

NITRATO EN LA BASE DEL TALLO DEL MAÍZ: I CAMBIOS DURANTE LA ESTACION DE CRECIMIENTO

HE ECHEVERRIA, H SAINZ ROZAS, E HERFURT, SA UHART

Unidad integrada Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP)-Estación Experimental Agropecuaria Balcarce (INTA), Balcarce, CC 276, 7620, Buenos Aires, Argentina. Email: hecheverr@inta.gov.ar.

Recibido 7 de agosto de 2000, aceptado 3 de agosto de 2001

BASAL STALK NITRATE OF MAIZE: I CHANGES DURING GROWING SEASON.

The stalk nitrate concentration on dry basis (NBS) and in sap (NS) have been suggested as an index of nitrogen nutrition of maize. Therefore, it is necessary to describe the evolution of NBS and NS during maize growing season. The evolution of NBS and NS was studied during 1996/97 and 1997/98 growing seasons in a no-tillage system (SD) fertilized with different urea rates (0, 35, 70, 140, 210 and 280 kg nitrogen ha⁻¹) at different wheat growing stages (planting and V6) (experiment 1), and under NT and conventional tillage (LC) with different urea rates applied at V6 (0, 70, 140 and 210 kg nitrogen ha⁻¹) (experiment 2). The NBS was determined at six-leaf (V6), twelve-leaf (V12), grain milky (R3) and physiologic maturity (R6), while the NS was determined in V6, V12 and R3. In the Experiment 1, NBS was highest at V12, particularly when nitrogen was applied at planting. The NBS for fertilization at V6 was lower than the fertilization at planting. In the experiment 2, the evolution of NBS showed similar behavior but the oscillations were less marked and differences between tillage systems were not observed. The evolution of NS in the experiments 1 and 2 was the same that NBS in both growing seasons. In all experiments the NS showed high variations between years. At V6, V12 and R3 stages, the NBS and NS were positively associated but the slopes of regression models were different. Therefore, it is necessary to calibrate each methodology separately to determine threshold values above which N addition does not increase maize grain yield.

Key words: Maize, Nitrogen nutrition, Stalk nitrate concentration.

INTRODUCCION

La metodología de análisis de tejidos puede ser usada para evaluar los niveles nutricionales de los cultivos. Para el maíz, los métodos de análisis de nitrógeno en planta más comúnmente utilizados consisten en determinar la concentración de nitrógeno en la hoja opuesta y debajo de la espiga en floración, y/o la concentración de nitrógeno en grano madurez fisiológica. Estas metodologías permiten diferenciar situaciones de estrés de nitrógeno de aquellas con un adecuado suministro (Uhart, Echeverría 2000) pero tienen la desventaja de no distinguir entre plantas de maíz creciendo en condiciones cercanas a la de concentración óptima de aquellas plantas con exceso de nitrógeno (Binford *et al.* 1992). Además, estas metodologías permiten evaluar la fertilidad pero no permiten corregir la deficiencia de nitrógeno.

En los primeros estadios de desarrollo de los vegetales se produce acumulación de nitrato en la base de los tallos, y su contenido puede ser un buen estimador de la

disponibilidad de nitrógeno (Hylton *et al.* 1965). Para el cultivo de trigo, Viglezzi *et al.* (1996) y Strada *et al.* (2000a) reportaron que la concentración de nitrato en seudotallos disminuye durante el ciclo del cultivo cuando el nitrógeno fue aplicado al momento de la siembra. Para el cultivo de maíz no se han reportado los cambios de la concentración de nitrato en tallo durante la estación de crecimiento en función de distintas dosis y momentos de aplicación de nitrógeno. Para aplicaciones de dicho nutriente al estadio de seis hojas (V6) (Ritchie, Hanway 1982), Bigeriego *et al.* (1979) reportaron una menor acumulación de nitrato en la base del tallo del maíz al estadio V14 en comparación con la fertilización al momento de la siembra. Esto significa que para una misma dosis de N, la planta acumula una menor cantidad de nitrato en la base del tallo para aplicaciones retrasadas de N, lo que podría afectar la relación entre el rendimiento del cultivo y la concentración de nitrato.

La medición de la concentración de

nitrato en el tallo puede realizarse sobre base seca (NBS) o a través del análisis de la savia (NS), por extracción directa por presión sobre el material fresco (Justes *et al.* 1995). Esta última, mediante un reflectómetro portátil permite realizar determinaciones a campo, mientras que la medición de NBS requiere el secado y molido de la muestra y la posterior extracción y cuantificación en el laboratorio. Este mayor requerimiento de tiempo podría limitar su uso en determinadas situaciones.

