

Acumulación y partición del nitrógeno en dos cultivares de trigo pan ante la fertilización nitrogenada en siembra directa y labranza convencional

S.J. SARANDÓN¹, S. GOLIK & H.O. CHIDICHIMO¹

Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Cs Agrarias y Forestales, UNLP,
CC 31, 1900, La Plata, Argentina. E-mail:sarandon@isis.unlp.edu.ar

SARANDÓN S.J., S. GOLIK & H.O. CHIDICHIMO. 1997. Acumulación y partición del nitrógeno en dos cultivares de trigo pan ante la fertilización nitrogenada en siembra directa y labranza convencional. Rev. Fac. Agron., La Plata 102 (2): 175-186.

En sistemas sin laboreo del suelo, la dinámica del N y la respuesta a la fertilización nitrogenada pueden ser distintas que en los sistemas convencionales, modificando la acumulación y partición del N en el cultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la labranza convencional (LC) y la siembra directa (SD), sobre la acumulación y partición del N, en dos cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) y su relación con el porcentaje de N en grano. Se hicieron dos tratamientos de fertilización que consistieron en: a) la aplicación de 90 kg N.ha⁻¹ a la siembra y b) la misma dosis dividida en 45 kg N ha⁻¹ a la siembra y 45 kg N ha⁻¹ a fin de macollaje. Se determinó la acumulación y partición del N en encañamiento (3^{er} nudo detectable) y madurez.

El N acumulado en la planta en la madurez fue un 23% mayor en LC (128 kg.ha⁻¹) que en SD (104 kg.ha⁻¹), lo que estuvo asociado a mayores valores de biomasa aérea total. No se encontraron diferencias entre sistemas de labranza en la partición del N hacia el grano. El porcentaje de N en el grano solo aumentó cuando se aplicó el N en forma fraccionada pero no fue afectado por el tipo de labranza ni por el cultivar. La recuperación aparente de N en planta y en grano no fue afectada por la labranza ni por el momento de aplicación del N, pero difirió significativamente entre los cultivares. No se encontró interacción significativa entre los sistemas de labranza, fertilización y cultivares, para ninguna de las variables asociadas con la acumulación y partición del N en el cultivo. No se observaron diferencias entre los cultivares en la respuesta a la fertilización o al sistema de labranza lo que se atribuye a similares tasas de acumulación de N.

Se concluye que la siembra sin laboreo disminuye la acumulación de N en el cultivo, pero no afecta la partición del mismo, la que es más dependiente de la fertilización nitrogenada y de los cultivares. La aplicación de N, sobre todo en forma dividida, favorece una mayor acumulación de N sin disminuir la eficiencia en la partición hacia el grano. La falta de respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada observada en SD sugiere la existencia de otras limitantes al desarrollo del cultivo en este sistema, además del déficit de N en el suelo.

Palabras clave: ICN, fertilización fraccionada, nitrógeno crítico, índice de nutrición nitrogenada.

SARANDÓN S.J., S. GOLIK & H.O. CHIDICHIMO. 1997. Nitrogen accumulation and partition in two wheat cultivars with N fertilization in no-till and conventional tillage. Rev. Fac. Agron., La Plata 102 (2): 175-186.

Nitrogen dynamics and crop response to N fertilization under conservation tillage (as no-tillage) can be different from those under conventional tillage, modifying N accumulation and partition in the crop, and the efficiency in fertilizer use.

The aim of this paper was to study N accumulation and partition and its relationship with grain N content in two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under conventional tillage (LC) and no-tillage (SD) systems with different N availability. Nitrogen fertilization consisted in a) application of 90 kg N.ha⁻¹ at sowing and b) the same rate split in two 45 kg N.ha⁻¹ applications, one at sowing and the

other at the end of tillering. Nitrogen accumulation and partition between different plant parts were evaluated at third node and at ripeness stages.

Total N in plant at ripeness was 23% greater under LC (128 kg.ha⁻¹) than SD (104 kg.ha⁻¹), which was associated with higher total aerial biomass values. No differences in N partition towards the grain were found among tillage treatments. Nitrogen percentage in the grain was increased only when N was applied in two moments, but was not affected by tillage and did not differ between cultivars. Apparent N recuperation in plant and grain were affected neither by tillage nor by time of N application. However significant differences between cultivars were found. No interaction between tillage, fertilization and cultivars were found for those variables associated to N accumulation and partition in the crop. No differences were observed in cultivar response to tillage and fertilization, which is attributed to similar N accumulation rates.

It is concluded that under no-tillage total N accumulation in the crop is lower than in conventional tillage, but it does not affect N partition, which is more associated with N fertilization and cultivars. Nitrogen fertilization, specially in split application, enhances N crop accumulation without a decrease in the efficiency of N partition towards the grain. The lack of a favourable response to N application under no-tillage treatment, suggests the existence of other limitations to crop development, besides N deficit in the soil.

key words: NHI, split fertilization, critic nitrogen value, nitrogen nutrition index (NNI).

