

METODOS RAPIDOS DE ANALISIS DE PLANTAS PARA EVALUAR LA NUTRICION NITROGENADA DEL CULTIVO DE TRIGO

HE ECHEVERRIA, RA STRADA, GA STUDDERT

Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

Recibido 27 de junio de 2000, aceptado 5 de octubre de 2000.

RAPID METHODS OF PLANT ANALYSIS TO EVALUATE WHEAT NITROGEN NUTRITION

There is a lack of information about the effectiveness of quick methods to evaluate wheat nitrogen nutrition through determinations in the crop. The aim of this work was to determine: a) the relationship between the nitrate concentration at tillering determined in the laboratory on dried stems (BS) and the nitrate concentration determined with a portable reflectometer in the expressed sap (JBT), and b) the relationship between this method and the leaf greenness index (IV) measured *in situ* with a chlorophyll meter, and wheat grain yield. Two experiments with a randomized complete block experimental design and a factorial treatment arrangement, were carried out in 1997. The treatments were the combination of three nitrogen rates (0, 60 and 120 kg N ha⁻¹) and four wheat varieties (similar growing cycle). Nitrate concentration in JBT was related to BS and decreased with plant age and increased with the increase in the nitrogen fertilization rate. The effect of variety was of low impact on both, JBT and BS. The determined thresholds of nitrate concentration in the JBT to achieve approximately 90% of maximum yield were 1,92, 1,34 and 0,58 g L⁻¹ for double ridge, glumme primordium and terminal spikelet, respectively. The IV depended on the nitrogen supply and varied with the varieties. The correlation between nitrogen sufficiency index (ISN) and wheat yield were high ($r^2 = 0,89$) during the tillering. Nitrate concentration in the JBT and ISN in leaves at tillering of wheat are promising estimators of the crop nitrogen nutrition status.

Key words: Wheat, Pseudo stem nitrate - Greenness index - Nitrogen - Varieties.

INTRODUCCION

Para el cultivo de trigo se han desarrollado métodos de diagnóstico basados en el contenido de las formas minerales en el suelo al momento de la siembra o al macollaje (González Montaner *et al.* 1991, García *et al.* 1998). Esta metodología no contempla, o lo hace parcialmente, al aporte por mineralización y las posibles pérdidas de nitrógeno durante los primeros estadios de desarrollo del cultivo.

Los análisis del contenido de nitratos en seudo tallos, durante el período de macollaje del trigo, surgen como una alternativa de diagnóstico promisorio, ya que tienen la ventaja de integrar los efectos del suelo y de los factores ambientales sobre la nutrición nitrogenada del cultivo, en el período siembra-macollaje (Papastylianou, Puckridre 1981). Papastylianou *et al.* (1984) reportaron que, mediante la determinación de la concentración de nitratos en seudo tallos, se podían predecir las necesidades de fertilizantes nitrogenados y diferenciar los efectos del barbecho y de rotacio-

nes con leguminosas o gramíneas sobre el cultivo de trigo siguiente. Además, Echeverría *et al.* (1992) y Viglezzi *et al.* (1996), determinaron que reflejaba la disponibilidad de nitrógeno provocada por diferentes manejos de suelo y dosis de fertilizantes nitrogenados. A su vez, Strada *et al.* (2000) determinaron estrechas relaciones entre la concentración de nitratos en seudo tallos durante el macollaje y el rendimiento en grano.

El hecho de que las variedades de trigo provenientes de una amplia base genética, poseen distinta capacidad para acumular nitratos (Huffaker, Rains 1978, Alberdi *et al.* 1989), es un inconveniente para el uso de esta metodología. No obstante, para algunos cultivares de trigo de uso generalizado en el Sudeste Bonaerense, no fue posible afirmar que existiera una capacidad diferencial de las variedades para acumular o reducir nitratos (Strada *et al.* 2000).

Para el estadio de macollaje temprano, se ha determinado un umbral de concentración de N-NO₃⁻ en seudo tallos de trigo de 8±2

g kg⁻¹ para alcanzar el 90% del rendimiento máximo (Papastylianou *et al.* 1984). Considerando que se han determinado disminuciones durante el macollaje (Westfall *et al.* 1990, Vignuzzi *et al.* 1996), es necesario precisar los umbrales de concentración de nitratos durante dicho período que se relacionen con los máximos rendimientos, a fin de caracterizar la nutrición nitrogenada. Para el sudeste bonaerense, se han determinado umbrales de concentración de N-NO₃ de 7,9, 4,8 y 2,5 g kg⁻¹ para obtener 93, 95 y 94% del rendimiento máximo en doble arruga (DA), primordio de gluma (PG) y espiguilla terminal (ET), respectivamente (Strada *et al.* 2000). Los umbrales mencionados, fueron determinados sobre muestras secas y molidas (base seca, BS) por el método del ácido fenoldisulfónico, el que posee la desventaja de requerir el envío de las muestras al laboratorio y de dos días o más para la realización de los análisis.

