

NITRATO EN LA BASE DEL TALLO DE MAÍZ. II DIAGNOSTICO DE LA NUTRICION NITROGENADA

HR SAINZ ROZAS, HE ECHEVERRIA, E HERFURTH, GA STUDDERT

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. II DIAGNOSIS OF NITROGEN NUTRITION

In the southeastern of Buenos Aires Province of Argentina exists little information about the utility of stalk nitrate concentration on dry matter base (NBS) or in sap (NS), as predictors of maize nitrogen nutrition. The relationships between maize relative yield (RR) and NBS and NS were evaluated from 1995/96 to 1997/98 on irrigated no-tillage (SD) maize with different urea rates and fertilization moments (experiment 1), and under SD and conventional tillage (LC) with different urea rates applied at V6 (experiment 2). In 1997/98, the NBS and NS were also evaluated on rainfed maize under NT and CT with different preceding crops (pasture and wheat) and urea rates (experiment 3). In experiments 1 and 3, RR was highly related with NBS ($r^2 = 0.54$ to 0.81) and with NS ($r^2 = 0.47$ to 0.74) at V6 stage. The NBS sufficiency thresholds (US) for RR= 95% or greater, ranged from 4.3 to $10.4 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$, whereas those for NS ranged from 1.2 to $2.4 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$. In experiments 1 and 2, RR was adequately related with NBS or NS at V12 and R3. However, the US values were highly variable among years and fertilization times, especially for NS. At R6, the US of NBS was $0.8 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ and did not show variation among years. The NBS and NS before R6 reflected appropriately nitrogen availability for maize generated by different management practices, but they should be used with caution to make nitrogen-fertilizer recommendations. However, the NBS at R6 could be used for characterizing the degree of nitrogen excess.

Key words: Maize, nitrogen availability, stalk nitrate concentration.

INTRODUCCION

La correcta evaluación de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo de maíz (*Zea mays*) es un aspecto importante dentro de las prácticas de manejo del cultivo, debido a los elevados requerimientos de dicho nutriente y a que el uso de dosis de nitrógeno que excedan los requerimientos del maíz, puede contribuir a la polución de la napa freática a través del lavado de nitratos. La concentración de nitratos en suelo (0 a 30 cm) al estadio de seis hojas del maíz (V6) (Ritchie, Hanway 1982) es un adecuado estimador de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo (Fox *et al.* 1989; Sainz Rozas *et al.* 2000). La metodología de análisis de tejidos es una alternativa que puede ser usada para evaluar los niveles nutricionales de los cultivos. El análisis de tejido tiene las ventajas de requerir menos esfuerzo para la obtención de las muestras y de que la planta puede ser un mejor integrador de los factores que determinan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Binford *et al.* 1992a). 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 en madurez fisiológica. Estas metodologías permiten diferenciar situaciones de estrés de nitrógeno de aquellas con adecuado suministro (Uhart, Echeverría 2000), pero tienen la desventaja de no distinguir entre plantas de maíz creciendo en condiciones cercanas a la concentración óptima de aquellas plantas con exceso de nitrógeno (Binford *et al.* 1992b). Además, la medición de nitrógeno en hoja en floración o la medición de nitrógeno en grano a la madurez permiten evaluar la fertilización pero no permiten corregir la deficiencia de nitrógeno.

Iversen *et al.* (1985a) reportaron una buena correlación entre el rendimiento del maíz y la concentración de nitratos en base seca (NBS) en la base del tallo al estadio de V5-V6. Sin embargo, en un rango más amplio de

condiciones de manejo, sitios y años, NBS en V5-V6 no fue un buen estimador de disponibilidad de nitrógeno para el maíz (Fox *et al.* 1989). Este comportamiento puede haber sido debido a que factores ambientales como la humedad del suelo y la radiación incidente en los días previos al muestreo afectaron la concentración de nitrato en el tallo del maíz (Iversen *et al.* 1985b).

En un cultivo de maíz bajo siembra directa (SD) NBS en V6 aumentó con la dosis de nitrógeno, y para similar disponibilidad de dicho nutriente en el suelo, NBS no varió significativamente entre años (Echeverría *et al.* 2000). Esto indicaría que para un determinado sitio, la fluctuación interanual de las variables ambientales que afectan la concentración de nitrato en la base del tallo no es de gran magnitud, como para afectar la capacidad de esta metodología de diagnóstico. Por el contrario, si bien la concentración de nitratos en la savia del tallo (NS) en V6 reflejó adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno, la misma fue más sensible que NBS a los cambios en el contenido de humedad del suelo, y para una misma dosis de nitrógeno, NS mostró mayor variación interanual que NBS (Echeverría *et al.* 2000). Por lo tanto, si bien ambas metodologías reflejaron adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno, es factible hipotetizar que NS es una metodología menos precisa que NBS para diagnosticar la necesidad de fertilización nitrogenada.

Por otra parte, el uso de NBS como método de diagnóstico ha sido evaluado en estadíos tempranos del ciclo del cultivo (V4-V6) o a la madurez del mismo. Sin embargo, no se ha evaluado la capacidad de NBS o de NS como métodos de diagnóstico en estadíos vegetativos avanzados (V11-V12) o reproductivos tempranos (R2-R3). La correcta evaluación de la condición nitrogenada del cultivo al estadío de V11 o V12 (15 días antes de la floración), permitiría corregir deficiencias de nitrógeno bajo fertirrigación, dado que el rendimiento del maíz se afecta en mayor medida cuando la disponibilidad de nitrógeno es reducida durante el período crítico, esto es, 15 días antes a 15-20 días después de la floración (Uhart, Andrade 1995). La evaluación de la condición nitrogenada del cultivo en R3 al igual que en R6 (madurez fisiológica), permitiría

corregir la fertilización en campañas subsiguientes si las condiciones ambientales y de manejo son similares.