INTRODUCCIÓN

El incremento en la superficie de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado bajo SD en nuestro país y el aumento en la importancia del tenor proteico del grano a partir de su inclusión en el estándar de comercialización, requieren compatibilizar el uso de técnicas conservacionistas del suelo con un adecuado suministro de N al cultivo. El mayor potencial de rendimiento de los cultivares modernos y la menor disponibilidad de N en los sistemas de siembra sin laboreo con respecto a los sistemas convencionales de labranza (Doran, 1980; Bergh *et al.*, 1996), acentúan la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados para lograr el objetivo buscado.

Generalmente se observa una buena respuesta a la fertilización nitrogenada en SD (Darroch & Fowler, 1990), principalmente cuando esta se aplica temprano en el ciclo del cultivo (Johnston & Fowler, 1991). Sin embargo la mayor compactación del suelo usualmente encontrada en SD (Balbuena *et al.*, 1996; Ferreras *et al.*, 1996) puede influir significativamente sobre la capacidad de acumulación de N en el cultivo (Alakukku & Elonen, 1995).

Esta puede estar también relacionada a menor mineralización (Breland & Hansen, 1996), a mayor inmovilización del N (Carefoot *et al.*, 1990), o a un aumento de la desnitrificación (Rodríguez & Giambiagi, 1985), procesos que a su vez pueden afectar la eficiencia en el uso de los fertilizantes.

En nuestro país, la práctica de fertilización en el trigo más usada es la aplicación de N a la siembra, con la posibilidad de aplicar otra dosis al fin de macollaje. Mientras que la disponibilidad del nitrógeno en etapas tempranas del desarrollo del cultivo puede mejorar el rendimiento, la aplicación de N en etapas más tardías se traduce en un aumento en la cantidad y calidad de las proteínas del grano (Sarandón *et al.*, 1986; Sarandón & Caldiz, 1990; Sarandón & Gianibelli, 1990). Esto a su vez depende, no sólo de la cantidad de N acumulado, sino de la eficiencia en su traslocación hacia el grano, lo que puede diferir entre distintos genotipos (Sarandón & Chidichimo, 1985; Sarandón & Caldiz, 1990). En este sentido, bajo sistemas sin laboreo, la demanda de N de algunos cultivares puede no estar sincronizada con la disponibilidad del N en el suelo, modificando la eficiencia en los proce-

sos de acumulación y partición del N y, por lo tanto, en el uso del fertilizante.

Sobre la base de estos antecedentes, se puede esperar una mayor respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado en SD que en LC, si el suministro de N es la principal limitante del desarrollo del cultivo. Además, debido al proceso de mineralización más lento en SD, la mayor disponibilidad de N en etapas tardías del desarrollo en este sistema, se traducirá en una mayor acumulación de N en los tejidos, una mejor partición del N hacia el grano y un mayor contenido proteico del grano. Asimismo, y por esta razón, aquellos cultivos con un patrón de acumulación de materia seca y N más precoz se verán más perjudicados en SD que los cultivos de menor precocidad.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la acumulación y partición del N y su relación con la concentración de N en grano de dos cultivos de trigo, sometidos a dos sistemas de labranza LC y SD, con suministro de N en diferentes etapas de su desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujo un experimento a campo en La Plata, en la Estación Experimental J.J. Hirschhorn (35° S), dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata sobre un suelo argilodol típico con ligeras deficiencias de drenaje interno, que no había sido cultivado en los últimos 20 años. El volumen de residuos previo a la siembra fue de 604 ± 54 g.m⁻² de biomasa aérea y 740 ± 121 g m⁻² de biomasa subterránea hasta los 0,20 m de profundidad.

El análisis del suelo hasta los 0,20 m de profundidad, al momento de la siembra, presentó los siguientes valores: pH=5,0, 4,5 mg kg⁻¹ de fósforo disponible (Bray Kurtz I), 0,23 % de N total y 4,4 % de materia orgánica. El 26 de Julio de 1993 se sembraron los cultivos de trigo pan: Buck Yapeyú (BY) y el híbri-

do Cargill Trigomax 100 (Tmx100) a una densidad de 300 semillas.m⁻² en parcelas de 10 m x 4 m, bajo dos sistemas de labranza: **LC**: arado de reja y vertedera más rastra de discos y **SD**: siembra sin laboreo previo. A cada uno de los sistemas de labranza se los sometió a: **NO**: testigo (sin N), **N1**: 90 kg N.ha⁻¹ en una sola aplicación a la siembra y **N2**: la misma dosis dividida (45 kg N.ha⁻¹ a la siembra y 45 kg N ha⁻¹ a fin de macollaje). El N se aplicó como urea granular al voleo y todas las parcelas recibieron 120 kg.ha⁻¹ de superfosfato triple (0-46-0) aplicado en la línea a la siembra. El ensayo quedó constituido por 2 tratamientos de labranza, 2 cultivos y 3 tratamientos de fertilización, según un diseño experimental en bloques al azar con 4 repeticiones y un arreglo factorial de 2 x 2 x 3.