Para el cultivo de trigo, la pendiente de la relación entre NBS y NS cambia según la fecha de siembra (Strada *et al.* 2000b). Dicha variación fue atribuida, al menos parcialmente, a diferencias en el contenido de humedad del suelo (Strada *et al.* 2000b). Por lo tanto, para el cultivo de maíz, es factible suponer un comportamiento similar si se produjeran cambios en el contenido de humedad del suelo. No obstante, para dicho cultivo no se ha reportado aún la relación entre ambos métodos. Si existiera una única relación entre ambos, no sería necesario calibrar y definir umbrales específicos para cada método de determinación de nitrato.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) estudiar la evolución de NBS y de NS durante la estación de crecimiento del maíz en función de la dosis de N y del momento de fertilización y, 2) determinar la relación entre NBS y NS en los estadíos de seis hojas desarrolladas (V6), doce hojas desarrolladas (V12) y grano lechoso (R3).

MATERIALES Y METODOS

Durante las campañas 1996/1997 y 1997/1998 se realizaron dos experimentos en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce, Argentina (37° 45' S, 58° 18' W, 130 m sobre el nivel del mar). El experimento 1 fue un monocultivo de maíz en SD en el cual los tratamientos en 1996/97 fueron una combinación factorial de dosis de nitrógeno (70 y 210 kg ha⁻¹), uso de un inhibidor de la actividad ureásica nBTPT [N-(n-butil)-triamida tiofósforica] y momentos de fertilización (siembra y V6). En 1997/98 los tratamientos fueron una combinación factorial de dosis de nitrógeno (70, 140, 210 y 280 kg ha⁻¹) y momentos de fertilización (siembra y V6). El diseño fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. En ambos años se adicionó un tratamiento control sin nitrógeno.

El híbrido utilizado en ambas estaciones

de crecimiento fue Dekalb 639. La fecha de siembra fue el 20 y 23 de octubre en 1996/97 y 1997/98, respectivamente. La densidad de plantas al momento de la cosecha fue de 79.000 y 74.300 plantas ha⁻¹ en 1996/97 y 1997/98 respectivamente. El suelo de este experimento es un complejo formado por un Argiudol Típico y un Paleudol Petrocálcico de textura franca con 56 g kg⁻¹ de materia orgánica en los primeros 20 cm de profundidad.

Se realizó otro ensayo con un diseño experimental en parcelas divididas con tres repeticiones, en el cual el sistema de labranza (SD y LC) fue asignado a la parcela principal y la dosis de nitrógeno (0, 70, 140 y 210 kg ha⁻¹, aplicados en V6) a las subparcelas (Experimento 2). El híbrido utilizado en este experimento fue el Dekalb 639 el cual fue sembrado el 20 y 23 de Octubre en 1996/97 y 1997/98, respectivamente. La densidad de siembra fue de 79.000 y 74.300 en 1996/97 y 1997/98, respectivamente. La fuente de nitrógeno en ambos experimentos fue urea, la cual fue aplicada al voleo en superficie. Las parcelas fueron de 42 m² (5 surcos de ancho por 12 m de largo). En ambos experimentos, el cultivo se condujo sin limitaciones de agua mediante riego por aspersión. Además, ambos experimentos fueron conducidos sin limitaciones de fósforo, para lo cual en todos los años se aplicaron 20 kg P ha⁻¹ como superfosfato triple de calcio, en bandas abajo y al costado de la semilla. Las labranzas usadas fueron arado de rejas como labranza primaria, disco y disco más rastra y rolo como labranzas secundarias. La labranza primaria fue realizada tres meses antes de la siembra. En ambos experimentos se determinó la fenología del cultivo de acuerdo con la clave propuesta por Ritchie y Hanway (1982).

En el Experimento 1, la determinación de NBS y NS fue realizada en V6, V12, R3 y R6, colectando de cada unidad experimental 10 plantas cortadas a nivel del suelo. En R6 sólo se determinó NBS, ya que no fue posible realizar la extracción del jugo de la base del tallo, debido al grado de lignificación que presentaban las plantas. En el Experimento 2, NBS se determinó en V12, R3 y R6 en 1996/97, mientras que en 1997/98 los muestreos se realizaron en R3 y R6. NS en el Experimento 2 fue determinada en V12 y R3 en 1996/97 y en R3 en 1997/98.

Las muestras fueron tomadas a la mañana (de 7 a 12 hs) cortando de cada planta un trozo de tallo de aproximadamente 8 cm a partir de su base. Estos trozos se dividieron en partes iguales para llevar a cabo cada uno de los métodos en evaluación (NS y NBS). Una mitad fue prensada y con el jugo obtenido se hizo una dilución de 1:20 en agua destilada, para posteriormente realizar las mediciones de nitrato de acuerdo a la metodología propuesta por INRA-ITCF-AGPM-Challenge Agriculture (1996). Para ello se emplearon bandas reactivas

Merckoquant, las que fueron sumergidas en la dilución mencionada por dos segundos, para luego de un minuto determinar la concentración de nitrato con un reflectómetro portátil Nitrachek 404. Los resultados fueron expresados en $g\ l^{-1}$ de nitrato (NO_3^-). A la otra mitad de los tallos, se los secó en estufa a $60^\circ C$ hasta peso constante para luego molerlos a un tamaño de partícula de 1 mm. Posteriormente, se pesaron 0,5 g de material vegetal y se realizó la extracción del nitrato con 100 mL de solución extractora (sulfato de potasio al 25%) mediante agitación durante 30 minutos. Se dejó decantar la suspensión por 20 minutos y se tomó una alícuota de 1 ml la cual fue desecada en estufa a $90^\circ C$. Una vez finalizada esta operación se agregó 0,5 ml de ácido fenildisulfónico, 14 ml de agua destilada y finalmente 2 ml de hidróxido de sodio (desarrollo del color), dejando enfriar para poder realizar las mediciones con un espectrofotómetro Beckman DU-65 a 420 nm. Los resultados fueron expresados en $g\ kg^{-1}$ de nitrógeno bajo la forma de nitrato ($N-NO_3^-$).