La concentración de nitrato en el tallo disminuyó con la edad de la planta maíz, y en los estadíos de V12 y R3, fue menor para aplicaciones retrasadas de nitrógeno (V6) que para las realizadas a la siembra (Echeverría *et al.* 2000). Por lo tanto, es factible esperar que los umbrales de suficiencia de NBS o de NS, esto es, los valores por encima de los cuales no es probable que ocurra respuesta a la fertilización, disminuyan con la edad de la planta, y a su vez, sean menores para aplicaciones de nitrógeno al estadío de V6 que para aquéllas realizadas al momento de la siembra.

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires existe poca información acerca de la utilidad de NBS y de NS como herramientas de diagnóstico de la disponibilidad de N para el maíz. Además, para ambas metodologías, no se han definido umbrales de suficiencia en función del momento de fertilización y de la edad de la planta. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la relación entre el rendimiento relativo y NBS y NS en los estadíos V6, V12, R3 y madurez fisiológica (R6).

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron tres experimentos en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce, Argentina (37° 45' S; 58° 18' W; 130 m sobre el nivel del mar) durante las campañas 1995/96, 1996/1997 y 1997/1998. El experimento 1 fue un monocultivo de maíz bajo siembra directa (SD) en el cual los tratamientos en 1995/96 fueron una combinación factorial de dosis de nitrógeno (0, 35, 70, 140 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). El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. En las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98 los tratamientos y el diseño experimental del experimento 1 fueron descriptos por Echeverría *et al.* (2000). En 1995/96 se utilizó el híbrido Dekalb 636, el cual fue sembrado el 17 de octubre y tuvo una densidad de 73.500 plantas ha⁻¹ al momento de la cosecha. Los tratamientos y el diseño experimental del experimento 2, como así también las características del suelo bajo las cuales fueron realizados ambos experimentos fueron descriptas

por Echeverría *et al.* (2000). Si bien el nBTPT no afectó el rendimiento del maíz (Tabla 1), dichos tratamientos fueron incluidos con el objetivo de incrementar la confiabilidad de la metodología al contar con un mayor número de parcelas.

El experimento 3 fue realizado en 1997/98 en condiciones de secano con un diseño experimental en parcelas sub-divididas con tres repeticiones. Las parcelas principales fueron cultivos antecesores (trigo y pastura), las subparcelas sistemas de labranza [SD y labranza convencional (LC)] y las sub-subparcelas distintas dosis de nitrógeno (0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹). Cada unidad experimental tuvo una superficie de 131 m². El suelo de este experimento es un complejo formado por un Argiudol Típico y un Paleudol Petrocálcico de textura franca y el suelo superficial (0-20 cm) tenía un pH de 6,0 y un contenido de materia orgánica de 66,7 y 51,7 g kg⁻¹ para el antecesor pastura y trigo, respectivamente. La pastura fue de gramíneas y leguminosas y estuvo constituida por pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), raigrás perenne (*Lolium perenne*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*). Las parcelas con trigo como antecesor estuvieron en agricultura continua desde 1976 compartiendo la rotación con cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), maíz, girasol (*Helianthus*

annuus) y soja (*Glycine max*). Las labranzas usadas para LC fueron arado de rejas como labranza primaria, rastra de discos y rastra de discos más rastra de dientes, como labranzas secundarias. La labranza primaria se realizó tres meses antes de la siembra. El cultivo fue sembrado el 23 de octubre y la densidad final fue de 71.400 plantas ha⁻¹. En este experimento se aplicaron 20 kg ha⁻¹ de fósforo como superfosfato triple de calcio en bandas abajo y al costado de la semilla. El barbecho químico bajo SD fue realizado con aplicaciones de glifosato más 2-4, D.

En el experimento 1 en la estación de crecimiento 1995/96, y en el experimento 3 en 1997/98, NBS y NS se determinaron solamente en V6. En 1996/97 y 1997/98 NBS se determinó en V6, V12, R3 y R6, mientras que NS fue determinada en V6, V12 y R3. Más detalles acerca de la metodología seguida para la determinación de NBS y de NS fueron proporcionados en la primera parte de este trabajo (Echeverría *et al.* 2000).

El rendimiento en grano fue determinado en R6 cosechando en forma manual 14,30 m de los tres surcos centrales de cada parcela. El rendimiento fue corregido a un contenido de humedad de 140 g kg⁻¹ grano. Se efectuó el análisis de la varianza para el rendimiento en grano mediante el procedimiento

Tabla 1. Rendimiento en grano en madurez fisiológica del maíz irrigado bajo siembra directa para diferentes dosis de nitrógeno y momentos de fertilización (experimento 1) y uso de nBTPT en las estaciones de crecimiento 1995/96, 1996/97 y 1997/98.

Table 1. Grain yield at physiological maturity of irrigated no-tillage maize for different nitrogen rates and fertilization moments (experiment 1) and uses of nBTPT for 1995/96, 1996/97, and 1997/98 growing seasons.

