

RELACIONES ENTRE LA PRODUCCION DE GRANO Y LA CONCENTRACION DE NITRATOS EN LOS SEUDO TALLOS DE VARIEDADES DE TRIGO.

RA Strada, HE Echeverría, GA Studdert.

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

E-mail: hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 13 de marzo de 2000, aceptado 28 de mayo de 2000.

RELATIONSHIP BETWEEN THE GRAIN YIELD AND THE STEM NITRATE CONCENTRATION OF WHEAT VARIETIES.

Plant analysis is a valuable tool for evaluating nitrogen availability to wheat because it combines soil and environmental effects. The aim of this work was to determine the relationships between nitrate concentration at tillering, in stems of wheat varieties with similar growth cycles, with wheat grain yield. In 1997, two nitrogen fertilization trials were carried out with two sowing times and four wheat varieties. In both experiences the average grain yield was 6,7 Mg ha⁻¹, and its variation was linearly related to the nitrogen fertilization rate ($R^2=0,78$). Average responses to the 120 and 60 kg ha⁻¹ nitrogen rates were 21 and 25 kg of grain per kg of nitrogen, respectively. Protein contents were inversely associated with grain yield ($R^2=0,45$), and were higher for the first sowing date. Seed size decreased with increment of the nitrogen fertilization rate. The nitrate concentration decreased with plant age and with the reduction in the nitrogen fertilization rate. The effect of variety was less important. Thresholds of stem nitrate concentration were determined to achieve 95% of maximum yield: 7,9, 4,8 and 2,5 g kg⁻¹ for double ridge, glumme primordium and terminal spikelet, respectively. Wheat stem nitrate concentration at tillering is a promising estimator of the crop nitrogen nutrition status.

Key words: nitrogen nutrition, stem nitrate, wheat, varieties.

Palabras clave: nutrición nitrogenada, nitratos en tallos, trigo, variedades.

INTRODUCCION

La determinación de la concentración de nitratos en pseudo tallos al macollaje fue utilizado con éxito como método de diagnóstico rápido de la fertilización nitrogenada de trigo (Echeverría *et al.* 1992). Varios factores deben ser considerados para interpretar la variación en los contenidos de nitratos en plantas de trigo, siendo los más relevantes: la hora de muestreo, el órgano a analizar, el estadio fenológico y la variedad (Westfall *et al.* 1990). Normalmente, a lo largo del día se registra una disminución de la concentración de nitratos en la planta, siendo la disminución mayor en las hojas que en vainas y tallos (Echeverría 1985). El factor que más afecta la concentración de nitratos en trigo es el estadio fenológico del cultivo. Los niveles de nitratos declinan notablemente hacia la madurez y, por lo tanto, el estadio de macollaje es el más indicado para predecir

deficiencias, ya que todavía no se han diferenciado la totalidad de los componentes del rendimiento (Alberdi *et al.* 1989). Por último, en condiciones intermedias de disponibilidad de nitrógeno, se han determinado diferencias en la capacidad para acumular nitratos en variedades de trigo, provenientes de una amplia base genética (Alberdi *et al.* 1989).

Papastylianou *et al.* (1984) reportaron que mediante la determinación de la concentración de nitratos en pseudo tallos de trigo recolectados en las primeras horas de luz del día, se podían predecir las necesidades de fertilizantes nitrogenados. Dicha determinación al estadio de espiguilla terminal (ET), reflejó la disponibilidad de nitrógeno provocada por diferentes manejos de suelo y dosis de fertilizantes nitrogenados, en el sudeste bonaerense (Viglezzi *et al.* 1996a). La relación entre la concentración de nutrientes