Una posible alternativa a la determinación del contenido de N-NO₃ en BS es la determinación del contenido de nitratos en el jugo de la base de los tallos (JBT) obtenido por presión del material vegetal fresco (González Montaner 1987, Justes *et al.* 1995). La cuantificación del contenido de nitratos en el JBT se puede realizar con bandas reactivas específicas en un reflectómetro portátil, lo que brinda una lectura rápida y directa de la concentración de nitratos. No obstante, no se dispone de información acerca de la existencia de relación entre los métodos de BS y JBT y de la eventual constancia de la misma. En el método de JBT el extracto, a veces mal llamado savia, está compuesto por líquido apoplásmico, savia, citosol y líquido vacuolar, siendo este último el componente más importante (Justes *et al.* 1995). La concentración de nitratos en el JBT puede variar con el estado hídrico del cultivo, lo que podría afectar la relación entre las determinaciones en BS y JBT. El JBT ha sido utilizado satisfactoriamente en Francia para diagnosticar los requerimientos de nitrógeno en trigo (González Montaner 1987, Justes 1993) y es comercializado bajo el nombre comercial de JUBIL® (Justes *et al.* 1995).

Por otra parte, la concentración de nitrógeno en las hojas es una variable que ha sido empleada en numerosas oportunidades

como un indicador de la nutrición nitrogenada de los cultivos (Benton Jones 1998). Su utilización en la práctica es poco factible, debido a que las técnicas de determinación son laboriosas y caras. No obstante, se ha establecido que la concentración de nitrógeno en las hojas de las gramíneas se relaciona con el contenido de clorofila de las mismas (Piekielek, Fox 1992). Esta, a su vez, se relaciona estrechamente con la intensidad del color verde de las hojas que puede ser determinado con "medidores de clorofila", resultando en el índice de verdor (IV) (Schepers *et al.* 1990, Finnan *et al.* 1997). La ventaja del IV con respecto a los métodos tradicionales de análisis de suelo o planta, radica en el menor esfuerzo y la rapidez con que son obtenidos los resultados. No obstante, se ha señalado como inconveniente que el medidor de clorofila es útil para el monitoreo de la disponibilidad de nitrógeno, sólo en estadios de desarrollo avanzados del cultivo (Falótico *et al.* 1999) y que es afectado por características genéticas de las variedades. Varvel *et al.* (1997) propusieron la determinación, a partir del IV, del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN), a fin de relativizar esta limitante.

En base a los antecedentes presentados, para diferentes variedades y ante suministro variable de nitrógeno, es factible hipotetizar que: a) las concentraciones de nitratos en la base de los seudo tallos de trigo determinadas por los métodos de BS y JBT, están relacionadas y no son afectadas por las variedades, b) el IV y el ISN en hoja y el JBT durante el macollaje, se asocian al rendimiento del cultivo y c) a igual suministro de nitrógeno el IV varía entre variedades. Se plantean como objetivos: a) determinar la concentración de nitratos en el JBT y en BS, b) evaluar la relación entre los contenidos de nitratos en seudo tallos determinados por los métodos BS y JBT y c) determinar los umbrales de concentración de nitratos durante el macollaje que se relacionen con los máximos rendimientos para JBT, IV e ISN.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se efectuaron dos ensayos a campo durante 1997 en la Unidad Integrada Balcarce (EEA INTA Balcarce-FCA UNMdP). Los detalles de las características de suelo y clima, como así también de manejo de

suelo y cultivo han sido descriptas en Strada *et al.* (2000). Se mencionan a continuación las características más relevantes. El primer ensayo se sembró el 18/07 y el segundo el 1/08, se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y un arreglo factorial de tratamientos: cuatro cultivares [Klein Cacique (KC) de ciclo intermedio largo y ProINTA Oasis (PO), ProINTA Quintal (PQ) y Buck Guaraní (BG) de ciclo intermedio corto] y tres dosis de nitrógeno aplicadas al voleo a la siembra bajo la forma de urea (0, 60 y 120 kg N ha⁻¹). Se realizaron balances hídricos con el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), para cada fecha de siembra. La primera fecha de siembra fue realizada sobre un suelo profundo (100 cm) y la segunda sobre uno con tosca a 50 cm de profundidad.