Factor de tratamiento	Rendimiento en grano		
	1995/96	1996/97	1997/98
Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	-----Kg ha ⁻¹ -----		
0	7338	6710	6374
35	8753	-	-
70	10515	9279	7786
140	13200	-	9365
210	13627	10907	11066
280	-	-	11496 [†]
MDS (0.01)	577	537	600
Momento de fertilización			
S	11194	10030	8878
V6	11854	10156	9934
MDS (0.01)	528	537	700
Inhibidor			
Urea + nBTPT	11496	10337	-
Urea	11552	9849	-
MDS (0.01)	528	537	-

[†] El dato de rendimiento correspondiente a la dosis de 280 en 1997 fue omitido del análisis de la varianza debido a que solamente estaban aplicados en un momento de fertilización. MDS= mínima diferencia significativa, S= siembra, V6= seis hojas.

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 5% de significancia. Dentro de cada sistema de labranza, el rendimiento relativo (RR) resultó del cociente entre el rendimiento observado en una determinada parcela y el rendimiento promedio de la dosis más alta de nitrógeno. La relación entre el RR y NBS o CNS fue descrita mediante un modelo lineal-meseta o un modelo de regresión simple. En el primer caso el umbral de suficiencia (US) fue el valor correspondiente al punto de contacto entre la meseta y la recta definida por la fracción lineal simple del modelo o el valor correspondiente a un RR del 95% o superior en el modelo de regresión simple. Cuando los datos no se ajustaron a los modelos mencionados, el US fue establecido usando la metodología de Cate y Nelson (1965).

RESULTADOS Y DISCUSION

La disponibilidad de agua no limitó el rendimiento del maíz en 1995/96 y 1996/97 debido a que las precipitaciones ocurridas más los riegos efectuados (780 y 794 mm para 1995/96 y 1996/97, respectivamente) superaron ampliamente la evapotranspiración del cultivo de maíz determinada para la zona (530 mm) por Andrade y Gardiol (1995). Sin embargo, en la última estación de crecimiento las escasas precipitaciones ocurridas en los meses de febrero y marzo (49 y 24 mm, respectivamente), podrían haber limitado ligeramente el rendimien-

to en los experimentos 1 y 2 y, en mayor medida, en el experimento 3 el cual fue realizado en secano. En este último, la disponibilidad de agua en el suelo (0 a 100 cm de profundidad) en el mes de febrero fue menor que el 50% del agua útil (Dominguez *et al.* 2000). Las condiciones térmicas y de radiación incidente fueron similares entre los distintos años, y por lo tanto, el bajo rendimiento observado en 1996/97 en el experimento 1 (año con buena disponibilidad de agua), podría haber sido causado por el Mal del Río Cuarto, debido a que se observaron algunas plantas (menos del 10%) con síntomas de la enfermedad.

En el experimento 1 la fertilización con nitrógeno incrementó significativamente el rendimiento en grano en las tres estaciones de crecimiento, mientras que la fertilización en V6 incrementó el rendimiento en 1995/96 y 1997/98 (Tabla 1). Por otro lado, el uso de urea más nBTPT no incrementó el rendimiento respecto del uso de urea sin inhibidor en 1995/96 y 1996/97 (Tabla 1). En el experimento 2, el rendimiento en grano se incrementó significativamente por la fertilización con nitrógeno en 1996/97 y 1997/98, y en ambas estaciones de crecimiento, fue mayor bajo LC que bajo SD ($P < 0.10$) (Tabla 2). El mayor rendimiento observado bajo LC fue debido a una mayor acumulación de nitrógeno (datos no mostrados).

En el experimento 3 se detectaron

Tabla 2. Rendimiento del cultivo de maíz irrigado en 1996/97 y 1997/98 en función de distintas dosis de nitrógeno y sistemas de labranza (experimento 2).

Table 2. Grain yield of irrigated maize in 1996/97 and 1997/98 growing seasons as a function of different nitrogen rates and tillage systems (experiment 2).

Factor de tratamiento	Rendimiento en grano	
	1996/97	1997/98
Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	-----Kg ha ⁻¹ -----	
0	7789	6862
70	10101	9016
140	11409	10643
210	12118	11487
MDS (0.01)	456	598
Sistema de labranza [†]		
SD	9142	9018
LC	11567	9986
MDS (0.01)	880	785

[†]SD= siembra directa, LC= labranza convencional, MDS= mínima diferencia significativa.

interacciones significativas entre el cultivo antecesor y el sistema de labranza, el cultivo antecesor y la dosis de nitrógeno, y entre el sistema de labranza y la dosis de nitrógeno (Tabla 3). La SD disminuyó el rendimiento en mayor medida cuando el cultivo antecesor fue trigo (Tabla 3), indicando que la mayor disponibilidad de nitrógeno generada por la pastura contrarrestó parcialmente el estrés de dicho nutriente generado por la SD. El antecesor pastura y la LC produjeron un mayor rendimiento en grano respecto al antecesor trigo y a SD, respectivamente, solamente sin el agregado de nitrógeno (Tabla 3), resultados que coinciden con aquéllos reportados por Meisinger *et al.* (1985).