Se efectuó el análisis de la varianza correspondiente al diseño factorial completo y balanceado (excluyendo al tratamiento testigo), para NBS y NS mediante el procedimiento GLM incluido en la rutina del programa Statistical Analysis System (SAS Institute 1985). Las medias de tratamientos fueron comparadas mediante la mínima

diferencia significativa (MDS) al 1 % de significancia. En el estadio de V6 se relacionó NBS y NS con la concentración de $N-NO_3^-$ (hasta los 30 cm de profundidad), humedad del suelo (0 a 20 cm de profundidad) y con la radiación incidente (promedio de los 5 días anteriores al muestreo). Las variables que más explicaron la variación de NBS y NS fueron seleccionadas por medio del procedimiento Stepwise del SAS (SAS institute 1985).

RESULTADOS Y DISCUSION

La disponibilidad de agua no limitó el rendimiento del maíz debido a que las precipitaciones ocurridas más los riegos efectuados totalizaron 794 y 580 mm para 1996/97 y 1997/98, respectivamente, valores que superaron la evapotranspiración del cultivo de maíz determinada para la zona (530 mm) por Andrade y Gardiol (1995). Sin embargo, en 1997/98 la escasa disponibilidad de agua durante el período de llenado de granos (febrero y marzo).

En la estación de crecimiento 1996/97 en el experimento 1, la presencia de nBTPT no afectó significativamente NBS o NS en todas las fechas de muestreo (Tabla 1), y por lo tanto, los tratamientos con y sin nBTPT fueron promediados. La adición de N incrementó

Tabla 1. Análisis de la varianza para la concentración de nitratos en base seca y para la concentración de nitratos en savia en función de la dosis de nitrógeno, presencia de nBTPT para la fertilización al momento de la siembra o al estadio de seis hojas (experimento 1).

Table 1. Analysis of variance of stalk basal nitrate on dry basis and in the sap as a function of nitrogen rate, presence of nBTPT and fertilization time (planting and six leaf-stage) (experiment 1).

Factor de tratamiento	1996/97							
	Estadios fenológicos							
	V6		V12		R3		R6	
	NBS	NS	NBS	NS	NBS	NS	NBS	NS
-----P > F-----		-----P > F-----		-----P > F-----		--P > F--		
N	0.0029	0.0500	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0341	
I	0.6333	0.7510	0.2626	0.3440	0.4871	0.1023	0.9561	
M	-	-	0.0001	0.0001	0.0007	0.0211	0.1277	
N*I	0.1145	0.1216	0.2073	0.3083	0.4629	0.2561	0.9839	
N*M	-	-	0.0082	0.0385	0.0008	0.0204	0.1468	
I*M	-	-	0.7710	0.3751	0.1256	0.1807	0.4765	
N*I*M	-	-	0.5847	0.2920	0.1059	0.1784	0.5162	
CV (%)	15.5	16.7	21.2	31.6	47.6	59.9	90.0	
	1997/98							
N	0.0056	0.0012	0.0001	0.0003	0.0031	0.0001	0.0092	
M	-	-	0.0001	0.0102	0.5638	0.0156	0.9933	
N*M	-	-	0.0099	0.3691	0.6227	0.0157	0.8291	
CV (%)	26.8	17.6	25.1	34.1	45.3	24.8	93.1	

N= dosis de nitrógeno, I= nBTPT, M= momento de fertilización, NBS= concentración de nitrógeno como nitratos en base seca, NS= concentración de nitratos en savia. V6, V12, R3 y R6 son los estadios fenológicos de seis hojas, 12 hojas, 20 días después de la floración y madurez fisiológica, respectivamente.

significativamente NBS en todos los estadios evaluados, aunque en V12 y R3 en 1996/97 y en V12 en 1997/98, se observó una interacción significativa entre la dosis de nitrógeno y el momento de fertilización (Tabla 1, Figura 1). La fertilización al momento de la siembra incrementó significativamente NBS sólo en la dosis de 210 kg N ha⁻¹. A pesar de dicha interacción, en la mayoría de los muestreos, NBS fue menor cuando el nitrógeno fue aplicado en V6 respecto de la fertilización al momento de la siembra (Figura 1). Estos resultados coinciden con aquellos encontrados por Bigeriego *et al.* (1979), quienes informaron que la concentración de nitrato en la corona de la planta al estadio de V14 fue menor cuando el nitrógeno fue aplicado en V6 respecto de la

fertilización al momento de la siembra. Los resultados de este experimento y aquellos de Bigeriego *et al.* (1979) indican que cuando el nitrógeno es aplicado en el momento previo al comienzo del máximo crecimiento de la planta de maíz, el nitrato absorbido podría ser reducido y traslocado rápidamente a las partes vegetativas y reproductivas. La baja NBS en planta observada para la fertilización en V6, podría ser también debida a que una parte del nitrógeno del fertilizante fue absorbido en forma de amonio. Esto podría afectar la capacidad de este método para evaluar el estado nitrogenado del cultivo cuando son usados fertilizantes que generan amonio como la urea.