Durante el macollaje se realizaron determi-

naciones de la concentración de nitratos en los seudo tallos de trigo en tres estadios de desarrollo: DA, PG y ET (determinados según Kirby, Appleyard 1984). Para ello, se tomaron 100 plantas por parcela antes de las 10 h y se eliminaron las láminas y las raíces. El contenido de nitratos en el JBT se determinó en el día de realizado el muestreo a partir del extracto obtenido al prensar los seudo tallos con una prensa hidráulica manual. Se tomó 1 mL de dicho extracto, se lo diluyó con agua según la concentración de nitratos esperada (1:20 mL; para DA y PG y 1:5 mL para ET) y se lo homogeneizó. Posteriormente, se introdujo una banda reactiva (Merck 10020) en el colorímetro (Nitratecheck 404) y se fijó el blanco. La misma banda se introdujo luego en la solución diluida de JBT durante 2 segundos, se retiró y se eliminó el exceso de solución y luego de 1 minuto se la colocó

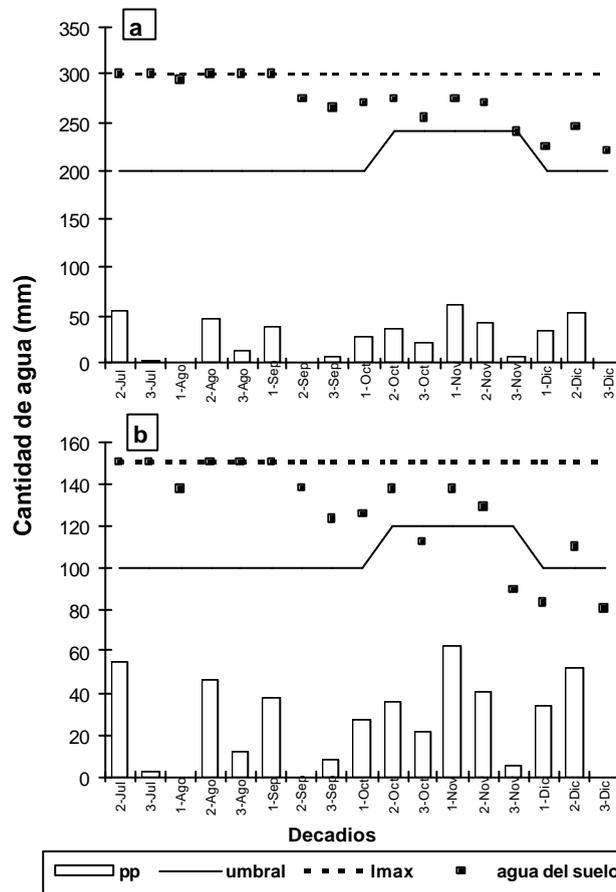


Figura 1. Balances hídricos calculados con el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997) para la primera y segunda fecha de siembra, para una profundidad efectiva de suelo de 100 y 50 cm, respectivamente. pp= precipitación decádica, Imáx= límite máximo de almacenaje de agua del suelo, umbral= umbral de riego determinado por el programa.

Figure 1. Water balance for the first and second sowing dates calculated through the program Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), up to 100 and 50 cm soil depth, respectively. pp= ten day precipitation, Imáx= soil water holding capacity, umbral= irrigation threshold determined by the program.

Tabla 1. Promedio a través de dosis de fertilización y de variedades del contenido de nitratos en el jugo de la base del tallo (JBT) y del índice de verdor de trigo, en tres estadios de desarrollo durante el macollaje, para dos fechas de siembra. DA= doble arruga; PG= primordio de gluma; ET= espiguilla terminal; KC= Klein Cacique; PO= ProINTA Oasis; PQ= ProINTA Quintal; BG= Buck Guaraní.

Table 1: Means through nitrogen rates and varieties of nitrate concentration in stem base extract (JBT) and greenness index of wheat at tree development stages during tillering, at two sowing dates. DA: double ridge, PG: glumme primordium, ET: terminal spikelet; KC= Klein Cacique; PO= ProINTA Oasis; PQ= ProINTA Quintal; BG= Buck Guaraní.