El 19 de Octubre, al estado de 3^{er} nudo detectable (E33 Tottman *et al.*, 1979) se cosecharon tres fracciones de surco de 0,50 m cada una, de la parte central de la parcela. Se llevaron a estufa a 70°C durante 48 h. y se determinó el peso seco. El material se molió en un molinillo ciclónico con malla de 0,5 mm. El porcentaje de N se determinó por el método de Kjeldahl. A la madurez (17 de Diciembre, E93) se procedió de la misma forma, dividiendo previamente al material en: grano, granza y paja (tallo + hoja). Se calculó el N total acumulado en el cultivo, multiplicando el porcentaje de N en planta por la biomasa aérea total, y el índice de cosecha de nitrógeno (ICN) como la relación N en el grano/N total en planta en madurez.

Se calculó la recuperación aparente de N en planta (RANpl) y en grano (RANgr) mediante la fórmula :

$$RAN = \frac{\text{kgN tratam} - \text{kgN testigo}}{\text{kgN aplicado}}$$

Con el propósito de establecer la correlación entre el déficit de N en el suelo y en el

cultivo, se calculó el índice de nutrición nitrogenada (INN, Lemarie *et al.*, 1989) de acuerdo a la ecuación $INN = Nt/Nct$, donde Nt = porcentaje de N total en planta a fin de macollaje y Nct el valor de nitrógeno crítico total definido por Justes *et al.*, (1994), como la concentración mínima de N en los tejidos necesaria para una máxima acumulación de MS.

El valor de Nct se calculó en el estado de encañazón según la ecuación:

$$Nct = 5,35 MS^{-0,442}$$

donde MS = biomasa aérea total (en Mg.ha⁻¹), cuando esta varía entre 1,55 y 12 Mg.ha⁻¹.

El valor de INN expresa la proporción del contenido de N real del cultivo en un momento dado, con respecto al valor teórico del Nct . El estado nutricional del cultivo es considerado óptimo cuando el $INN=1$, limitante cuando $INN<1$ y en exceso cuando $INN>1$.

Los resultados se procesaron con un análisis de varianza y las medias se compararon según la prueba de LSD al 0,05 de probabilidad. Cuando fue necesario los datos se transformaron mediante función logarítmica. En estos casos las diferencias entre medias se calcularon con los valores transformados pero, para su mejor interpretación, se presentan en las tablas en valores aritméticos.

RESULTADOS

Las precipitaciones medias mensuales durante este año resultaron altamente irregulares y atípicas para la región (se caracterizaron por una abundante precipitación otoñal, seguida de una severa sequía invernal: 90 mm en total en los meses de julio, agosto y septiembre y una abundante precipitación en los meses siguientes hasta la cosecha), aunque igualmente atendieron los requerimientos del cultivo (Figura 1).

La biomasa aérea y el N total del cultivo,

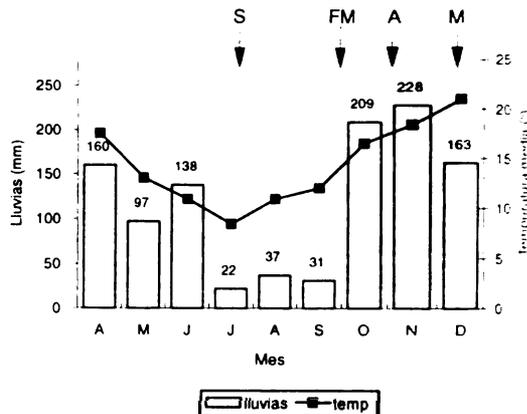


Figura 1: Precipitaciones y temperatura media mensual durante el desarrollo del cultivo de trigo. S: siembra, FM: fin de macollaje, A: antesis y M: madurez.

Mean rainfall and average monthly temperatures during wheat development. S: seedling, FM: end of tillering, A: anthesis and M: ripeness.

en encañazón, fueron influenciados por las labranzas, los cultivares y la fertilización, pero no se encontró interacción significativa entre estos factores de tratamiento, para ninguna de aquellas variables ni para el porcentaje de N (Tabla 1). El N acumulado en el cultivo fue mayor en LC que en SD y estuvo estrechamente asociado a la biomasa aérea ($r=0,912$, $P<0,01$). Ambas variables aumentaron significativamente con el agregado de N, independientemente de la forma de aplicación. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares, tanto en la acumulación de N y biomasa, como en el porcentaje de N total (Tabla 1). La concentración de N en el cultivo (porcentaje de N total) no fue afectado por la labranza.

El INN fue, en todos los casos menor a 1, indicando un déficit de N para todas las condiciones de cultivo (Tabla 1). El INN fue modificado fundamentalmente por la fertilización, aunque dependió del sistema de labranza (interacción labranza x fertilización). No se observaron diferencias entre cultivares. En ausencia de fertilización (tratamiento testigo), el INN fue muy bajo y similar para ambos sistemas de labranza. La aplicación del N en for-

Tabla 1. Acumulación de biomasa aérea, N total y % de N en trigo al estado de 3^{er} nudo detectable bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). INN: Índice de nutrición nitrogenada.

Total aerial biomass production, N accumulation and N% in wheat crop at 3rd detectable node stage under conventional tillage (LC) and no-tillage (SD). INN: nitrogen nutrition index.