en los tejidos vegetales y los rendimientos es positiva hasta un valor de concentración (umbral), a partir del cual el rendimiento no se incrementa (Munson, Nelson 1990). Dicho comportamiento permitió definir un umbral de $1,25 \text{ g kg}^{-1}$ de N-NO_3^- en el estadio de ET para alcanzar el 94 % del rendimiento máximo para la variedad de trigo ProINTA Federal (Viglezzi *et al.* 1996b). Por regresión entre los contenidos de nitratos en ET y los determinados en estadios previos al mismo, se definieron valores de concentración de nitratos por encima de los cuales no se lograban aumentos en el rendimiento. Por otra parte, Papastylianou *et al.* (1984) definieron un umbral de concentración de N-NO_3^- de $8 \pm 2 \text{ g kg}^{-1}$ en macollaje temprano. Dicho umbral, es prácticamente el doble al determinado por Viglezzi *et al.* (1996b) para similar estadio de desarrollo ($4,6 \text{ g kg}^{-1}$). A fin de que esta metodología tenga aplicaciones prácticas, es necesario confirmar los umbrales determinados, en función de los cambios tecnológicos ocurridos en el cultivo de trigo para el sudeste bonaerense, durante los últimos años.

Considerando que los cultivares de trigo difundidos en el sudeste bonaerense poseen una base genética relativamente estrecha, es posible que no difieran en su capacidad de captar y asimilar nitratos, y que la concentración de estos en distintos momentos del macollaje permite diferenciar situaciones con deficiencia de nitrógeno. Se plantea determinar la concentración de nitratos en seudo tallos de variedades de trigo

de similar ciclo de crecimiento, en función de la disponibilidad de nitrógeno, y determinar la relación entre dicha concentración y el rendimiento en grano.

MATERIALES Y METODOS

Esta experiencia se desarrolló durante 1997 en el campo experimental y laboratorio de suelos de la Unidad Integrada Balcarce (EEA Balcarce INTA – FCA UNMdP), sobre un Paleudol Petrocálcico proveniente de maíz. Se realizaron dos ensayos, el primero se implantó el 18/07 y el segundo el 1/08. Se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones en un arreglo factorial de tratamientos: cuatro cultivares de trigo [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 N (0, 60 y 120 kg ha^{-1}). Este fue aplicado al voleo a la siembra, bajo la forma de urea (46-0-0). Las unidades experimentales fueron de $4,2 \text{ m}$ de ancho por 11 m de largo.

Al momento de la siembra, en promedio para ambos ensayos, se determinó una disponibilidad de 42 kg ha^{-1} de N-NO_3^- (0-60 cm), $12,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de P (0-20 cm) y un pH de 6,26 (0-20 cm). La disponibilidad de agua útil en dicho momento fue del 80 % y las precipitaciones durante el ciclo del cultivo fueron similares al promedio de los últimos 20 años (909 mm) (Est. Agrometeorológica E.E.A. INTA Balcarce). El cultivo fue realizado bajo labranza del tipo convencional (arado de reja y rastra de discos), utilizándose una densidad de siembra de $280 \text{ semillas m}^{-2}$. Para que el contenido de P no fuese limitante, se agregaron 100 kg ha^{-1} de 0-46-0. Las malezas fueron controladas en postemergencia (7 g de metsulfurón metil y 82 mL ha^{-1} de piclorám).

Durante el macollaje se realizaron

Tabla 1. Momento de muestreo de cada variedad en días después de la emergencia (dde), según fecha de siembra y estadio fenológico. DA=doble arruga, PG=primordio de gluma, ET=espiguilla terminal, PO=ProINTA Oasis, KC=Klein Cacique, BG=Buck Guaraní, PQ=ProINTA Quintal.

Table 1. Sampling time of each varieties in days after emergence (dde) at different sowing dates and development stages. Double ridge=DA, glumme primordium=PG, Terminal spikelet=ET, PO=ProINTA Oasis, KC=Klein Cacique, BG=Buck Guaraní, PQ=ProINTA Quintal.

Variedad		Primera fecha de siembra		Segunda fecha de siembra	
		PO - KC	BG - PQ	PO - KC	BG - PQ
		----- dde -----		----- dde -----	
Estadio fenológico	DA	47	42	44	39
	PG	56	51	55	48
	ET	68	61	65	58

determinaciones de la concentración de nitratos en los seudo tallos de trigo en tres estadios de desarrollo: doble arruga (DA), primordio de gluma (PG) y espiguilla terminal (ET). En la Tabla 1 se presentan los momentos en que se muestreó cada variedad, expresado en días después de la emergencia (dde). Para la determinación del contenido de nitratos, se tomaron aproximadamente 100 plantas de cada parcela antes de las 10 h. Se seccionaron las raíces y las láminas y se secaron en estufa a 60°C durante 18 h y se molieron por