Nitratos en el JBT de trigo							
Trat.	Fecha de siembra 18/7/97			Fecha de siembra 1/8/97			
	DA	PG	ET	DA	PG	ET	
----- mg kg ⁻¹ -----							
Prom. nitrógeno	0	891 c	406 c	124 c	871 c	402 c	228 c
	60	1723 b	872 b	872 b	2015 b	1232 b	832 b
	120	2095 a	1286 a	1286 a	2505 a	2015 a	1704 a
Prom. variedad	PO	1743	887	355 ab	1898	1300	990
	KC	1593	828	275 b	1764	1140	780
	BG	1488	898	468 a	1797	1246	944
	PQ	1428	808	343 ab	1729	1180	971
CV (%)	29	36	41	22	16	37	

Índice de verdor							
Trat.	Fecha de siembra 18/7/97			Fecha de siembra 1/8/97			
	DA	PG	ET	DA	PG	ET	
----- SPAD -----							
Prom. nitrógeno	0	nd	35,1 c	nd	34,4 c	nd	34,0 c
	60	nd	40,2 b	nd	38,1 b	nd	38,0 b
	120	nd	42,8 a	nd	40,6 a	nd	40,9 a
Prom. variedad	PO	nd	42,9 a	nd	40,4 a	nd	40,0 a
	KC	nd	39,9 b	nd	39,2 a	nd	38,1 b
	BG	nd	38,4 bc	nd	36,2 b	nd	36,5 c
	PQ	nd	36,9 c	nd	35,0 c	nd	35,8 c
CV (%)	--	6,1	--	7,1	--	3,2	

nd= no determinado. CV = coeficiente de variación. Para cada variable, valores seguidos por letras diferentes difieren entre si según la prueba de Duncan (P<0,05).

nuevamente en el colorímetro. La lectura se multiplicó por la dilución para obtener la concentración de nitratos (mg NO₃⁻ L⁻¹) en el JBT. La información utilizada de la concentración de nitratos en BS es la reportada por Strada *et al.* (2000).

Se realizaron determinaciones del IV con el Minolta SPAD 502 (Minolta Co. Ltd.) entre el borde y la nervadura central de la última hoja totalmente expandida. Se registró el promedio de 30 lecturas por parcela en unidades SPAD, en tres momentos: PG para la primera fecha de siembra y DA y ET para la segunda fecha. Posteriormente,

se calculó el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) para cada variedad en cada ensayo, a partir del cociente entre el IV de un tratamiento dado y el correspondiente al tratamiento con 120 kg N ha⁻¹ asumiendo que éste no presentaba limitación de nitrógeno.

Se realizó el análisis de varianza de los resultados obtenidos y cuando se determinaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Duncan para comparar las medias de tratamientos. Se efectuaron análisis de regresión lineal simple entre algunas de las variables evaluadas. La

relación entre el rendimiento y la concentración de nitratos, se evaluó a través de un modelo lineal-meseta ajustado por regresión no-lineal (Steel, Torrie 1960).

RESULTADOS Y DISCUSION

El suelo de la primera fecha de siembra presentó un mayor contenido hídrico, respecto al de la segunda (Fig. 1). La diferencia más notable entre ambos sitios, fue la menor cantidad de agua retenida en el suelo de la segunda fecha de siembra, debido principalmente a una menor profundidad efectiva. De todas formas, los déficits calculados por el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), para la segunda fecha de siembra, no fueron de gran magnitud, ya que el agua almacenada en el suelo rara vez fue menor que el umbral de riego determinado por el programa y los rendimientos máximos no fueron diferentes entre fechas de siembra ($6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Strada *et al.* 2000).

La concentración de nitratos en JBT disminuyó con el avance del desarrollo de las plantas de trigo (Tabla 1) coincidiendo con lo reportado por Strada *et al.* (2000) respecto a la concentración de N-NO_3^- en BS para estos mismos ensayos. No hubo efecto significativo ($P > 0,05$) de la interacción entre las dosis de nitrógeno y las variedades de trigo sobre la concentración de nitratos en JBT. El efecto de la dosis de nitrógeno fue altamente significativo ($P < 0,01$) en todos los casos analizados, correspondiendo los mayores valores de concentración de nitratos en JBT a las dosis más elevadas, al igual que lo determinado por el análisis en BS (Strada *et al.* 2000). El efecto observado de la edad de la planta y de las dosis de nitrógeno coincide con lo reportado por Herfurth *et al.* (1997) para maíz, y por Echeverría (1985) y Vignozzi *et al.* (1996) para trigo.