Tratamientos	biomasa aérea kg.ha ⁻¹	N total kg.ha ⁻¹	N total (%)	INN	
<i>Labranzas (L)</i>				LC	SD
LC	3850 a	73 a	1,88 a		
SD	2980 b	55 b	1,92 a		
<i>Fertilización (F)</i>					
N0= Testigo	1980 b	29 b	1,66 b	0,41 b	ns
N1= 90	4580 a	81 a	1,76 b	0,72 a	*
N2=45+45	3700 a	83 a	2,27 a	0,75 a	ns
<i>Cultivares (C)</i>					
Tmx100	3880 a	70 a	1,79 b	0,60 a	
Yapeyú	2960 b	59 b	2,00 a	0,59 a	
<i>Interacciones</i>					
L x F	ns	ns	ns	**	
L x C	ns	ns	ns	ns	
F x C	ns	ns	ns	ns	

Los valores, dentro de la misma columna y para cada factor de tratamiento, seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (P > 0,05). **: significativo al 0,01; *: significativo al 0,05 y ns: no significativo. (1) Referencias válidas para la comparación de los valores de INN entre sistemas de labranza, para cada tratamiento de fertilización.

Within the same column and treatment, values followed by the same letter do not differ statistically between them (P > 0.05). **: significant at 0.05; *: significant at 0.05 and ns: not significant. (1) Values for comparing INN values within tillage treatments, within each fertilization treatment.

ma fraccionada se tradujo en un aumento del INN, más evidente en siembra directa. El INN estuvo correlacionado positivamente con la cantidad de N total en encañazón (Nte) (Figura 2), pero fue independiente del porcentaje de N en el cultivo.

La proporción del N absorbido por el cultivo en encañazón, con respecto al total en madurez, no difirió entre sistemas de labranza, ni entre cultivares, pero aumentó signifi-

cativamente con la fertilización (Tabla 2). La proporción entre el N y la biomasa acumulada en encañazón, con respecto al total en madurez (relación N/biomasa) no fue modificada por el tipo de labranza, pero sí por los cultivares y la fertilización. Este valor fue mayor en BY que en Tmx100 y aumentó con la aplicación de N, principalmente en forma dividida.

El N acumulado en planta en la madurez, fue afectado por los sistemas de labranza, los

cultivares y, especialmente por la fertilización, pero no se observó interacción entre estos factores (Tabla 3). El N total en madurez fue un 23 % mayor en LC que en SD y esto estuvo positivamente correlacionado con el N acumulado en encañazón ($r=0,745$, $P<0,01$) y la biomasa aérea total en madurez ($r=0,948$, $P<0,01$). La partición del N varió entre cultivares y entre tratamientos de fertilización, pero no fue afectada por los sistemas de labranza. Se observó una mayor acumulación de N y una mayor eficiencia en la partición del N hacia el grano en Tmx100 (ICN: 0,74) que en BY (ICN: 0,65). La fertilización con una única aplicación a la siembra disminuyó la eficiencia en la partición del N hacia el grano (ICN), respecto al testigo (Tabla 3).

El porcentaje de N en el cultivo a madurez no fue afectado por los sistemas de labranza

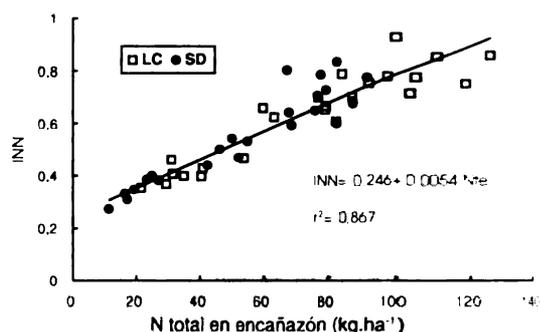


Figura 2. Relación entre el índice de nutrición nitrogenada (INN) y el nitrógeno total en el estado de encañazón (Nte) en trigo, en sistemas de labranza convencional (LC) y siembra directa (SD).

Relationship between nitrogen nutrition index (INN) and total nitrogen content of wheat, under conventional tillage (LC) and no tillage (SD), at 3rd detectable node.

Tabla 2. Nitrógeno total y biomasa aérea del cultivo de trigo en el estado de 3^{er} nudo, como proporción del total acumulado en madurez y relación N/biomasa.

Total N and aerial biomass in wheat crop at 3rd detectable node stage as a proportion of total accumulated at ripeness and N/biomass ratio.

Tratamientos	N acumulado (%)	biomasa aérea acumulada (%)	relación N/biomasa
<i>Labranzas (L)</i>			
LC	57,00 a	38,40 a	1,50 a
SD	51,70 a	32,00 b	1,60 a
<i>Fertilización (F)</i>			
N0=testigo	39,60 b	30,70 b	1,33 c
N1=90	61,40 a	39,80 a	1,54 b
N2=45+45	62,10 a	35,20 ab	1,79 a
<i>Cultivares (C)</i>			
Tmx100	53,20 a	37,30 a	1,44 b
Yapeyú	55,40 a	33,20 a	1,66 a
<i>Interacciones</i>			
L x F	ns	ns	ns
L x C	ns	ns	ns
F x C	ns	ns	ns

Los valores, dentro de la misma columna para cada factor de tratamiento, seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($P > 0,05$). ns, no significativo
Within the same column and treatment, values followed by the same letter do not differ statistically between them ($P > 0,05$), ns, not significant.