En 1996/97, en el experimento de

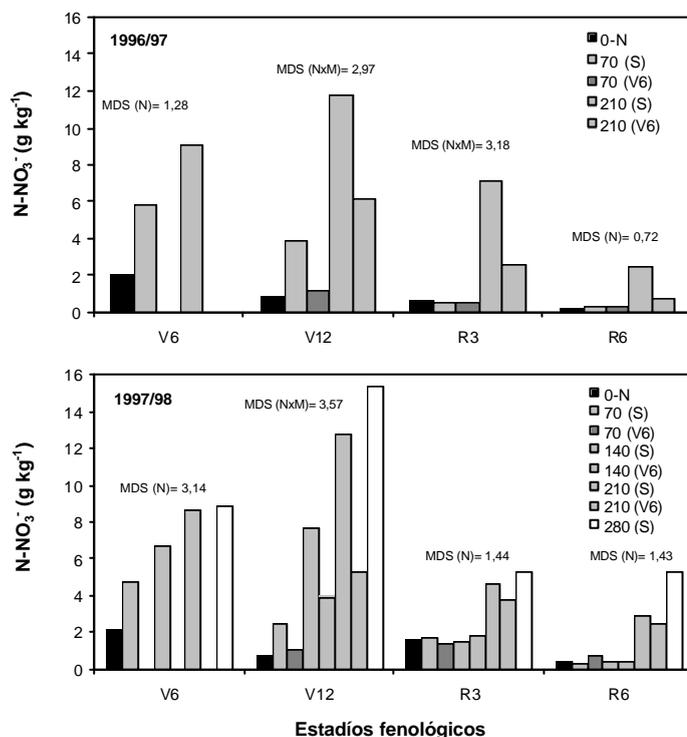


Figura 1. Evolución del contenido de nitrato sobre base seca durante la estación de crecimiento en el experimento 1. 0-N = testigo, 70, 140, 210 y 280= kg N ha⁻¹. (S)= aplicación a la siembra; (V6)= aplicación en seis hojas desarrolladas. V6= seis hojas desarrolladas, V12= doce hojas desarrolladas, R3= grano lechoso, R6= madurez fisiológica. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar dosis de N (promedios de momentos de fertilización). MDS (NxM)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar la interacción entre la dosis de nitrógeno y el momento de fertilización.

Figure 1. Nitrate evolution on dry bases during the growing season at the experiment 1. 0-N= control treatment, 70, 140, 210 and 280= kg N ha⁻¹. (S)= fertilization at planting; (V6)= fertilization at six-leaf stage. V12= 12-leaf stage, R3= early milk, R6= physiological maturity. MDS (N)= least significant difference to 0.01% of probability for nitrogen rate (average fertilization time). MDS (NxM)= least significant difference to 0.01% of probability for comparing N rate x fertilization time interaction.

Tabla 2. Análisis de la varianza para la concentración de nitratos en base seca y para la concentración de nitratos en savia en función de la dosis de nitrógeno y el sistema de labranza (experimento 2).

Table 2. Analysis of variance of stalk basal nitrate on dry basis and in the sap as a function of nitrogen rate and tillage system (experiment 2).

Factor de tratamiento	1996/97				
	Estadios fenológicos				
	V12		R3		R6
	NBS	NS	NBS	NS	NBS
	-----P > F-----		-----P > F-----		--P > F--
N	0.0001	0.0004	0.0027	0.0003	0.3307
SL	0.7890	0.8870	0.0868	0.1623	0.4058
N*SL	0.2602	0.4497	0.0117	0.0219	0.3756
CV (%)	41.1	52.4	39.1	71.1	90.0
	1997/98				
N	-	-	0.0078	0.0001	0.0551
SL	-	-	0.0135	0.2745	0.5512
N*SL	-	-	0.9950	0.0150	0.7284
CV (%)	-	-	51.4	39.4	100.1

N= dosis de nitrógeno, SL= sistema de labranza, NBS= concentración de nitrógeno como nitratos en base seca, NS= concentración de como nitratos en savia. V12, R3 y R6 son los estadios fenológicos de 12 hojas, 20 días después de la floración y madurez fisiológica, respectivamente.