mallá de 1 mm. La extracción de nitratos se realizó colocando 0,5 g de material vegetal con 200 mL de solución de K_2SO_4 (0,05 N). Se agitó durante 30 minutos y se dejó sedimentar. Se extrajeron 2 mL del sobrenadante y se los colocó en un vaso de precipitado llevándolos a sequedad en estufa a 90 °C. Se agregó 1 mL de solución de ácido fenoldisulfónico, y luego de esperar 10 minutos se agregaron 14 mL de agua desionizada y 10 mL de NaOH al 25%. Se homogeneizó y se leyó la absorbancia a 420 nm en un espectrofotómetro

Tabla 2. Promedio de tratamiento y resumen de análisis de la varianza del rendimiento (Rto), proteína en grano (Prot), peso de mil granos (PMG) y del contenido de nitratos en seudo tallos de trigo en tres estadios de desarrollo, para dos fechas de siembra. DA= doble arruga; PG= primordio de gluma; ET= espiguilla terminal.

Table 2. Mean treatment and abstract of analysis of variance of wheat yields (Rto), grain protein (Prot), grain weight (PMG) and nitrate concentration in stems of wheat in tree development stages, at two sowing dates. Double ridge (DA), glumme primordium (PG), Terminal spikelet (ET).

Primera fecha de siembra (18/7/97)							
	Trat.	Nitratos en seudo tallos					
		Rto	Prot	PMG	DA	PG	ET
		kg ha ⁻¹	%	g	-----mg kg ⁻¹ -----		
Prom.	0	3320 c	11,83	43,81 a	3,88 c	2,27 c	1,69 c
	60	4599 b	11,36	42,12 ab	7,15 b	3,40 b	1,96 b
	120	5766 a	10,92	40,44 b	9,41 a	5,01 a	2,33 a
Prom.	PO	4473 b	10,91	42,08 b	8,06 a	3,02 b	2,17 a
	KC	5126 a	10,82	42,69 b	7,09 b	3,63 ab	2,07 a
	BG	4205 b	11,73	38,74 c	6,40 b	4,10 a	2,15 a
	PQ	4441 b	12,01	44,99 a	5,61 c	3,62 ab	1,61 b
----- Nivel de probabilidad -----							
Variedad		< 0,01	ns	< 0,01	0,03	0,02	< 0,01
Dosis		< 0,01	ns	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Variedad*dosis		ns	ns	ns	ns	0,03	ns
CV (%)		11	9	2	24	17	14
Segunda fecha de siembra (1/8/97)							
	Trat.	Nitratos en seudo tallos					
		Rto	Prot	PMG	DA	PG	ET
		kg ha ⁻¹	%	g	-----mg kg ⁻¹ -----		
Prom.	0	3293 c	10,31 a	43,48 a	2,72 c	1,61 c	0,96 c
	60	5010 b	9,82 ab	42,00 a	5,66 b	3,14 b	1,94 b
	120	5881 a	9,53 b	40,08 b	6,97 a	5,01 a	3,55 a
Prom.	PO	4823	9,76 ab	41,61 b	5,08	3,73 a	2,55
	KC	4838	9,39 b	42,31 b	4,71	3,06 ab	1,81
	BG	4479	9,99 a	38,70 c	5,52	3,32 ab	2,05
	PQ	4772	10,39 a	44,79 a	5,15	2,89 b	2,19
----- Nivel de probabilidad -----							
Variedad		ns	0,01	< 0,01	ns	< 0,01	ns
Dosis		< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Variedad*dosis		ns	ns	ns	ns	0,04	ns
CV (%)		3	6	3	13	11	31

ns= no significativo ($P>0,05$), CV = coeficiente de variación. Para cada variable, valores seguidos por letras iguales no difieren entre si, según la prueba de Duncan ($P<0,05$).

(Beckman DU-65).

Se determinó el rendimiento en grano sobre 10 m², con una cosechadora de parcelas experimentales y fue corregido a 14% de humedad. Se determinó el peso de mil granos y el contenido de proteína. Los resultados se analizaron por medio de análisis de la varianza y la relación entre el rendimiento y la concentración de nitratos, se determinó por una función lineal-meseta por el método de los mínimos cuadrados.