Tabla 3. Biomasa aérea y N total en madurez y su partición para distintas fracciones de la planta. ICN: Índice de cosecha del nitrógeno.

Total aerial biomass and total N uptake at ripeness and its partition in different plant fractions. ICN: nitrogen harvest index.

Tratamientos	N total (kg.ha ⁻¹)	partición del N			Biomasa aérea (kg.ha ⁻¹)
		grano (ICN)	granza	paja	
<i>Labranzas (L)</i>					
LC	129 a	0,70 a	0,12 a	0,18 a	10170 a
SD	104 b	0,69 a	0,14 a	0,17 a	8880 b
<i>Fertilización (F)</i>					
N0= Testigo	75 b	0,71 a	0,14 a	0,15 b	5930 b
N1=90	136 a	0,67 b	0,14 a	0,19 a	11710 a
N2=45+45	139 a	0,69 ab	0,12 a	0,20 a	10810 a
<i>Cultivares (C)</i>					
Tmx100	131 a	0,74 a	0,11 a	0,15 a	10440 a
BY	102 b	0,65 b	0,15 b	0,20 b	8530 b
<i>Interacciones</i>					
L x F	ns	ns	ns	ns	ns
L x C	ns	ns	ns	ns	ns
F x C	ns	ns	ns	ns	ns

Los valores, dentro de la misma columna para cada factor de tratamiento, seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (P > 0,05). ns: no significativo

Within the same column and treatment, values followed by the same letter do not differ statistically between them (P > 0,05). ns: not significant.

za ni por los cultivares, pero sí por la fertilización (Tabla 4). La aplicación única a la siembra disminuyó el porcentaje de N con respecto al testigo y a la aplicación dividida. El porcentaje de N en el grano aumentó con la aplicación en forma fraccionada pero no fue afectado por el tipo de labranza ni por el cultivar (Tabla 4). El porcentaje de N en paja fue menor en SD que en LC y aumentó con la aplicación dividida. En Tmx100 se observó una mayor concentración de N en grano (aunque no significativa) y menor en granza y paja que en BY.

Los valores de recuperación aparente del N en planta (RANpl) y en grano (RANgr) fue-

ron muy elevados y no resultaron afectados por el sistema de labranza ni por el momento de aplicación del N (Tabla 4). Sin embargo difirieron significativamente entre cultivares: en Tmx100 se registraron valores de RANpl y RANgr muy superiores a los de BY para todas las condiciones estudiadas. Asimismo la eficiencia de traslocación del N recuperado hacia el grano (RANgr/RANpl) fue también superior en Tmx100 (70%) que en BY (58,5 %), indicando que este cultivar fue más eficiente en la absorción y partición del N aplicado con el fertilizante. A pesar de que se observó una tendencia a un mayor eficiencia de la recuperación del N en LC que en SD, los datos muestra-

Tabla 4. Porcentaje de N en las diferentes fracciones y en la planta en madurez y valores de recuperación aparente de N en planta (RANpl) y en grano (RANgr) y relación entre ambos (RANgr/RANpl).

N percentage in different plant parts at ripeness and aparent N recuperation in plant (RANpl) and grain (RANgr) and its ratio (RANgr/RANpl).

Tratamientos	Concentración de N (%)				RANpl	RANgr	RANgr/ RANpl
	grano	granza	paja	total			
<i>Labranzas (L)</i>							
LC	2,29 a	0,86 a	0,52 a	1,26 a	0,79 a	0,52 a	0,63 a
SD	2,23 a	0,86 a	0,47 b	1,20 a	0,64 a	0,41 a	0,65 a
<i>Fertilización (F)</i>							
N0=testigo	2,22 b	0,85 a	0,46 b	1,26 a	—	—	—
N1=90	2,23 b	0,90 a	0,46 b	1,16 b	0,74 a	0,47 a	0,63 a
N2= 45+45	2,34 a	0,83 a	0,56 a	1,29 a	0,71 a	0,47 a	0,65 a
<i>Cultivares (C)</i>							
Tmx100	2,29 a	0,77 b	0,46 b	1,26 a	0,92 a	0,64 a	0,67 a
Yapeyú	2,24 a	0,95 a	0,52 a	1,21 a	0,53 b	0,31 b	0,62 a
<i>Interacciones</i>							
L x F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
L x C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F x C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Los valores, dentro de la misma columna para cada factor de tratamiento, seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí ($P > 0,05$). ns: no significativo

Within the same column and treatment, values followed by the same letter do not differ statistically between them ($P > 0,05$). ns: not significant.

ron gran variabilidad, por lo que las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

DISCUSIÓN

Bajo las condiciones de este experimento, la siembra directa afectó significativamente la acumulación de N en el cultivo, pero no influyó en la partición del mismo ni en el porcentaje de N en los tejidos, ni tampoco tuvo efectos sobre el porcentaje de N del grano.