En los experimentos 1 y 3 se observó una elevada relación entre el RR y NBS al estadio de V6 ($r^2=0,54$ a $0,81$) (Figura 1). En el experimento 1, el US para determinar un RR del 97 y 98% fue de $7,0$ y $7,9 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ en 1995/96 y 1996/97, respectivamente. Sin embargo, en 1997/98 el US para un RR del 98%, determinado desde el modelo de regresión lineal ($RR=46,4 + 4,96 \times \text{N-NO}_3^-$; $r^2=0,64$), fue de $10,4 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$. El US necesario para alcanzar un RR del 100% fue de $4,3 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ en el experimento 3. Los US observados en V6 en el experimento 1 son superiores a los valores reportados por Rauschkolb *et al.* (1974), quienes informaron valores de $4,0$ a $6,0 \text{ g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$, y menores que los reportados por

Tabla 3. Rendimiento en grano del maíz para diferentes cultivos antecesores, sistemas de labranzas y dosis de nitrógeno en la estación de crecimiento 1997/98 (experimento 3).

Table 3. Grain yield of maize for different preceding crops, tillage systems, and nitrogen rates in 1997/98 growing season (experiment 3).

Variables independientes		Rendimiento en grano
Cultivo antecesor	Sistema de labranza	
		---kg ha ⁻¹ ---
Pastura	Siembra directa	8020
	Labranza convencional	8110
Trigo	Siembra directa	7730
	Labranza convencional	8460
MDS (0,05) [†]		460
Cultivo antecesor	Dosis de N	
	---kg ha ⁻¹ ---	
Pastura	0	7410
	60	8430
	120	8460
	180	8080
Trigo	0	6650
	60	8380
	120	8660
	180	8710
MDS (0,05) [†]		650
Sistema de labranza	Dosis de N	
	---kg ha ⁻¹ ---	
Siembra directa	0	6150
	60	8160
	120	8720
	180	8590
Labranza convencional	0	7910
	60	8650
	120	8400
	180	8190
MDS (0,05) [†]		650

[†]MDS= mínima diferencia significativa.

McClenahan y Killorn (1988), Iversen *et al.* (1985a) y Fox *et al.* (1989), quienes han señalado un rango de US de 9,0 a 17,8 g N-NO₃⁻ kg⁻¹.

El US de N-NO₃⁻ en suelo (hasta los 30 cm de profundidad) al estadio de V6 aumenta con el rendimiento esperado, y en consecuencia, con la demanda de nitrógeno por el cultivo (Fox *et al.* 1989; Sainz Rozas *et al.* 2000). Sin embargo, en el experimento 1 el US de NBS observado en 1996/97 y 1997/98 fue mayor que en 1995/96 (Figura 1), año en el cual se observó el mayor rendimiento (Tabla 1). En el mismo sentido, Iversen *et al.* (1985a) determinaron US de NBS de 11 y 16 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ para rendimientos de 9500 y 6700 kg ha⁻¹, respectivamente. Los resultados de este experimento y aquéllos reportados por Iversen *et al.* (1985a) indican que el cambio en el US de NBS no se asocia con un aumento en el rendimiento, y en consecuencia, con el requerimiento de nitrógeno del maíz. Por lo tanto, si bien NBS refleja adecuadamente la

disponibilidad de nitrógeno, la misma tendría una limitada capacidad para separar sitios de probable respuesta a la fertilización, de aquéllos en los que no es probable una respuesta al agregado de nitrógeno. Iversen *et al.* (1985b) y Fox *et al.* (1989) informaron que las variaciones de los umbrales para diferentes años se deben a que la concentración de nitratos en la base del tallo es sensible a factores ambientales como la humedad del suelo y la radiación incidente, coincidiendo con lo observado por Echeverría *et al.* (2000).

El RR se asoció linealmente con NBS en V12 y en ambos años el US para alcanzar un RR del 95%, determinado desde el modelo de regresión lineal ($RR = 61,6 + 2,6 \times N-NO_3^-$; $r^2 = 0,69$), fue de 12,4 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ (Figura 2). Sin embargo, cuando el nitrógeno fue aplicado en V6 ninguna relación ajustó adecuadamente los resultados y mediante la metodología de Cate, Nelson (1965) se determinó un US de 1,4 g N-NO₃⁻ kg⁻¹, para ambos años y experimentos en que se hizo esta determinación (Figura 2).