RESULTADOS Y DISCUSION

El rendimiento en grano se relacionó con la dosis de nitrógeno aplicada en ambas fechas de siembra (Tabla 2). La respuesta agronómica al agregado de nitrógeno (kg grano por cada kg de nitrógeno agregado), para ambas fechas de siembra fueron de 21, cuando la dosis de nitrógeno fue 120 kg ha⁻¹, y de 22 y 29, cuando la dosis de nitrógeno fue de 60 kg ha⁻¹, para la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente. Estas respuestas son mayores que las obtenidas por Falotico *et al.* (1999), quienes determinaron valores de 8 y 14 cuando las dosis de nitrógeno fueron de 120 y 60 kg ha⁻¹, respectivamente. La mayor respuesta observada, se debió a condiciones de crecimiento mas favorables durante todo el período de crecimiento.

El efecto varietal sobre los rendimientos no fue tan relevante, puesto que solamente en la primera fecha de siembra existieron diferencias entre KC y el resto de las variedades, las que lograron un menor rendimiento (Tabla 2). El porcentaje de proteína de los granos manifestó efecto de variedad y de dosis de nitrógeno solamente en la segunda fecha de siembra (Tabla 2). La variedad PQ fue la que logró el mayor porcentaje de proteína en grano, en ambas fechas de siembra. Los tratamientos sin el agregado de nitrógeno fueron los que presentaron los contenidos de proteína más elevados. Esto posiblemente sea consecuencia de los elevados rendimientos obtenidos para los tratamientos con altas dosis de nitrógeno, lo que provoca una dilución del contenido de este nutriente en la planta y por lo tanto en los granos.

En cuanto al PMG, se detectaron efectos de dosis de nitrógeno y de variedad en ambas fechas de siembra (Tabla 2). El mayor PMG se encontró asociado a la menor dosis

de nitrógeno. Esto es debido a que en los tratamientos sin nitrógeno, durante las etapas de crecimiento temprano, se produjeron condiciones restrictivas en la provisión de fotoasimilados (motivadas por la deficiencia de dicho nutriente), lo que limitó la determinación del número de granos. Por el contrario, en las etapas de llenado de granos, como consecuencia de condiciones ambientales favorables (principalmente radiación y agua), la provisión de fotoasimilados por grano determinado fue mayor en los tratamientos sin nitrógeno y por lo tanto mayor el tamaño de las semillas. Se determinaron diferencias entre variedades en el PMG para ambas fechas de siembra, correspondiendo a las variedades PQ y BG los mayores y menores valores, respectivamente.

Excepto para el muestreo en PG, no hubo interacción entre los factores variedad y dosis, en el contenido de nitratos en pseudo tallos (Tabla 2). El factor nitrógeno fue significativo en todos los casos analizados, presentando el mayor valor de concentración el tratamiento con 120 kg N ha⁻¹. El tratamiento sin nitrógeno presentó las menores fluctuaciones entre los estadios fenológicos y los valores más bajos durante todo el ciclo (Tabla 2). Se observó una marcada disminución en la concentración de nitratos al aumentar la edad de la planta, pasando en promedio de 6,81 a 1,99 y de 5,12 a 2,15 mg kg⁻¹ entre DA y ET para la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente. Los resultados obtenidos muestran que el contenido de nitratos aumenta con la dosis de nitrógeno y disminuye con la edad de la planta, coincidiendo con lo informado por Echeverría (1985) y Viglezzi *et al.* (1996a).

En cuanto al efecto producido por las variedades sobre la concentración de nitratos, los resultados no fueron consistentes entre fechas de muestreo (Tabla 2), por lo que no es posible afirmar que exista una marcada capacidad diferencial de las variedades para acumular o reducir nitratos. A título de ejemplo, la variedad PO en la primera fecha de siembra, presentó la mayor concentración de nitratos en DA, y luego en PG fue la de menor concentración. Otros autores (Papastylianou *et al.* 1984, Echeverría 1985) tampoco determinaron diferencias varietales

consistentes en dicho carácter. Por el contrario, Alberdi *et al.* (1989) encontraron diferencias entre cultivares en situaciones intermedias de disponibilidad de nitrógeno, lo que coincide con lo reportado por Huffaker y Rains (1978). Esta aparente contradicción se explicaría considerando que en estos trabajos se emplearon materiales de una amplia base genética, lo que contrasta con el origen de los materiales empleados en esta experiencia, todos provenientes de líneas del CIMMYT.