Se considera que existe un mayor déficit de N en el suelo en SD que en los sistemas de labranza convencional (Doran, 1980). Por lo tanto, debería observarse una mayor res-

puesta a la fertilización nitrogenada en SD que en LC (Darroch & Fowler, 1990), sobre todo cuando, como en este caso, se aplica a la siembra (Johnston & Fowler, 1991). Sin embargo, aunque en SD se encontró una menor acumulación de N, tanto en encañazón como en madurez, la respuesta a la fertilización nitrogenada fue la misma en ambos sistemas de labranza, sugiriendo la existencia de otros factores condicionantes, además del probable déficit de N en el suelo. Los bajos valores de INN en encañazón, en las parcelas testigo de este ensayo, similares en ambos sistemas de labranza, sugieren un severo déficit de N en el cultivo para ambas condiciones de laboreo, en ausencia de fertilizante (Tabla 1). Esto pa-

rece contraponerse a la idea sobre la existencia de una mayor disponibilidad temprana de N en sistemas de LC (Bergh *et al.*, 1996). Sin embargo, nuestros datos sugieren que es posible que esta mayor disponibilidad temprana de N en LC, haya sido utilizada para un mayor desarrollo de la biomasa, estrechamente correlacionada con el acumulación de N, provocando una mayor extracción de N del suelo (Sarandón & Caldiz, 1987). Esto estaría avalado por el hecho que, en ambos sistemas de labranza, la proporción del N total acumulado en el cultivo en encañazón, con respecto al total en madurez, fue similar (Tabla 2). El valor de INN estuvo estrechamente correlacionado con el N total en encañazón, independientemente del sistemas de labranza (Figura 2). La dispersión de los puntos alrededor de la recta, indica que la capacidad predictiva del estado nutricional del cultivo, a través de la evaluación del N acumulado en planta, sería menos confiable a valores más altos de contenido de N en el cultivo.

Se considera que existe una mayor mineralización del N en SD durante la última parte de la estación de crecimiento (Fox & Bandel, 1986) que puede aportar N en cantidad suficiente para el desarrollo del cultivo (Lamb *et al.*, 1985; Carran, 1990). Por lo tanto, y de acuerdo a trabajos anteriores (Sarandón *et al.*, 1986; Sarandón & Gianibelli, 1990) podría esperarse un mayor porcentaje de N en grano, en la planta entera y un mayor ICN bajo SD que en LC. Sin embargo, no se observaron diferencias entre sistemas de labranza en la concentración de N en madurez (Tabla 4), lo que pone en duda la mayor disponibilidad tardía de N en SD, en las condiciones en que se desarrolló este ensayo. La aplicación dividida de N aumentó el porcentaje de N en el grano en ambos sistemas, confirmando que una mayor disponibilidad de N tardía favorece principalmente la acumulación de N (Sarandón *et al.*, 1986; Sarandón & Gianibelli, 1990), y que esto es independiente del sistema de labranza.

La alta correlación encontrada, para ambos sistemas de labranza, entre el N acumulado en el cultivo y la biomasa aérea total, coincide con resultados anteriores (Sarandón & Chidichimo, 1985) y sugiere que la menor acumulación del N en SD podría relacionarse con impedimentos en la acumulación de biomasa. Entre estos la mayor resistencia mecánica del suelo en SD (Ferrerías *et al.*, 1996), que coincide con la mayor densidad del suelo y la resistencia a la penetración encontrada en estas parcelas por Balbuena *et al.*, (1996) y con el menor desarrollo radicular en SD con respecto a la LC (Sarandón *et al.*, 1994a). Alakukku & Elonen (1995) afirman que la absorción de N por el cultivo sería un parámetro más sensible a la compactación del suelo y citan disminuciones en la acumulación de N entre un 4 y 9%, según el tipo de suelos. Estas resultan muy inferiores a las encontradas en nuestro ensayo: 25% en encañazón y 19% en madurez con respecto a LC (Tablas 1 y 3), por lo que este fenómeno no podría explicar, por si solo los resultados encontrados.

Los valores de RANpl fueron muy elevados y, mostraron una tendencia a una mayor eficiencia en la recuperación del N en LC que en SD (Tabla 4). Esto sugiere la existencia de algún impedimento para una mayor captación del N del fertilizante en SD, coincidiendo con Bergh *et al.*, (1996). La aplicación de N, realizada en forma superficial al voleo sobre un gran volumen de rastrojo, principalmente gramíneas, podría haber provocado la inmovilización de parte de este N haciéndolo poco disponible para el cultivo (Carefoot *et al.*, 1990). Por otra parte, la compactación puede retrasar la mineralización del N e incrementar las pérdidas de N gaseoso del suelo (Brelund & Hansen, 1996). A su vez, se ha citado que la desnitrificación bajo SD en los primeros 10 cm de suelo, puede ser responsable de hasta el 55% de las diferencias en el contenido de nitratos con respecto a LC, en suelos similares al de este ensayo (Rodríguez & Giambiagi, 1995). A su vez, las abundantes lluvias re-

gistradas durante los meses de octubre y noviembre podrían estar asociadas a pérdidas de nitratos por lixiviación. Esto estaría agravado por el menor desarrollo de raíces y su mayor superficialidad en SD (Sarandón *et al.*, 1994a) que habría limitado la captación de N a los primeros centímetros del horizonte superficial.