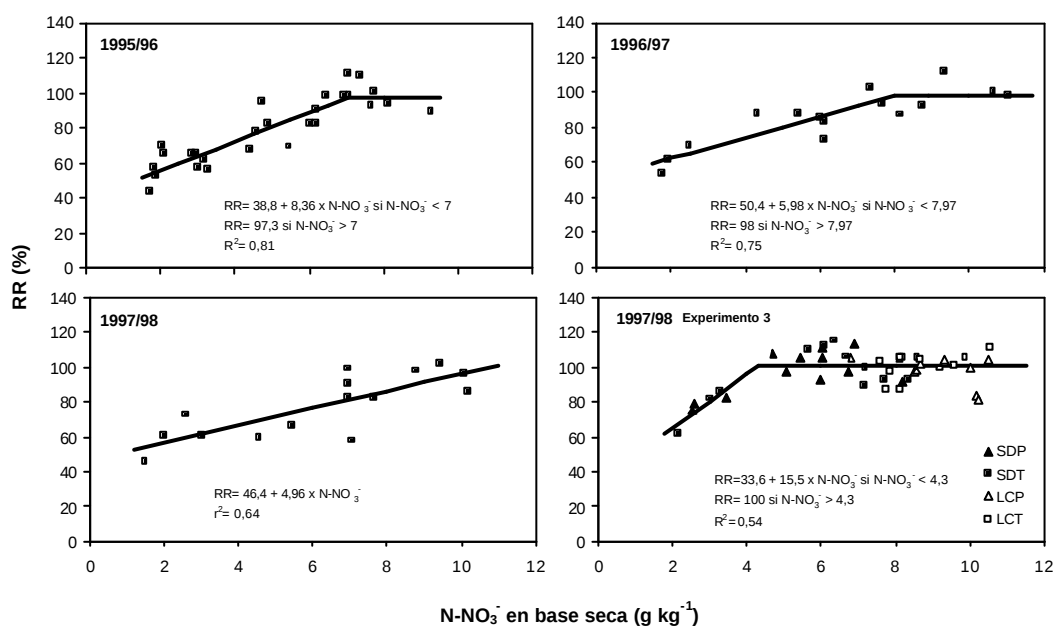


Figura 1. Relación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de N-NO₃⁻ en base seca determinado en la base del tallos al estadio de seis hojas del maíz en las estaciones de crecimiento de 1995/96, 1996/97 y 1997/98 en el experimento 1 y en 1997/98 en el experimento 3. SDP= siembra directa sobre pastura, SDT= siembra directa sobre trigo, LCP= labranza convencional sobre pastura, LCT= labranza convencional sobre trigo.

Figure 1. Relationship between relative yield (RR) and basal stalk NO₃-N concentration on dry matter base determined at six leaf stage of maize in 1995/96, 1996/97, and 1997/98 growing seasons (experiment 1) and in 1997/98 growing season (experiment 3). SDP= no-tillage after pasture, SDT= no-tillage after wheat, LCP= conventional tillage after pasture, LCT= conventional tillage after wheat.

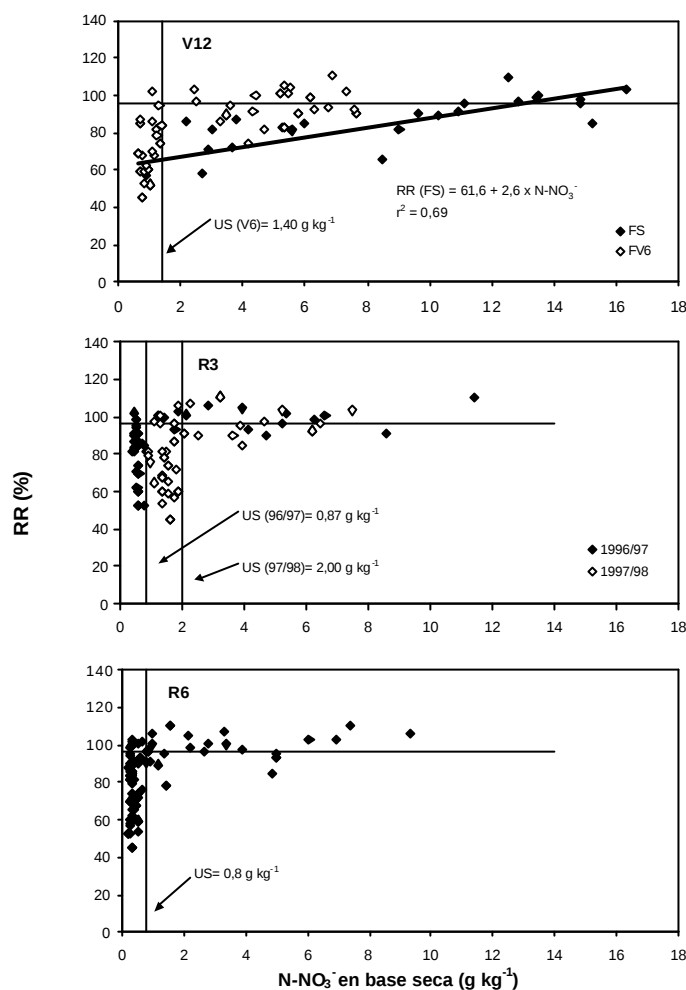


Figura 2. Relación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de N-NO_3^- en base seca en la base del tallo en V12, R3 y R6. Los datos corresponden a los experimentos 1 y 2 en las estaciones de crecimiento 1996/97 y 1997/98. El experimento 2 fue fertilizado en V6. FS= fertilización a la siembra, FV6=fertilización en V6, US= umbral de suficiencia.

Figure 2. Relationship between relative yield (RR) and basal stalk NO_3^- -N concentration on dry matter base determined at V12, R3, and R6 stages of maize in 1996/97 and 1997/98 growing seasons (experiments 1 and 2). Maize in experiment 2 was fertilized at V6. FS= fertilization at planting, FV6= fertilization at V6, US= sufficiency threshold.

En R3, mediante la aplicación de la metodología de Cate y Nelson (1965), el US que minimizó el error fue de 0,9 y 2,0 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ en 1996/97 y 1997/98, respectivamente (Figura 2). Sin embargo, en R6, el US determinado mediante aquella metodología fue de 0,8 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ para ambos experimentos y años (Figura 2). Este valor se ubica dentro del rango óptimo de 0,2 a 1,8 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ reportado por Binford *et al.* (1990). Binford *et al.* (1990), reportaron un incremento en el

rendimiento del 5% con el aumento de la dosis de nitrógeno en el rango de NBS de 0,2 a 1,8 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$. Sin embargo, nuestros resultados indican que no hay respuesta al agregado de nitrógeno si NBS son superiores a 0,8 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ (Figura 2). No obstante, a pesar de esta discrepancia, nuestros resultados y aquéllos publicados por Binford *et al.* (1990), indicarían una escasa o muy baja probabilidad de respuesta a la fertilización si NBS es superior a 0,8-1,0 $\text{g N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$.