Se determinaron relaciones lineal-meseta entre la concentración de nitratos y el rendimiento en grano, para los distintos momentos de muestreo. Dichas relaciones permitieron definir umbrales de concentración de N-NO_3^- de 7,9, 4,8 y 2,5 g kg^{-1} para obtener el 93, 95 y 94% del rendimiento máximo, con r^2 de 0,65, 0,71 y 0,57 para DA, PG y ET, respectivamente. En el trabajo de Viglezzi *et al.* (1996b) se determinaron valores umbrales de concentración de N-NO_3^- de 4,47, 1,88 y 1,25 g kg^{-1} , para obtener el 94% del rendimiento máximo para DA, PG y ET, respectivamente. Los mayores umbrales determinados en esta experiencia serían consecuencia de los elevados rendimientos obtenidos respecto a la experiencia de Viglezzi *et al.* (1996b). De este modo, la concentración de nitratos requerida para lograr los rendimientos máximos (umbrales de concentración de nitratos) fue más elevada. El umbral de 7,9 g kg^{-1} de N-NO_3^- en DA, es muy similar ($8 \pm 2 \text{ g kg}^{-1}$) al determinado en macollaje temprano por Papastylianou *et al.* (1984). Estos autores señalaron que la variación en el umbral ($\pm 2 \text{ g kg}^{-1}$ de N-NO_3^-) sería consecuencia de cambios en las condiciones hídricas durante el período de crecimiento. De esta forma, el cultivo con mayor aporte hídrico necesita un umbral de concentración de nitratos más elevado para llegar a rendimiento máximo. Los umbrales mencionados deben ser considerados como orientativos y permiten definir situaciones de estrés nitrogenado, pero no habilitan a la definición de dosis de fertilización.

En síntesis, la concentración de nitratos en pseudo tallos de trigo durante el período de macollaje, se asoció a los rendimientos del cultivo y por lo tanto, constituye un estimador del status nitrogenado

en trigo. Dicha variable fue poco afectada por los materiales genéticos empleados en esta experiencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos 15/A107 de la FCA-UNMP y PICT-97 08-00089 de SECyT.

REFERENCIAS

- Alberdi H, Echeverría H, Navarro C. 1989. Algunos factores que condicionan la concentración de nitratos en pseudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 7:31-35.
- Echeverría HE. 1985. Factores que afectan la concentración de nitratos en plantas de trigo. *Ciencia del Suelo* 3: 116-123.
- Echeverría HE, Navarro CA, Andrade FH. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci., Cambridge*. 118:157-163.
- Falotico JL, Studdert GA, Echeverría HE. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 17:15-27.
- Huffaker RC, Rains DW. 1978. Factors influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. In: Nielsen DR and Mc Donald JG (Ed.). *Nitrogen in the Environment*. Academic Press, New York, Vol. 1, pp. 143-155.
- Munson RD, Nelson WL. 1990. Principles and practices in plant analysis. In: R.L. Westerman (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed. – SSSA Book Series, N° 3. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. Pp. 359-427.
- Papastylianou I, Graham RD, Puckridge DW. 1984. Diagnosis of nitrogen status of wheat at tillering and prognosis for maximal grain yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13: 473-485.
- Viglezzi A, Echeverría HE, Studdert GA. 1996a. Nitratos en pseudotallos de trigo. I. Indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14:57-62.
- Viglezzi, A; Studdert, GA y Echeverría, HE. 1996b. Nitratos en pseudotallos de trigo: II Interpretación de su concentración durante el macollaje. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa, La Pampa. Mayo 1996.
- Westfall DG, Whitney DA, Brandon DM. 1990. Plant Analysis as an aid in fertilizing small grain. In: R.L. Westerman (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed. – SSSA Book Series, N° 3. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. pp. 495-519.