La partición del N fue afectada por la aplicación en una única dosis a la siembra, pero no por los sistemas de labranza (Tabla 3). Esto indica que, independientemente de la cantidad total de N disponible, el suministro de N en una única dosis a la siembra provoca disminuciones en la eficiencia de la partición del N al grano, como ha sido señalado anteriormente (Sarandón & Gianibelli, 1990). Es de esperar este comportamiento en condiciones en que el N aplicado a la siembra provoca el aumento en el número de sitios potenciales para grano, y cuando esta mayor demanda de N luego no es satisfecha por el agregado de otra dosis de N tardía, provocando una dilución del N en el grano. En este ensayo, a pesar del importante déficit hídrico invernal, el agua acumulada en el suelo debida a las altas precipitaciones ocurridas en el otoño, habría sido suficiente para permitir un mayor desarrollo vegetativo del cultivo en el tratamiento fertilizado con N1, que podría haber agotado el N para el momento de antesis, determinando un menor cantidad de N disponible para la acumulación en el grano.

Los cultivares no tuvieron un comportamiento diferencial ante los sistemas de labranza, ni ante la fertilización, en los aspectos relacionados con la acumulación y partición del N, a pesar de las diferencias significativas encontradas entre ellos. Se ha considerado que aquellos cultivares con mayores tasas de crecimiento, es decir, más precoces en cuanto a la acumulación del N total, deberían verse más perjudicados en SD que en LC. Los datos de nuestro ensayo no permiten comprobar esta hipótesis, pero señalan que cuando los cultivares tienen similares tasas de ab-

sorción de N, como en este caso, donde la proporción del N total acumulado en encañón fue similar (Tabla 2), no deben esperarse diferencias en su comportamiento ante diferentes sistemas de labranza. Ambos cultivares se vieron perjudicados en condiciones de SD. Ello podría atribuirse a su escasa adaptación a las condiciones predominantes en sistemas de SD al haber sido seleccionados en suelos con labranza convencional. Por lo tanto, bajo diferentes condiciones de suelo los mismos no podrán expresar todo su potencial. En este caso, el principal efecto detrimental en SD podría estar relacionado con la mayor compactación del suelo en estas parcelas (Balbuena *et al.*, 1996) que perjudicaría el desarrollo radical (Sarandón *et al.*, 1994a).

En Tmx100 se observó una mayor eficiencia en la acumulación de N total, tanto en macollaje como en madurez, asociada a una más eficiente partición del mismo hacia el grano, lo que le permitió, a pesar de su mayor rendimiento (Sarandón *et al.*, 1994b) mantener un porcentaje de N en grano similar a BY. También tuvo un mayor ICN, lo que indica una mayor eficiencia en los mecanismos de traslocación de N desde los tejidos hacia el grano como ha sido mencionado anteriormente para cultivares de alto potencial de rendimiento (Sarandón & Gianibelli, 1990).

Sin embargo, este mayor ICN en Tmx100, no se tradujo en un mayor porcentaje de N en el grano, probablemente asociado a su alto valor de IC (Sarandón *et al.*, 1994b) ya que el porcentaje de N parece depender más de la relación entre la eficiencia en la partición del N y la materia seca (ICN/IC) que del ICN por sí sólo (Sarandón & Chidichimo, 1985, Sarandón & Caldiz, 1987).

CONCLUSIONES

Se concluye que, para las condiciones en que se desarrolló este ensayo, la siembra sin laboreo disminuyó la acumulación de N en el

cultivo, asociada a una menor producción de biomasa. Sin embargo, esto no modificó la partición del N hacia el grano, el porcentaje de N en madurez ni el porcentaje de N en el grano, que parece ser variables más dependientes de la fertilización y los cultivares. No se observó una respuesta diferencial a la fertilización entre sistemas de labranza, debido, posiblemente a similitudes en el estado nutricional del cultivo. No se observaron diferencias en el comportamiento de los cultivares ante los sistemas de labranza ni la fertilización, lo que se atribuye a similitudes en las tasas de acumulación del N.

La asociación entre acumulación de N y biomasa aérea total y la menor respuesta del cultivo en SD a la fertilización indicaría que otros aspectos, como la inmovilización del N, la volatilización, y el menor crecimiento y capacidad de exploración radical por un aumento de la compactación, podrían influir sobre el comportamiento y la respuesta al agregado de N entre sistemas de labranza.