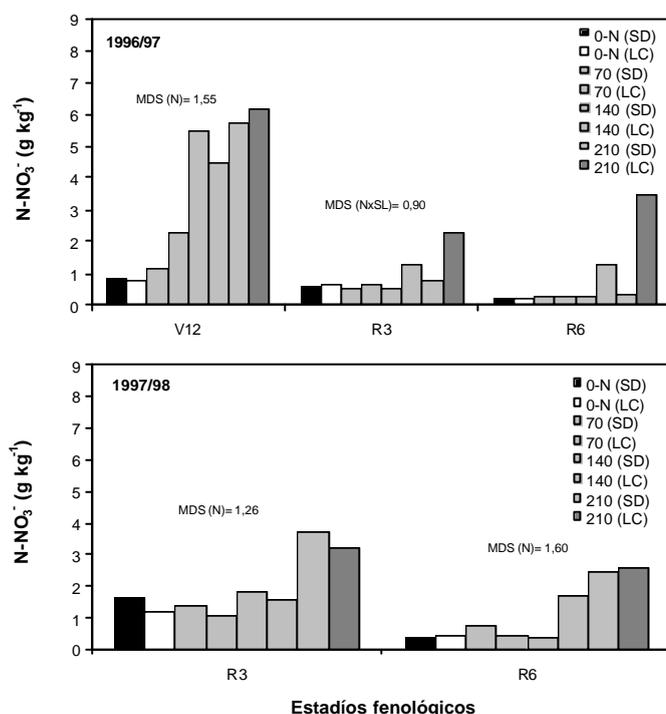


Figura 2. Evolución del contenido de nitrato sobre base seca durante la estación de crecimiento en el experimento 2. 0-N = testigo, 70, 140 y 210= kg N ha⁻¹. (SD)= siembra directa; (LC)= labranza convencional. V12= doce hojas desarrolladas, R3= grano lechoso, R6= madurez fisiológica. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar dosis de nitrógeno (promedio de los sistemas de labranzas); MDS (NxSL)= mínima diferencia significativa para comparar medias dentro de la interacción entre la dosis de nitrógeno y el sistema de labranza.

Figure 2. Nitrate evolution on dry basis during the growing season at the experiment 2. 0-N= control treatment, 70, 140 and 210= kg N ha⁻¹. (SD)= no-tillage; (LC)= conventional tillage. V12= 12-leaf stage, R3= early milk, R6= physiological maturity. MDS (N)= least significant difference to 0.01% of probability for nitrogen rate (average tillage systems). MDS (NxSL)= least significant difference to 0.01% of probability for comparing N rate x tillage systems interaction.

labranzas (experimento 2), NBS se incrementó significativamente por la adición de nitrógeno en V12, mientras que en R3 se observó una interacción significativa entre la dosis de nitrógeno y el sistema de labranza (Tabla 2). La labranza convencional produjo un valor más alto de NBS sólo en la dosis más alta de nitrógeno (Figura 2). Sin embargo, en 1997/98 en R3 y R6, NBS solo se incrementó significativamente por la dosis de nitrógeno (Tabla 2, Figura 2). Estos resultados indican que en general hubo poco efecto del sistema de labranza sobre NBS, aunque en algunos estadios se observó un valor más alto de NBS para LC. Sin embargo, en ambos años el rendimiento en grano y la acumulación de N por el cultivo fue mayor en LC que en SD (datos

no mostrados), lo que sugeriría poca sensibilidad del método para estimar la respuesta al nitrógeno del cultivo de maíz bajo distintos sistemas de labranzas.

En el experimento 1 NS fue afectada significativamente por la dosis de nitrógeno en V6 y por la interacción entre esta y el momento de fertilización en V12 y en R3 en 1996/97 y en R3 en 1997/98 (Tabla 1, Figura 3). En V12 y R3 en 1996/97, NS para la fertilización al momento de la siembra fue mayor que NS correspondiente a la fertilización en V6, solo en la dosis más alta de nitrógeno, mientras que en R3 en 1997/98 el comportamiento fue inverso, esto es, para la dosis más alta de nitrógeno la fertilización en V6 produjo un valor más alto de NS que la fertilización al momento de la siem-