En cuanto al efecto producido por las variedades sobre la concentración de nitratos en el JBT, solamente en el estadio de ET en la primera fecha de siembra, se determinaron diferencias entre materiales (Tabla 1). Estas diferencias no fueron consistentes en las otras fechas de muestreo y por lo tanto, es posible afirmar que no existe una marcada capacidad diferencial entre las variedades estudiadas para acumular o reducir nitratos. Estos resultados

confirman los obtenidos por Strada *et al.* (2000) sobre BS, los que se podrían explicar por la estrecha base genética de estos materiales.

En la Figura 2 se presenta la relación entre la concentración de nitratos sobre BS y en el JBT, para las dos fechas de siembra y los tres momentos de muestreo. Se determinaron líneas de ajuste diferentes entre las dos fechas de siembra con elevados coeficientes de determinación, orígenes coincidentes ($P > 0,05$), y mayor pendiente ($P < 0,05$) para la segunda. Por lo tanto, a igual concentración de nitratos determinados sobre BS, correspondieron mayores valores de concentración de nitratos en el JBT en la segunda fecha de siembra con respecto a la primera. Una posible explicación a este comportamiento podría ser la mayor disponibilidad hídrica para la primera fecha de siembra (Figura 1), originada en la mayor profundidad de suelo, que podría haber diluido la concentración de nitratos en el JBT. Independientemente del motivo del comportamiento descrito, estos resultados impiden transformar los valores de un método en otro, y de esta forma deben definirse umbrales específicos para cada método.

Para el conjunto de las variedades evaluadas, se definieron los umbrales de concentración de nitratos en el JBT de 1,92, 1,34 y $0,58 \text{ g L}^{-1}$ para obtener el 89, 93 y 89% del rendimiento máximo para DA, PG y ET, respectivamente (Figura 3). Para esta variable, Justes *et al.* (1995) determinaron un umbral en el estadio de ET de $1,9 \pm 0,4 \text{ g L}^{-1}$, que supera al determinado en este trabajo para el mismo estadio. Para establecer dicho umbral aquellos autores emplearon el denominado índice de nutrición nitrogenada (INN) igual a 1 (el que indica que la concentración de nitrógeno en planta es tal que permite obtener la máxima tasa de crecimiento del cultivo), calculado 50°C d^{-1} después de la determinación del contenido de nitratos en el JBT, puesto que la acumulación de nitrógeno es posterior a la absorción de nitratos en la planta. Desde el punto de vista práctico, es discutible el elevado valor de INN escogido, puesto que podría justificarse la utilización de un valor más conservador (0,8 o 0,9), lo que se traduciría en un umbral de concentración de nitratos en el JBT menor. Además, es necesario conside-

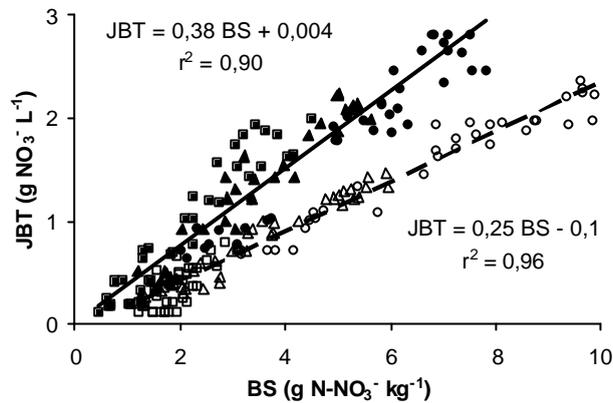


Figura 2. Relación entre los contenidos de nitratos al macollaje determinados sobre base seca (BS) (Strada et al 2000) y en el jugo de la base del tallo (JBT), para la primera (símbolos vacíos y línea discontinua) y la segunda (símbolos llenos y línea continua) fecha de siembra. DA=doble arruga (círculos), PG=primordio de gluma (triángulos), ET=espiquilla terminal (cuadrados).

Figure 2. Relationship between nitrate concentration at tillering determined in dried plant material (BS) (Strada et al 2000) and in stem base extract (JBT), for the first (empty symbols and dashed line) and the second (filled symbols and continuous line) sowing dates. DA=double ridge (circles), PG=glumme primordium (triangles), ET=terminal spikelet (squares).