En ambos sistemas se confirma que la aplicación de N en etapas tempranas del desarrollo del cultivo se traduce en una mayor acumulación de biomasa aérea total y de N, pero con una menor eficiencia en la partición del N hacia el grano. La fertilización nitrogenada, sobre todo en aplicaciones divididas, aparece como una práctica necesaria para obtener buenos rendimientos y porcentaje de proteínas en el grano, favoreciendo una mayor acumulación de N sin disminuir la eficiencia en la partición hacia el grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Alakukku L. & P. Elonen. 1995. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. *Soil & Tillage Research* 36: 141-152.
- Balbuena R.H., A. Aragón, P.M. Mac Donagh, J.A. Claverie & A.M. Terminello. 1996. Evolución de la resistencia a la penetración y la densidad aparente en tres sistemas de labranza. *Actas del IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural*, Octubre de 1996, Neuquén: 197-202.
- Bergh R., F. García, J. Ferrari & R. Rizzalli. 1996. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento de trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Actas del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 19 al 24 de mayo de 1996, Santa Rosa, La Pampa: 41-42.
- Breland T.A. & S. Hansen. 1996. Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 655-663.
- Carefoot J.M., M. Nyborg and C.W. Lindwall. 1990. Differential fertilizer N immobilization in two tillage systems influences grain N concentration. *Canadian Journal of Soil Science* 70: 215-225.
- Carran R.A. 1990. Dynamics of soil and plant nitrogen in cultivated and no-till spring wheat systems following old pasture. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Sciences* 18: 5-9.
- Doran J.W. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44: 765-771.
- Darroch B.A. & D.B. Fowler. 1990. Dry matter production and nitrogen accumulation in no-till winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 70: 461-472.
- Ferreras L.A., J.L. Costa, R.H. Rizzalli & F.O. García. 1996. Propiedades físicas del suelo bajo labranza convencional y siembra directa en el sudeste bonaerense. *Actas del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, 19 al 24 de mayo de 1996, Santa Rosa, La Pampa: 17-18.
- Fox R.H. & V.A. Bandel. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. In MA Sprague and GB Triplett Eds. *No-tillage and surface tillage agriculture, the tillage revolution*. p: 117-148. John Wiley and Sons, New York.
- Johnston A.M. & D.B. Fowler. 1991. No-till wheat dry matter and tissue nitrogen response to nitrogen fertilizer form and placement. *Agronomy Journal* 1034-1043.
- Justes E., B. Mary, J.M. Meynard, J.M. Machet & L. Thellier-Huche. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* 74: 397-407.
- Lamb J.A., G.A. Peterson, & C.R. Fenster. 1985. Fallow nitrate accumulations in a wheat-fallow rotation as affected by tillage system. *Soil Science Society of America Journal* 49: 1441-1446.
- Lomarie G., F. Gastal & J. Salette. 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: *Proceeding of the*

- 16th International Grassland Congress, Nice, France: 179-180.
- Rodríguez M.B. & N. Giambiagi.** 1995. Denitrification in tillage and no tillage pampean soils: relationships among soil water, available carbon, and nitrate and nitrous oxide production. *Communications in Soils Science Plant Analysis* 26: 3205-3220.
- Sarandón S.J. & H.O. Chidichimo.** 1985. Efecto de la densidad de siembra sobre la acumulación y redistribución del N en tres cultivares de *Triticum aestivum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía, UNLP* (64-67): 105-121.
- Sarandón S.J. & D.O. Caldiz.** 1987. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la acumulación y partición del nitrógeno en dos cultivares de *T. aestivum* L. *Revista de la Facultad de Agronomía, UNLP* (63): 35-45.
- Sarandón S.J. & D.O. Caldiz.** 1990. Effects of varying nitrogen supply at different growth stages on nitrogen uptake and nitrogen partitioning efficiency in two wheat cultivars. *Fertilizer Research* 22: 21-27.
- Sarandón S.J. & M.C. Gianibelli.** 1990. Effect of foliar urea spraying and nitrogen application at sowing upon dry matter and nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomie* 10: 183-189.
- Sarandón S.J., M.C. Gianibelli, H.O. Chidichimo, H.O. Arriaga & C. Favoretti.** 1986. Fertilización foliar en trigo (*T. aestivum* L.): Efecto de la dosis y el momento de aplicación sobre el rendimiento y sus componentes, elife de proteínas y la calidad del grano. *Actas de Primer Congreso Nacional de Trigo*, Octubre 6-10 de 1986, Pergamino. Tomo II: 242-25
- Sarandón S.J., H.O. Chidichimo, M.E. Buffa & G. Montoro.** 1994a. Siembra directa en trigo. II. Influencia sobre el desarrollo aéreo y radical en un cultivar de trigo bajo dos niveles de disponibilidad de nitrógeno. *Actas del III Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal, Bahía Blanca 26 al 28 de Octubre de 1994*: 117-118.
- Sarandón S.J., H.O. Chidichimo & H. Granato.** 1994b. Siembra directa en trigo: I. Influencia sobre la producción de biomasa y el rendimiento bajo distintos niveles de disponibilidad de nitrógeno en la zona de La Plata. *Actas del IV Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal, Bahía Blanca 26 al 28 de Octubre de 1994*: 115-116.
- Tottman D.R., R.J. Makepeace & H. Broad.** 1979. An explanation of the decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. *Annals of Applied Biology* 93: 221-234.