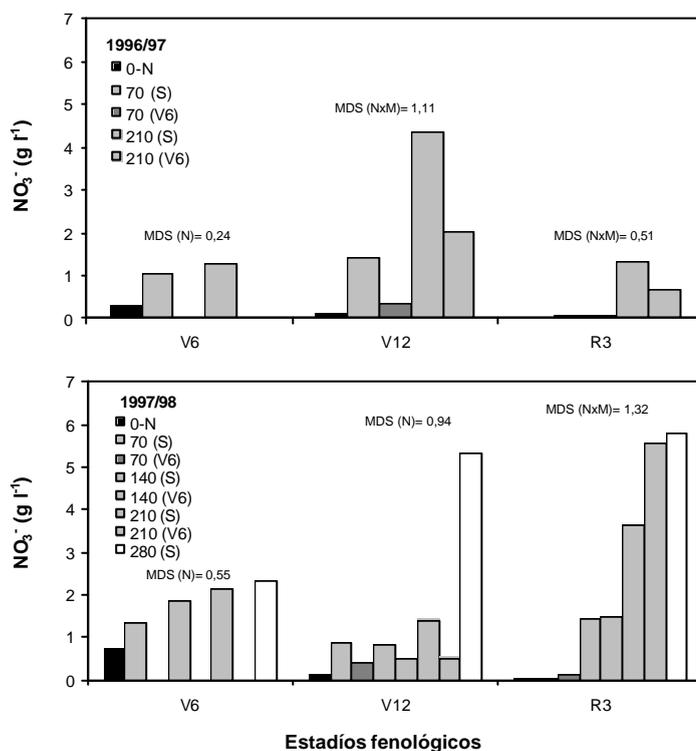


Figura 3. Evolución del contenido de nitrato en la savia durante la estación de crecimiento en el experimento 1. 0-N = testigo, 70, 140, 210 y 280= kg N ha⁻¹. (S)= aplicación a la siembra; (V6)= aplicación en seis hojas desarrolladas. V6= seis hojas desarrolladas, V12= doce hojas desarrolladas, R3= grano lechoso. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar dosis de N (promedios de momentos de fertilización). MDS (NxM)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar la interacción entre la dosis de nitrógeno y el momento de fertilización.

Figure 3. Nitrate evolution in the sap during the growing season at the experiment 1. 0-N= control treatment, 70, 140, 210 and 280= kg N ha⁻¹. (S)= fertilization at planting; (V6)= fertilization at six-leaf stage. V12= 12-leaf stage, R3= early milk. MDS (N)= least significant difference to 0.01% of probability for nitrogen rate (average fertilization time). MDS (NxM)= least significant difference to 0.01% of probability for comparing N rate x fertilization time interaction.

bra (Figura 3). En este caso, NS no se comportó en forma análoga a NBS, mostrando además una gran variación interanual (Figuras 1 y 3).

En el experimento 2 en 1996/97, NS fue afectada significativamente por la adición de nitrógeno en V12 y por la interacción entre dicha variable y el sistema de labranza en R3, mostrando la LC el mayor valor de NS solo en la dosis más elevada de nitrógeno (Tabla 2, Figura 4). En 1997/98 NS en R3 fue afectada por la misma interacción, pero el comportamiento fue distinto ya que con la dosis más alta de nitrógeno la SD mostró un valor más alto que la LC (Tabla 2, Figura 4). Para una misma dosis de nitrógeno, NS en R3 fue mayor en 1997/98 que en 1996/97.

En el experimento 1 el máximo determinado de NBS fue en V12, y correspondió a la dosis más alta de nitrógeno aplicada al momento de la siembra. Para la fertilización en V6 se observó un patrón similar pero las fluctuaciones fueron menos marcadas (Figura 1). Sin embargo en el mismo experimento, NS no mostró el mismo patrón de evolución, ya que en 1996/97 el máximo valor fue determinado en V12, mientras que en 1997/98 el máximo valor se observó en R3 (Figura 3). La evolución de NBS en el Experimento 2 en 1996/97 mostró un

patrón similar que en el experimento 1.

Estos resultados muestran que en términos generales NBS en la base del tallo del maíz disminuye con la edad de la planta, lo que coincide con lo informado para otras gramíneas (Viglezzi 1995; Baker, Tucker 1971; Echeverría 1985) y particularmente para maíz (Iversen *et al.* 1985a). Las concentraciones determinadas al comienzo del ciclo del cultivo se ubican dentro del rango reportado por Iversen *et al.* (1985a) y McClenahan y Killorn (1988).

A fin de comprobar el grado de asociación entre los dos métodos de determinación de nitrato en la base del tallo, en la Figura 5 se presentan las relaciones entre los mismos para diferentes estadios fenológicos. En el estadio de V6 ambas metodologías se relacionaron adecuadamente ($r^2=0,90$). Sin embargo, la pendiente en 1996/97 fue mayor ($P<0,05$) que la observada en 1997/98. Si bien la concentración de nitrato en la base del tallo refleja la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, la misma puede también ser afectada por factores ambientales como la humedad del mismo y la radiación incidente (Iversen *et al.*, 1985b). La humedad del suelo (HS) promedio de los 5 días previos al muestreo fue de 26.7 y 22.1 g kg⁻¹ en 1996/97 y 1997/98,

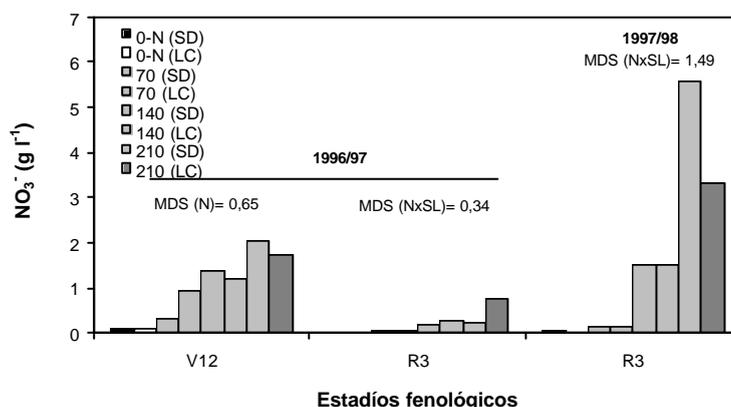


Figura 4. Evolución del contenido de nitrato en la savia durante la estación de crecimiento en el experimento 2. 0-N = testigo, 70, 140 y 210= kg N ha⁻¹. (SD)= siembra directa; (LC)= labranza convencional. V12= doce hojas desarrolladas, R3= grano lechoso. MDS (N)= mínima diferencia significativa al 0,01% de probabilidad para comparar dosis de nitrógeno (promedio de los sistemas de labranzas); MDS (NxSL)= mínima diferencia significativa para comparar medias dentro de la interacción entre la dosis de nitrógeno y el sistema de labranza.