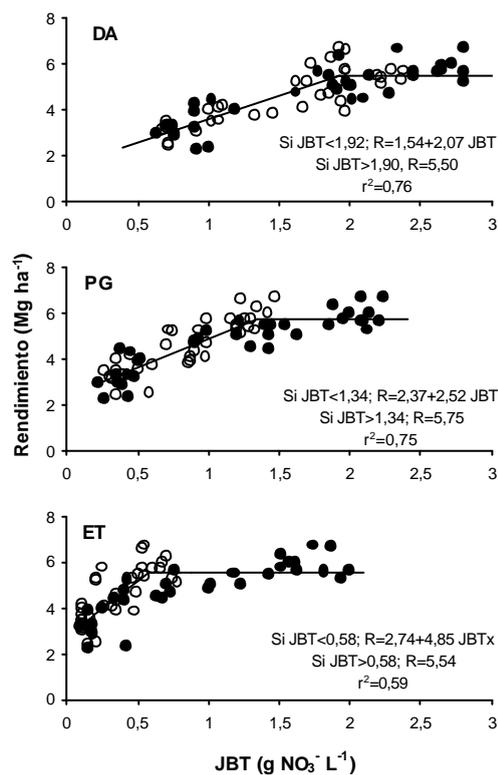


Figura 3. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el contenido de nitrato determinado en el jugo de la base del tallo (JBT) durante el macollaje. DA=doble arruga; PG=primordio de gluma; ET=espiquilla terminal. Círculos vacíos y llenos representan la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente.

Figure 3. Relationship between wheat grain yield and nitrate concentration determined in stem base extract (JBT) during tillering. DA=double ridge, PG=glumme primordium, ET=terminal spikelet. Empty and filled circles correspond to the first and second sowing date, respectively.

rar que los trigos empleados en la experiencia de Justes *et al.* (1995) poseen potenciales de rendimiento muy superiores a los empleados en esta experiencia, lo que también contribuiría a explicar la diferencia en los umbrales determinados.

Las relaciones presentadas en la Figura 3 y particularmente las obtenidas para los estadíos de DA y PG, permiten definir situaciones de estrés nitrogenado y por lo tanto podrían ser utilizadas como guía para realizar aplicaciones de fertilizantes nitrogenados durante el macollaje del cultivo. No obstante, las mismas no permiten la definición de dosis de fertilización. El JBT no refleja el flujo instantáneo de absorción de nitrato, sino que representa la integración del flujo de absorción de nitrato desde las raíces a la parte aérea durante los días previos a la medición. Esta integración es una buena cualidad para un indicador que refleja el estado de nutrición nitrogenada del cultivo (Justes *et al.* 1995). No obstante, como consecuencia de lo mencionado, cualquier factor que altere el flujo de nitratos desde las raíces (por ejemplo estrés de agua) afectará las bondades de este indicador.

Al igual que para la concentración de nitratos en JBT, no hubo efecto significativo ($P>0,05$) de la interacción entre las variedades y las dosis de nitrógeno sobre el IV. En la Tabla 1 se presentan los promedios de IV para las dosis de nitrógeno y las variedades y se observa que sus efectos fueron significativos ($P<0,05$). Los mayores valores de concentración de nitratos correspondieron a la dosis de 120 kg N ha⁻¹ y los menores a los testigos sin nitrógeno.

En la Figura 4 se presenta la relación entre el rendimiento en grano del cultivo y el IV. Se puede observar que, a mayor contenido de clorofila, el rendimiento aumenta hasta un punto umbral, en el cual los rendimientos se hacen constantes. De manera análoga a lo realizado con la concentración de nitratos en el JBT, se definieron umbrales de 41,5, 41,6 y 41,2 unidades SPAD para llegar al 96, 96 y 98% del rendimiento máximo en PG de la primera fecha de siembra, DA y ET de la segunda fecha de siembra, respectivamente. No se determinaron diferencias ($P>0,05$) en los valores de la ordenada al origen, la pendiente

ni el valor del umbral entre momentos de muestreo, por lo tanto, para las condiciones de este trabajo no se determinaron cambios en los valores del umbral de IV durante el macollaje del trigo.

En cuanto al efecto producido por las variedades, sobre el IV, estas diferencias fueron consistentes entre las fechas de muestreo y, por lo tanto, es posible afirmar que los diferentes cultivares presentan diferentes intensidades de verde (Tabla 1). Los mayores valores de IV correspondieron a PO y los menores a PQ, en una posición intermedia se ubicaron KC y BG. Este efecto constituye un inconveniente para realizar comparaciones de las lecturas en unidades SPAD y fue señalado con anterioridad en híbridos de maíz (Varvel *et al.* 1997). Estos autores propusieron el empleo del ISN, con la finalidad de eliminar o disminuir las diferencias producidas por la coloración de híbridos de maíz. Para las distintas fechas de siembra, variedades y dosis de nitrógeno evaluadas, en la Figura 5 se presenta la estrecha relación entre el rendimiento del cultivo y el ISN. En función de ésta, para obtener el 90 y 95% del rendimiento máximo se necesitarían ISN de 0,96 y 0,98, respectivamente. Por lo tanto, durante el período del macollaje del cultivo, ISN menores que estos valores indicarían situaciones con deficiencias de nitrógeno y podrían ser utilizadas como guía para realizar aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. Se considera conveniente destacar que esta determinación posee la ventaja de ser no destructiva (Piekielek *et al.* 1995).