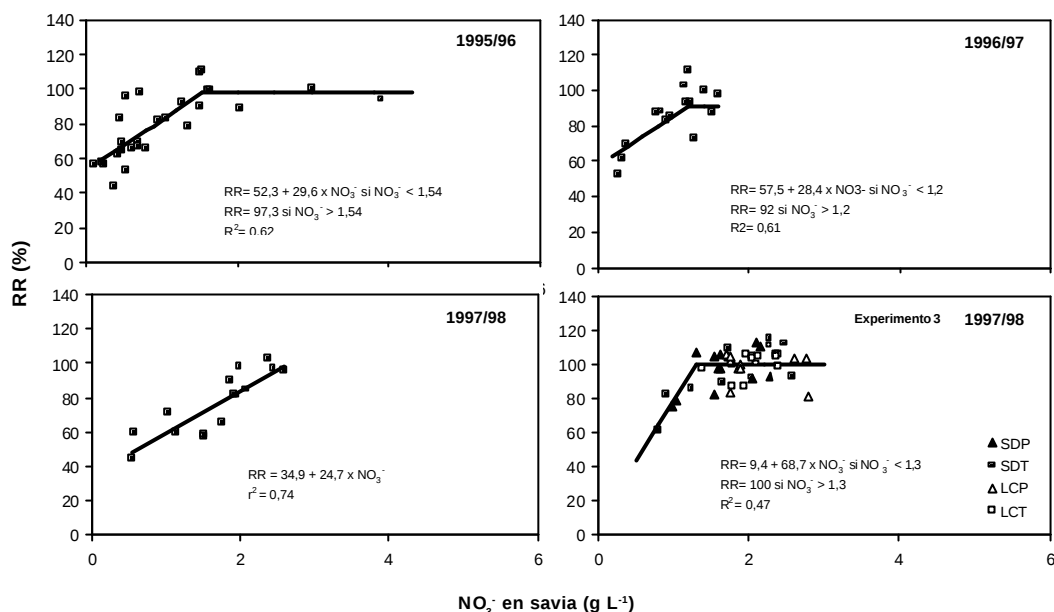


Figura 3. Relación entre el rendimiento relativo (RR) y la concentración de NO_3^- en la savia del tallo al estadio de seis hojas del maíz en las estaciones de crecimiento de 1995/96, 1996/97 y 1997/98 en el experimento 1 y en 1997/98 en el experimento 3. SDP= siembra directa sobre pastura, SDT= siembra directa sobre trigo, LCP= labranza convencional sobre pastura, LCT= labranza convencional sobre trigo.

Figure 3. Relationship between relative yield (RR) and basal stalk NO_3^- concentration in sap at six leaf stage of maize in 1995/97, 1996/97, and 1997/98 growing seasons (experiments 1) and in 1997/98 growing season (experiment 3). SDP= no-tillage after pasture, SDT= no-tillage after wheat, LCP= conventional tillage after pasture, LCT= conventional tillage after wheat.

En los experimentos 1 y 3 el RR se relacionó adecuadamente con NS en el estadio V6 (Figura 3). En el experimento 1, los US de NS fueron de 1,5 y 1,2 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ en 1995/96 y 1996/97, respectivamente. Sin embargo, en 1997/98 el US necesario para lograr el 95% del RR, determinado desde el modelo de regresión lineal ($\text{RR} = 34,9 + 24,7 \times \text{NO}_3^-$; $r^2 = 0,74$), fue de 2,4 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ (Figura 3), mostrando por lo tanto, una variabilidad interanual mayor que los US de NBS. Más aún, el US determinado en el experimento 3 fue de 1,3 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ y es similar al observado en el experimento 1 en 1996/97, a pesar de la diferencia observada en el rendimiento máximo (Tablas 1 y 3). La mayor variabilidad de los US de NS podría ser debido a que ésta fue más sensible a los cambios en el contenido de humedad del suelo que NBS (Echeverría *et al.* 2000). Los US determinados en V6 se encuentran muy por debajo del valor de 4,5 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ reportado por Gonzalez Montaner y Di Napoli (1997), para híbridos de similares características que los empleados en

esta experiencia. Los resultados de esta experiencia y aquéllos reportados en la bibliografía constituyen una fuerte evidencia de la reducida confiabilidad de esta metodología para el diagnóstico de la disponibilidad de nitrógeno en V6.

En el experimento 1 los US de NS en V12 y R3 fueron determinados por la metodología de Cate y Nelson (1965) o mediante regresión lineal simple dependiendo del año y del momento de fertilización. En 1996/97 para el estadio de V12 el US para un 95% del RR, determinado desde el modelo de regresión lineal ($\text{RR} = 67,4 + 7,19 \times \text{NO}_3^-$; $r^2 = 0,77$), fue de 3,8 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ para la fertilización al momento de la siembra, mientras que para la fertilización en V6 el US determinado por Cate y Nelson (1965) fue de 0,7 $\text{g NO}_3^- \text{L}^{-1}$ (Figura 4). Sin embargo, en 1997/98 en el estadio V12 la relación entre el RR y NS fue descrita por regresión lineal para ambos momentos de fertilización. Para la fertilización al momento de la siembra, el US para el 95% del RR, determinado desde el