Figure 4. Nitrate evolution in the sap during the growing season at the experiment 2. 0-N= control treatment, 70, 140 and 210= kg N ha⁻¹. (SD)= no-tillage; (LC)= conventional tillage. V12= 12-leaf stage, R3= early milk. MDS (N)= least significant difference to 0.01% of probability for nitrogen rate (average tillage systems). MDS (NxSL)= least significant difference to 0.01% of probability for comparing N rate x tillage systems interaction

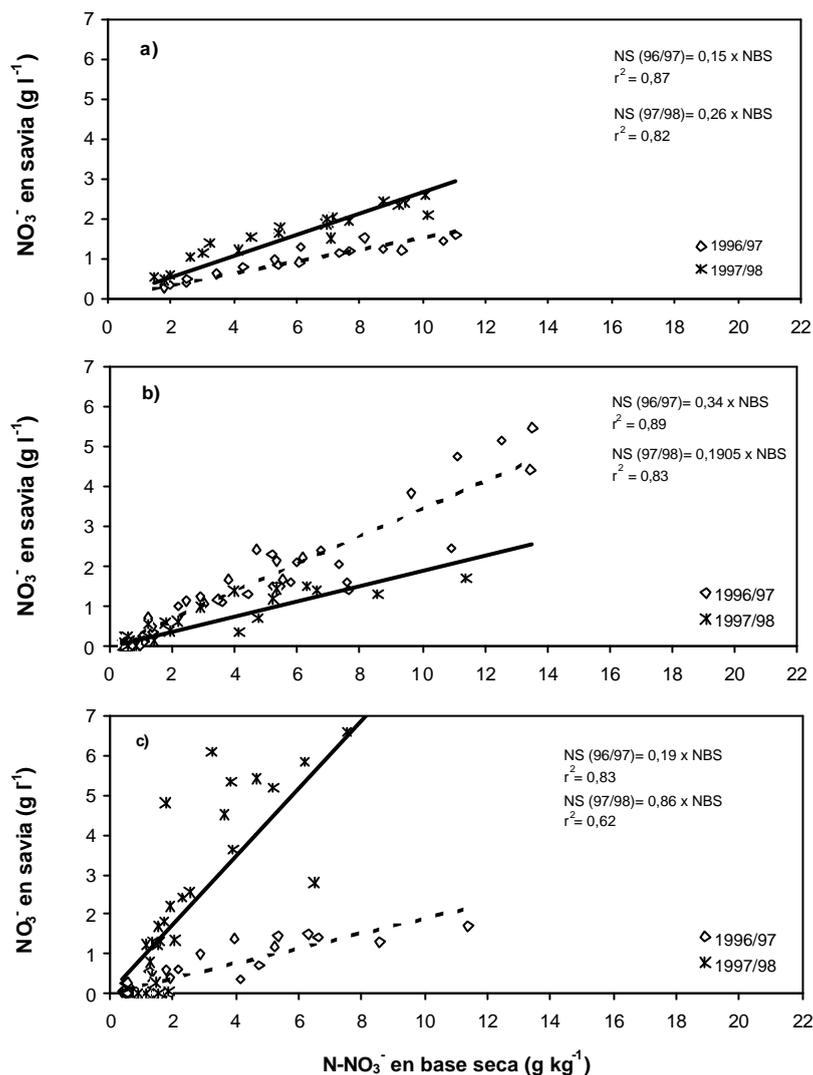


Figura 5. Relación entre la concentración de nitrato en savia (NS) y en base seca (NBS) en ambos experimentos en las estaciones de crecimientos 1996/97 y 1997/98. a)= seis hojas desarrolladas, b)= doce hojas desarrolladas, c)= grano lechoso.

Figure 5. Relationship between nitrate concentration in the sap and on dry bases in both experiments during 1996/97 and 1997/98 growing seasons. a)= six-leaf stage, b)= 12 leaf stage, c)= early milk.

respectivamente, mientras que la temperatura media del aire (TM) fue de 19 y 15°C en 1996/97 y 1997/98, respectivamente. La radiación solar incidente (RI) promedio de los 5 días previos al muestreo fue diferente entre años siendo de 29 y 22 MJ m^{-2} en 1996/97 y 1997/98, respectivamente. En V6, NBS fue función de la concentración de N-NO_3^- en suelo y de la radiación incidente:

$\text{NBS} = -0,60 + 198 \times \text{N-NO}_3^- + 0,11 \times \text{RI}$; $r^2 = 0,69$
Sin embargo, NS fue función de la

concentración de N-NO_3^- en suelo, RI y de la HS:

$\text{NS} = 5,51 + 50,9 \times \text{N-NO}_3^- - 36,9 \times \text{HS} + 0,15 \times \text{RI}$;
 $r^2 = 0,66$.