Para el cultivo de maíz en el Sudeste Bonaerense, se ha determinado que el IV es un estimador sensible de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo en estadíos avanzados, pero no se comportó adecuadamente en el estadío de V6 (Sainz Rozas, Echeverría 1998). Por el contrario, para el cultivo de trigo estos resultados sugieren que, aunque durante el macollaje el rango de valores del ISN es pequeño (0,8 a 1,0), el mismo permite separar situaciones que denuncian deficiencias de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Se establecieron relaciones estrechas entre la determinación de la concentración de

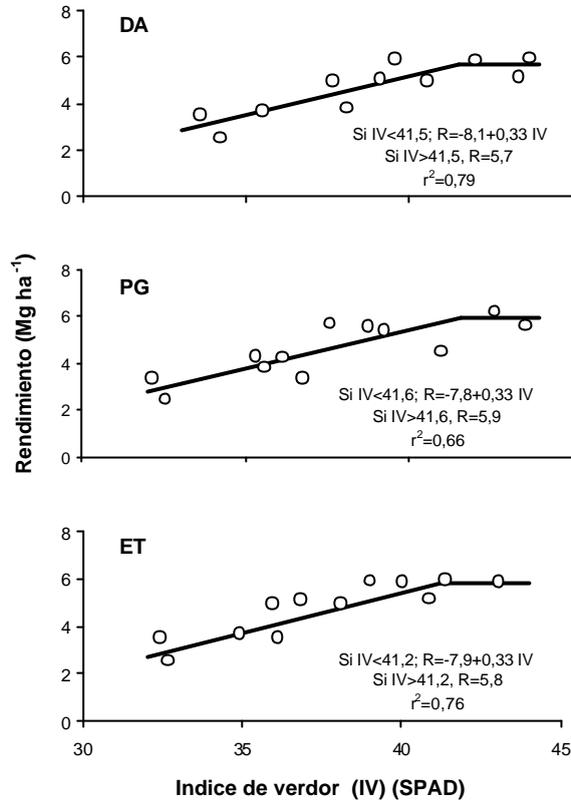


Figura 4. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el índice de verdor durante el macollaje. DA= doble arruga (segunda fecha de siembra); PG= primordio de gluma (primera fecha de siembra); ET= espiquilla terminal (segunda fecha de siembra).

Figure 4. Relationship between wheat grain yield and the greenness index during tillering. DA= double ridge (second sowing date), PG= glumme primordium (first sowing date), ET= terminal spikelet. (second sowing date).

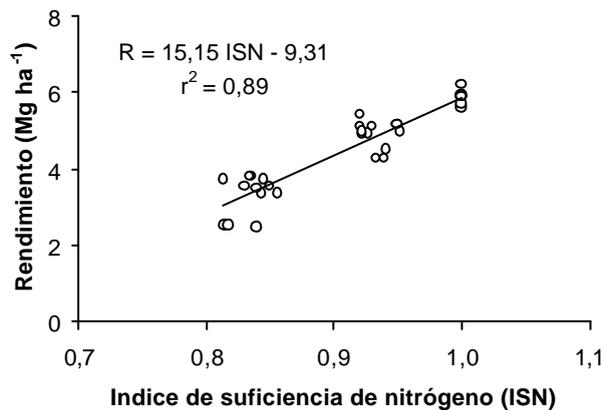


Figura 5. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el índice de suficiencia de nitrógeno durante el macollaje, para las diferentes fechas de siembra, variedades y dosis de nitrógeno evaluadas.

Figure 5. Relationship between the wheat grain yield and the nitrogen sufficiency index during tillering, for the different sowing dates, varieties and nitrogen rates studied.

nitratos en seudo tallos de trigo sobre BS y JBT, no obstante, no fue posible establecer una única relación para las situaciones evaluadas.