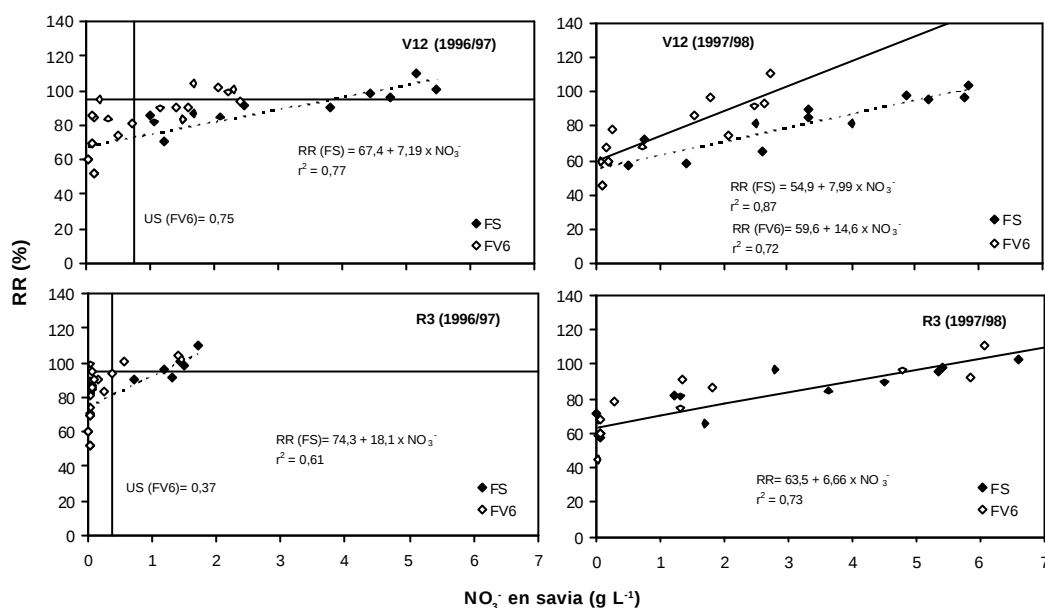


Figura 4. Rendimiento relativo (RR) en función de la concentración de NO_3^- en la savia del tallo en el experimento 1 en los estadios fenológicos de V12 y R3. US= umbral de suficiencia; FS= fertilización al momento de la siembra; FV6= fertilización en V6.

Figure 4. Relative yield (RR) as a function of basal stalk NO_3^- concentration in sap determined at V12 and R3 maize stages in experiment 1. FS= fertilization at planting, FV6= fertilization at V6, US= sufficiency threshold.

modelo de regresión lineal ($\text{RR} = 54,9 + 7,99 \times \text{NO}_3^-$; $r^2 = 0,87$), fue de $5,0 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$, mientras que para la fertilización en V6, el US para el 95% del RR, determinado desde el modelo de regresión lineal ($\text{RR} = 59,6 + 14,6 \times \text{NO}_3^-$; $r^2 = 0,72$), fue de $2,4 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ (Figura 4). En 1996/97 en R3 se repitió el mismo comportamiento que en V12 y los US de NS determinados fueron de $1,1$ y $0,4 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ para la fertilización al momento de la siembra y al estadio de V6, respectivamente (Figura 4). Sin embargo, en 1997/98 la relación entre RR y NS para ambos momentos de fertilización se ajustó mediante un único modelo de regresión lineal, y el US para alcanzar el 95% del RR, determinado desde el modelo de regresión lineal ($\text{RR} = 63,5 + 6,7 \times \text{NO}_3^-$; $r^2 = 0,7$), fue de $4,7 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ (Figura 4), valor marcadamente superior al observado en el año anterior.

En 1996/97 en el experimento 2 el US determinado mediante Cate y Nelson (1965) fue de $0,5$ y $0,28 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ para los estadios de V12 y R3, respectivamente (Figura 5). En 1997/98 el umbral determinado en R3 fue de $0,28 \text{ g NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ (Figura 5). La gran variabilidad entre años y

momentos de fertilización, tanto en los modelos que relacionan el RR con NS como así también en los umbrales determinados por los mismos, sugieren que NS es una metodología poco confiable para determinar el estado nitrogenado del cultivo en estadios avanzados del desarrollo.

Los resultados expuestos permiten concluir que NBS en los estadios de V6, V12 y R3 reflejó adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno para el maíz. Sin embargo, las variaciones en los US hacen que dicha metodología tenga una limitada capacidad de separar sitios de probable respuesta a la fertilización. Sin embargo, la determinación de NBS a la madurez del cultivo es una metodología más confiable para detectar situaciones de exceso de nitrógeno, debido a que no se observaron diferencias entre años en el US y a que el mismo fue similar a los valores reportados por otros autores.