Estos resultados sugieren que NS fue más sensible que NBS a los cambios de humedad del suelo, lo que podría explicar en parte las diferentes pendientes observadas entre años para ambos métodos.

En los estadios de V12 y R3 y para ambas estaciones de crecimiento y

experimentos, ambos métodos se relacionaron positivamente pero las pendientes difirieron entre años (Figura 5). Estas diferencias serían consecuencia de variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo. En 1996/97 el contenido de humedad del suelo en R3 habría sido mayor que en 1997/98, debido a la elevada disponibilidad de agua del mes de enero y febrero. En estas condiciones, a igual valor de NBS el aumento en la humedad del suelo disminuyó NS, lo que se manifestó en una disminución de la pendiente de la relación entre NS y NBS (Figura 5). A pesar de las elevadas relaciones obtenidas, estos resultados no permiten definir una única relación entre estos métodos de determinación de nitrato, ya que serían afectados de distinta manera por la disponibilidad hídrica en el momento del muestreo.

Los resultados de ambos experimentos muestran que los valores más elevados de NBS se observaron en estadíos vegetativos y que la misma fue mayor cuando el nitrógeno fue aplicado al momento de la siembra, respecto de la fertilización en V6. NS no mostró un patrón de evolución similar, observándose además una gran variación interanual para una misma dosis de nitrógeno. Sí bien ambas metodologías se relacionaron adecuadamente en ambas experiencias, no fue posible establecer una única relación entre las mismas, y por lo tanto, no es posible transformar los valores de un método en otro. En consecuencia, es necesario estudiar cual de estos métodos se relacionan más estrechamente con el rendimiento del maíz, a fin de ser empleado como elemento de diagnóstico y monitoreo de la disponibilidad de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos PICT-97 08-00000-00089 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, y por el proyecto 15/A107 de la FCA-UNMP y por recursos de la EEA INTA de Balcarce.

REFERENCIAS

- Andrade FH, Gardiol J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico 132. 23 p.
- Baker JM, Tucker BB. 1971. Effects of rates of N and P on the accumulation of $\text{NO}_3\text{-N}$ in wheats, oats, rye and barley on different sampling dates. *Agron.J.* 63:204-206.
- Bamka WJ. 1988. Environmental influences on corn stalk nitrate levels used for tissue testing. M.S. thesis. Pennsylvania State Univ., University Park, USA.
- Bigeriego M, Hauck RD, Olson RA. 1979. Uptake, translocation and utilization of ^{15}N -depleted fertilizer in irrigated corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:528-533.
- Durst PT. 1985. Corn stalk nitrate as an indicator of soil nitrogen availability and sidedress nitrogen requirement. M.S. thesis. Pennsylvania State Univ., University Park, USA.
- Echeverría HE. 1985. Factores que afectan la concentración de nitrato en plantas de trigo. *Ciencia del Suelo.* 3:115-123
- Hylton LO, Ulrich A, Cornelius DR. 1965. Comparison of nitrogen constituents as indicators of the nitrogen status of italian ryegrass, and the relation of top to root growth. *Crop Sci.* 5:21-22.
- INRA-ITCF-AGPM-Challenge Agriculture 1996. Dosage du nitrato dans le jus de bas de tige du maïs. INRA-ITCF-AGPM-Challenge Agriculture. Fondettes. Francia. 10 pp.
- Iversen KV, Fox RH, Piekielek WP. 1985a. The relationship of nitrate concentration in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. *Agron.J.* 77:927-932.
- Iversen KV, Fox RH, Piekielek WP. 1985b. Diurnal, shade hybrids effects on nitrate content of young corn stalks. *Commun in Soil Sci. Plant. Anal.* 16 (8):837-852.
- Justes E, Mary B, Meynard JM. 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, nº82): 93-110.
- Mc Clenaham EJ, Killom R. 1988. Relationship between basal corn stem nitrate N content at V6 growth stage and grain yield. *J. Prod. Agric.* 1: 322-326.
- Ritchie SW, Hanway JJ. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa, USA. Special Report N° 48.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Andrade FH. 1999. No-tillage corn nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agron. J.* 91:950-955.
- SAS Institute. 1985. User's guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Strada RA, Echeverría HE, Studdert GA. 2000a. Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada en trigo por medio de la concentra-

- ción de nitrato en seudotallos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD. Strada RA, Echeverría HE, Studdert GA. 2000b. Metodos rápidos de diagnostico de la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.
- Uhart SA, Echeverría HE. 2000. Diagnóstico de la fertilización. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. FH Andrade, VO Sadras (eds.). EEA INTA Balcarce-Fac. Cs. Agr. UNMP. 235-268.
- Viglezzi A, Echeverría HE, Studdert GA. 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14: 57-62.