La concentración de nitratos en el JBT durante el macollaje de trigo se asoció a los rendimientos del cultivo, aunque los umbrales de respuesta disminuyen durante ese estadio. En condiciones similares a las estudiadas, el JBT es un aceptable indicador de la nutrición nitrogenada del trigo.

El IV varía en función de la disponibilidad de nitrógeno y de los materiales genéticos de trigo, durante el macollaje. El ISN remueve las diferencias provocadas por materiales genéticos y, por lo tanto, se presenta como promisorio indicador de la nutrición nitrogenada del trigo.

REFERENCIAS

- Alberdi H, Echeverría H E, Navarro C. 1989. Algunos factores que condicionan la concentración de nitratos en seudo tallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 7:31-35.
- Benton Jones J. 1998. *Plan nutrition manual*. CRC Press. Washington. Pp. 149.
- Echeverría H E. 1985. Factores que afectan la concentración de nitratos en plantas de trigo. *Ciencia del Suelo* 3:116-123.
- Echeverría H E, Navarro C A, Andrade FH. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci., Cambridge*. 118:157-163.
- Falótico J, Studdert, G A, Echeverría, HE. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 17:9-20.
- Finnan J M, Burke J I, Jones M B. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Irish J. Agric. Food Res.* 36:85-89.
- García F, Fabrizzi K, Berardo A, Justel F. 1998. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba. Mayo 1998. pp 109-110.
- Gonzalez Montaner J H. 1987. Deux outils d'analyse de la response du ble a la fertilisation azotee: Les composantes du rendement et la teneur en nitrates des organes vegetaux. M.S. These. Istitut National Agronomique. Paris - Grignon.
- Gonzalez Montaner J H, Maddoni G A, Mailland N, Posborg N. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo, a partir de un modelo de decisión para la subregión IV. *Ciencia del Suelo*. 9:41-51.
- Herfurth E, Echeverría H E, Uhart S A, Sainz Rozas H, 1997. Determinación de nitratos en la base del tallo como elemento diagnóstico de la nutrición nitrogenada en maíz. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Noviembre 1997. III: 87-93.
- Huffaker R C, Rains D W 1978. Factors influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. En: Nielsen DR and Mc Donald JG (Ed.). *Nitrogen in the Environment*. Academic Press, New York, Vol. 1, 143-155.
- Justes E 1993. Diagnostic de la nutrition azotée du blé, à partir de la teneur en nitrate de la base de la tige. Application au raisonnement de la fertilisation. Thèse de Docteur de l'INA-PG. Paris.
- Justes E, Mary B, Meynard J M. 1995. Evaluation of a nitrate test indicator to improve nitrogen fertilisation of winter wheat crops. Poitiers, France, 22-23 november 1995. Ed INRA, París, 1997 (Les Colloques, n°82)
- Kirby E J M, Apleyard M 1984. *Cereal developments guide*. 2nd Edition. Plant Breeding Institute Arable Unit. 95 p.
- Papastylianou I, Puckridge D W. 1981. Nitrogen nutrition of cereals in a short-term rotation. II: Stem nitrate as an indication of nitrogen availability. *Aust. J. Agric. Res.* 32:713-723.
- Papastylianou I, Graham R D, Puckridge D W 1984. Diagnosis of nitrogen status of wheat at tillering and prognosis for maximal grain yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13:473-485.
- Piekielek W P, Fox R H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- Piekielek W P, Fox R H, Toth J D, Kirsten E M. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.* 87: 403-408.
- Sainz Rozas H, Echeverría H E 1998. Uso del medidor de clorofila para el monitoreo de la nutrición nitrogenada del cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 103:37-44.
- Suero E, Irigoyen A, Della Maggiora A. 1997. Planificación de riego. VII Reunión Argentina y 1° Latinoamericana de Agrometeorología. Abril 1997. Buenos Aires. pp 43-44.
- Schepers J S, Francis D D, Clausen C. 1990. Techniques to evaluate N status of corn. P. 280. En *Agronomy Abstracts*, ASA, Madison, WI.
- Steel R G, Torrie J H. 1960. *Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- Strada R A, Echeverría H E, Studdert G A. 2000.

- Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en pseudo tallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 18:64-68.
- Varvel G E, Schepers J S, Francis D D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1233-1239.
- Viglezzi A, Echeverria H E, Studdert G A. 1996. Nitratos en pseudotallos de trigo. I. Indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14:57-62.
- Westfall D G, Whitney D A, Brandon D M. 1990. Plant Analysis as an aid in fertilizing small grain. pp. 495-519. En: R.L. Westerman (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed. – SSSA Book Series, n° 3. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.