En V12, el US de NBS para la fertilización en V6 fue menor que el observado para la fertilización al momento de la siembra, diferencias que no fueron observadas en R3 y

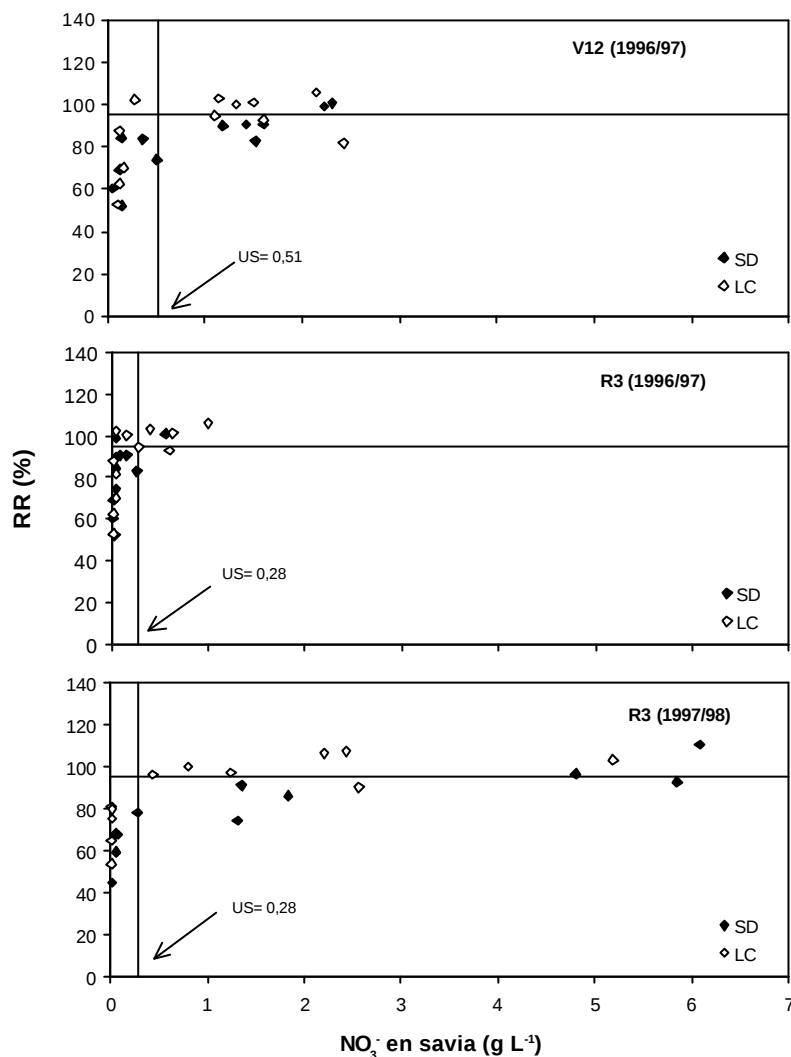


Figura 5. Rendimiento relativo (RR) en función de la concentración de NO_3^- en la savia del tallo en el experimento 2 en los estadios fenológicos de V12 y R3. US= umbral de suficiencia; SD= siembra directa; LC= labranza convencional.

Figure 5. Relative yield (RR) as a function of basal stalk NO_3^- concentration in sap determined at V12 and R3 maize stages in experiment 2. US= sufficiency threshold, SD= no-tillage, LC= conventional tillage.

R6. Los US de NBS disminuyeron con la edad de la planta.

La concentración de NS determinada en los estadios de V6, V12 y R3 reflejó adecuadamente la disponibilidad de nitrógeno para el maíz. Sin embargo, los US de NS fueron más variables que los de NBS, haciendo que la determinación de NS en dichos estadios sea poco confiable para diagnosticar la necesidad de fertilización. Al igual que NBS, los US de

NS fueron menores para la fertilización en V6 que para la fertilización al momento de la siembra, y en general, no mostraron el mismo patrón de evolución que NBS.

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.
- Binford GD, Blackmer AM, EL-Hout NM. 1990. Tissue test for excess nitrogen during corn production. *Agron.J.* 82:124-129
- Binford GD, Blackmer AM, Cerrato ME. 1992a. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. *Agron. J.* 84:219-223.
- Binford GD, Blackmer AM, Meese BG. 1992b. Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. *Agron. J.* 84:881-887.
- Cate RB, Nelson LA. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. North Carolina State Univ. Soil Testing Series Tech. Bull. no. 1.
- Dominguez GF, Studdert GA, Echeverría HE, Andrade FH. 2000. Sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada en maíz. I. Efecto sobre algunas propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas en CD.
- Echeverría HE, Sainz Rozas HR, Herfurth E. 2000. Nitrato en la base del tallo del maíz: I cambios durante la estación de crecimiento. *Ciencia del Suelo* (en este volumen).
- Fox RH, Roth GW, Iversen KV, Piekielek WP. 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. *Agron.J.* 81:971-974.
- González Montaner JH, Di Napoli MR. 1997. Respuestas a nitrógeno del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. p. 159-165. VI Congreso Nacional de Maíz.
- 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. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 16:837-852.
- Mc Clenaham, EJ, Killorn R. 1988. Relationship between basal corn stem nitrate N content at V6 growth stage and grain yield. *J. Prod. Agric.* 1:322-326.
- Meisinger JJ, Bandel VA, Stanford G, Legg JO. 1985. Nitrogen utilization of maize under minimal tillage and moldboard plow tillage. I. Four-year results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil. *Agron. J.* 77: 602-611.
- 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.
- Rauschkolb RS, Brown AL, Quick J, Prato JD, Pelton RE, Kegel FR. 1974. Rapid tissue testing for evaluating nitrogen nutritional status of corn. *Calif. Agric.* 28:10-12.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Studdert GA, Dominguez G. 2000. Evaluation of pre-sidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* (en prensa).
- SAS Institute. 1985. User's guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Uhart SA, Andrade FH. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop. Sci.* 35:1376-1383.
- Uhart SA, Echeverría HE. 2000. Diagnóstico de la fertilización. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. FH Andrade, VO Sadras (eds). EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp.