación entre el índice de verdor (IV) y el índice de suficiencia de N (ISN) con el contenido de proteína en grano de trigo (Prot), para ambos ensayos, en GS50 (espigazón), GS65 (mitad de antesis) y GS73 (grano lechoso temprano). Todas las regresiones resultaron significativas ($p < 0.05$).

Fenología	X=IV		X=ISN	
	Ecuación de regresión	R ²	Ecuación de regresión	R ²
GS50	$Prot = 0.18 x + 4.6$	0.27	$Prot = 0.13 x^2 + 7.02 x + 4.8$	0.26
GS65	$Prot = 0.23 x + 2.8$	0.26	$Prot = 26.4 x^2 - 34.02 x + 20.5$	0.50
GS73	$Prot = 0.016 x^2 - 0.87 x + 20.8$	0.82	$Prot = 24.7 x^2 - 31.3 x + 19.3$	0.61

parte del N del grano proviene de la removilización desde las hojas y tallos (Evans *et al.*, 1983). Las estrechas relaciones entre el contenido de proteína y el IV e ISN de la hoja bandera en GS73 (Tabla 4) coinciden con lo reportado por Echeverría y Studdert (2001). Por lo tanto, el IV y el ISN en hoja bandera a GS73 serían buenos indicadores del contenido de proteína en grano a cosecha.

CONCLUSIONES

Para ensayos con diferente disponibilidad de N, ubicados en el sudeste bonaerense, el IV permitió monitorear el status de N del cultivo de trigo ya que presentó valores más altos en el sitio de mayor fertilidad nitrogenada y disminuyó a medida que avanzó el ciclo del cultivo, siendo esta disminución más pronunciada para el tratamiento N0 y más atenuada en N180.

El ISN presentó un comportamiento similar al IV, debido a que se empleó la misma variedad de trigo y prácticas de manejo de cultivo similares.

Al macollaje, se determinó una baja relación entre IV e ISN con el rendimiento en grano. A partir de encañazón se alcanzaron ajustes aceptables entre dichas variables, lo que evidencia la habilidad predictiva que tienen tanto el IV como el ISN sobre el rendimiento en estados avanzados del cultivo.

El IV y el ISN determinados sobre la hoja bandera, el comienzo de espigazón y anthesis presentaron bajos ajustes con el contenido de proteína en grano. Al estadio de grano lechoso temprano, las relaciones obtenidas entre dichas variables evidenciaron buenos ajustes, pudiendo considerarse adecuados indicadores del contenido de proteína en grano a cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P. E., F. ANDRADE, Y J. P. CULOT. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. EEA INTA Balcarce. 17 p.
- ANDRIÁN, M. L., R. J. MELCHIORI, O. P. CAVIGLIA, P. A. BARBAGELATA, Y O. F. PAPANOTTI. 2001. Evaluación de la nutrición nitrogenada en trigo por medio de un índice de verdor en hojas. V Congreso Nacional de Trigo – III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño - Invernal. Carlos Paz, Córdoba. Actas en CD.
- BLACKMER, T. M. Y J. S. SCHEPERS. 1995. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. J. Prod. Agric. 8 (1): 56 - 60.
- BREMNER, J. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Agron. 9. pp: 1179 - 1237.

- BREMNER, J. M. Y C. MULVANEY. 1982. Nitrogen-total. In Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9, 2nd. Edition. A. Page (ed.) Madison, Wisconsin, USA. p. 595 -624.
- CASTELLI, F., R. CONTILLO Y F. MICELI. 1996. Non destructive determination of leaf chlorophyll content in four crop species. J. Agron. & Crop Sci. 177, pp 275 - 283.
- ECHEVERRÍA, H. E. Y G. A. STUDDERT. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. Ciencia del Suelo 19 (1), pp: 67 - 74.
- EVANS, L. T., I. F. WARDLAW Y R. A. FISHER. 1983. Trigo. En Fisiología de los cultivos, Evans L. T. (ed). Cap. 5, 1ª ed. Hemisferio Sur, Buenos aires. p. 113 - 164.
- FALÓTICO, J. L., G. A. STUDDERT Y H. E. ECHEVERRÍA. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Ciencia del Suelo 17 (2), pp 9 - 20.
- FINNAN, J. M., J. I. BURKE Y M. B. JONES. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). Irish Journal of Agricultural and Food Research 36, pp 85 - 89.
- FOX, R. H., W. P. PIEKIELEK Y K. E. MACNEAL. 2001. Comparison of late - season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. Agron. J. 93: 590 - 597.
- GRAVELLE, W. D., M. M. DE BRANN, Y K. JOSEPH. 1988. Split spring N application effects on yield, lodging, and nutrient uptake of soft red winter wheat. J. Prod. Agric. 1, pp 249 - 256.
- GRINDLAY, D. J. C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. Journal of Agricultural Science 128, pp 377 - 396. Cambridge.
- MURDOCK, L., S. JONES, C. BOWLEY, P. NEEDHAM, J. JAMES Y P. HOWE. 1997. Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat. Coop. Ext. Serv., University of Kentucky.
- PELTONEN, J., A. VIRTANEN Y E. HAGGRÈN. 1995. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. J. Agron. & Crop Sci. 174, pp 309 - 318.
- PETERSON, T. A., T. M. BLACKMER, D. D. FRANCIS Y J. S. SCHEPERS. 1993. Using a chlorophyll meter to improve N management. Nebguide G93-1171-A. Coop. Ext. Serv., University of Nebraska, Lincoln.
- PIEKIELEK, W. P. Y R. H. FOX. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. Agron. J. 84, pp 59 - 65.
- PIEKIELEK, W. P., R. H. FOX, J. D. TOTH Y K. E. MACNEAL. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. Agron. J. 87, pp 403 - 408.
- SAINZ ROZAS, H. Y H. E. ECHEVERRÍA. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 103 (1), pp 37 - 44.

- SAS INSTITUTE INC. 1985. User's guide. Statistics versión 5 edition. SAS Int. Inc. NC, USA.
- SCHEPERS, J., T. BLACKMER Y 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.
- STRADA, R. A. Y H. E. ECHEVERRÍA. 1998. Comparación del contenido de clorofila en cultivares de trigo pan. IV Congreso Nacional de Trigo - II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño - Invernal. Mar del Plata, Buenos Aires. Sección: 3 - 50.
- URRICARIET, S. Y M. M. ZUBILLAGA. 2001. Fotografía aérea color e índice de verdor como posibles indicadores de respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo. V Congreso Nacional de Trigo - III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño - Invernal. Carlos Paz, Córdoba. Actas en CD.
- 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, EEUU. pp. 36 - 43.
- ZADOKS, J. C., T. T. CHANG Y C. F. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14, pp 415 - 421.

Original recibido el 26 de mayo de 2004