

**DINÁMICA DEL NITRÓGENO BAJO DIFERENTES ROTACIONES,
SISTEMAS DE LABRANZA Y MANEJO DE RESIDUOS
EN EL CULTIVO DE TRIGO¹**

**Dynamics of nitrogen under different rotations, tillage systems
and residue management in wheat**

Iván Vidal², Jorge Etchevers³ y Anthony Fischer⁴

A B S T R A C T

The behavior of wheat (*Triticum aestivum*) in distinct rotations, tillage systems and residue management was quantified, and the mineralization and absorption of nitrogen (N) under different management conditions were measured employing microlysimeters placed in the soil. Three years after establishing treatments tending to make the wheat production system more manageable in a zone with summer rainfall, the incorporation of a legume in the rotation translated, in general, into better yields and better N supplies for the plant. This was explained by the occurrence of greater mineralization of N in the soil, both during the crop's growth period as well as at the moment of seeding as a consequence of the incorporation of residues in the rotation. In almost all cases, wheat cultivated as a monoculture had the lowest grain yield, however, the lowest soil N supply was observed in the corn-wheat rotation. Zero tillage resulted to be good management practice in those years where water was a limiting factor for crop growth, however, no advantage of this practice was observed in normal rainfall years. Conventional tillage always resulted in higher residual N measured at sowing as well as more N mineralized during the cropping period, which occurred to the detriment of N reserves in the soil. The practice of leaving or removing the prior crop residues did not produce any conclusive results, although it is hoped that the benefits will begin to be observed in future years. This practice, as well as zero tillage, however did produce a significant increase in the soil microbial biomass, which is considered as a positive biological indicator of the quality of the soil and the sustainability of the systems.

Key words: mineralization, zero tillage, cropping system, *Triticum aestivum*.

R E S U M E N

Se cuantificó el comportamiento del trigo (*Triticum aestivum*) en distintas rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos y, se midió la mineralización y absorción de nitrógeno (N) bajo estas diferentes condiciones de manejo, empleando microlisímetros enterrados en el suelo. Después de tres años de establecer ciertos tratamientos tendientes a hacer más sustentable el sistema de producción de trigo en una zona con régimen de lluvias de verano, la incorporación de una

¹Recepción de originales: 21 de marzo de 2001 (reenviado).

Los autores agradecen la significativa contribución para la ejecución de esta investigación de CIMMYT (México), FAO/AIEA Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria, y Proyecto FONDECYT (Chile) 19710004.

²Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos, Casilla 537, Chillán, Chile.

E-mail: ividal@udec.cl

³Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Montecillo, México.

⁴Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

leguminosa en la rotación se tradujo, por lo general, en mayores rendimientos y mejor abastecimiento de N para la planta. Esto fue explicado por la ocurrencia de una mayor mineralización del N en el suelo, tanto durante el período de crecimiento del cultivo como por la presencia de más N residual al momento de la siembra, como consecuencia de la incorporación de residuos en la rotación. En casi todos los casos, el monocultivo de trigo resultó ser el tratamiento con el menor rendimiento, pero no con el menor suministro de N, lo cual sí fue observado en la rotación maíz-trigo. La labranza cero resultó ser una buena práctica en un año con restricciones hídricas durante el ciclo de crecimiento del trigo, pero no se observaron ventajas en un año cercano al normal. La labranza convencional invariablemente presentó mayor N acumulado al momento de la siembra y mineralización del mismo durante el ciclo del cultivo, lo cual ocurrió en detrimento de las reservas de este elemento en el suelo. La práctica de dejar o retirar los residuos de cosecha del cultivo anterior no mostró resultados concluyentes, aunque se espera que los beneficios de la misma se comiencen a observar con el transcurso de los años. Esta práctica, al igual que la labranza cero, produjo, sin embargo, un incremento significativo de la biomasa microbiana del suelo, la cual se considera como un indicador biológico positivo de la calidad del suelo y de la sustentabilidad de los sistemas.

Palabras clave: mineralización, cero labranza, sistema de cultivo, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para la fotosíntesis, es decir, para que las plantas fijen el carbono del aire, acumulen materia seca y produzcan rendimientos económicamente atractivos. Sin embargo, el N es un nutriente casi universalmente deficiente por las pérdidas de este elemento causadas por el mal manejo a que han sido sometidos los suelos y por la agresión que se hace de sus reservas orgánicas. Ello ocasiona que, en general, el N se deba agregar al suelo en grandes cantidades como fertilizante nitrogenado o abono orgánico, para satisfacer la demanda de los cultivos. Sólo una parte de este N adicionado puede ser usado por las plantas en el corto plazo, y el resto se escapa hacia estratos más profundos del suelo o hacia la atmósfera, siendo fuente de contaminación en ambos casos.

La eficiencia de uso depende del tipo de agroecosistema, planta y fertilizante, así como de las prácticas de manejo. Cualquier esfuerzo que se haga para conservar el N adicionado y el nativo en la zona de máxima absorción de las raíces, contribuye a aumentar la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado, se traduce en ahorro para productores y causa menor daño al medio ambiente.

El suministro de N, que depende de la mineralización, está dado por dos componentes: a) el N mineral residual que corresponde al N mineral del año anterior que permanece en el suelo o que fue mineralizado durante el período cosecha-siembra, y b) por el N que se mineraliza durante el período de cultivo, el cual se estima mediante el N potencialmente mineralizable con una tasa constante de mineralización (k) (Stanford *et al.*, 1973; Prado y Rodríguez, 1978; Flores, 1988; Rodríguez, 1993).

Son numerosos los trabajos realizados para estimar el suministro de N en función de la mineralización del N orgánico en condiciones de laboratorio (Griffin y Laine, 1983; Flores, 1988). La mayoría de dichos trabajos consideran la estimación del potencial de mineralización del N, así como una tasa constante de mineralización (k) en un tiempo dado.

En general, el procedimiento anterior tiene el inconveniente que estima la fracción de N mineralizable presente al momento de la recolección de la muestra. Este reservorio es alterado bajo condiciones de campo como resultado del aporte de N orgánico desde las raíces y desde los residuos superficiales del suelo (especialmente bajo

cero labranza o suelos forestales), y por la lenta transformación de la fracción de N orgánico más resistente (Raison *et al.*, 1987). Las mediciones de mineralización en condiciones de laboratorio, especialmente con suelos alterados, pueden ser un índice inexacto del proceso (Lamb, 1980; Hart y Binkley, 1985; Raison *et al.*, 1987).

Varias técnicas han sido usadas para medir la mineralización de N en condiciones de campo o para obtener un índice de ella, pero no ha sido posible evaluar la reproducibilidad de los resultados debido a los efectos desconocidos de las condiciones del ensayo (especialmente alteración del suelo) sobre la tasa de mineralización. No existen métodos de referencia que midan exactamente la tasa de mineralización en condiciones de campo. Además, se puede argumentar que es imposible la medición precisa, debido a que todos los métodos miden la acumulación de N mineral en ausencia de raíces activas, las cuales provocarían alteración en la estructura física del suelo y contenido de humedad por los procesos rizosféricos. Una buena técnica debe minimizar estos efectos.

Los métodos usados para medir o estimar la mineralización de N bajo condiciones de campo se indican a continuación: (1) Exposición de muestras alteradas de suelo dentro de bolsas plásticas enterradas en el campo (Eno, 1960; Westermann y Crothers, 1980); (2) Exposición de columnas de suelo relativamente no alteradas dentro de bolsas plásticas o cilindros enterrados en el campo (Matson y Boone, 1984; Nadelhoffer *et al.*, 1985; Raison *et al.*, 1987); (3) Medición de N mineral recolectado con resinas de intercambio (Hart y Binkley, 1985); (4) Determinación del efecto de la temperatura y humedad sobre la mineralización del N relacionándolas mediante modelos con las fluctuaciones de estas variables a nivel de campo (Marion *et al.*, 1981; Macduff y White, 1985).

Además de los posibles cambios inducidos por las raíces, pueden presentarse los siguientes

inconvenientes: (a) La alteración del suelo afecta considerablemente la mineralización (Nordmeyer y Richter, 1985). Este efecto es mayor con el método (1) y puede ser más reducido con el método (2); (b) Las rápidas fluctuaciones en el contenido de humedad afectan significativamente la mineralización. Con los métodos (1) y (2) se mantiene el mismo contenido de humedad en el período de exposición; (c) El método (3) es cuantitativamente impreciso porque la captura de N mineral con resinas es muy dependiente del transporte de agua (Binkley, 1984) y no se mide el N absorbido por las raíces o NH_4^+ de intercambio en los coloides del suelo; (d) Las aproximaciones empleando modelos pueden ser útiles. Las superficies de respuesta a la temperatura y humedad deben ser determinadas en suelo sin alterar y se requiere registrar las variaciones estacionales (Popovic, 1971; Ellis, 1974; Richards *et al.*, 1985). No obstante, la respuesta en la fracción de N mineralizable no es constante respecto al tiempo.

De todos los métodos indicados anteriormente, el (2) parece ser el más útil y Nadelhoffer *et al.* (1985), Raison *et al.* (1987) y Stein *et al.* (1987), aportan evidencias respecto a que esta técnica entrega buenas estimaciones de la mineralización neta de N en un amplio rango de suelos. El uso de cilindros enterrados permite medir la contribución de los residuos superficiales del suelo sobre la mineralización del N, especialmente en lo que respecta a la influencia de la macro y microfauna presentes en ellos (Anderson *et al.*, 1985), de la biomasa microbiana del suelo (Ingham *et al.*, 1985) y del pool de N lábil presente en la fracción menos resistente de la materia orgánica (Sollins *et al.*, 1984).

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el comportamiento del trigo en distintas rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos, algunas de ellas seleccionadas por considerarse que contribuirían a mejorar la situación del N en el suelo y, en particular, medir la mineralización y absorción de N por este cultivo bajo las condiciones anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental "El Batán" del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en la zona de los valles altos de México Central (19°31' lat. Norte, 98°50' long. Oeste; 2.249 msnm). La precipitación promedio anual en el sitio es 625 mm, principalmente concentrada durante el verano; las temperaturas mínima y máxima promedio son 5 °C y 23,3 °C, respectivamente, y las medias mensuales oscilan entre 12,5 y 17,5 °C. El suelo es un Vertisol con contenidos de 47, 35, y 18% de arcilla, arena y limo, respectivamente, y que al momento del establecimiento presentaba las siguientes características físicas y químicas: densidad aparente 1,5 g cm⁻³, pH agua 6,5, conductividad eléctrica 0,125 dS m⁻¹, materia orgánica 2,41%, N total 0,13%, N inorgánico 50 mg kg⁻¹, P extraíble Olsen 50 mg kg⁻¹, K intercambiable 507 mg kg⁻¹, capacidad de intercambio de cationes 25 cmol(+) kg⁻¹, y un porcentaje de saturación de bases de 89,7%.

Desde el año 1991 se ha evaluado el efecto del tipo de labranza (convencional vs. cero), manejo de residuos (con residuos vs. exclusión total) y rotaciones (trigo continuo, trigo-maíz, trigo-medicago, trigo-avena/vicia) sobre la producción de trigo (T) (Nombres científicos. Trigo: *Triticum aestivum*; maíz: *Zea mays*; medicago: *Medicago* sp.; avena: *Avena sativa*; vicia (*Vicia* sp.)). En este trabajo sólo se reportan los resultados correspondientes al segundo y tercer año del experimento. La labranza convencional (C) consistió en una aradura, dos rastrajes y una escarificación. En el sistema de labranza cero (Z) no se movió el suelo. El tratamiento manejo de residuos consistió en: mantener en el campo la totalidad de los residuos del cultivo anterior (R), es decir, del trigo (T), maíz (M), avena/vicia (V) o medicago (P), los cuales fueron incorporados o dejados sobre la superficie del suelo, dependiendo del sistema de labranza, esto es, C o Z, o se retiraron mecánicamente (B), quedando en el suelo sólo las raíces y las coronas del cultivo previo. Los niveles de fertilización nitrogenada emplea-

dos fueron 0 y 50 kg N ha⁻¹ en el año 1992, y 0 y 100 kg N ha⁻¹ en 1993. El diseño experimental fue bloques al azar con parcelas divididas. Las parcelas principales (combinaciones de rotación, labranza y manejo de residuos) fueron de 7,5 x 22 m y las subparcelas (dosis de N) de 7,5 x 11 m. Cada tratamiento se repitió dos veces. A la cosecha se midió el rendimiento de paja y grano de trigo, y el porcentaje de N en la parte aérea, con los cuales se calculó la absorción de este elemento por el cultivo ("absorción real").

Para la evaluación de la mineralización de N durante el ciclo de desarrollo del trigo en el año 1993, se procedió a instalar un set de microlisímetros de PVC de 40 cm de longitud y 5 cm de diámetro interno, los cuales se instalaron en un área de 7,5 x 2 m en las parcelas que ese año les correspondía siembra con trigo y que habían sido fertilizadas con N en los años anteriores. En el período experimental esta parte de la parcela no se fertilizó con N. En cada parcela se enterraron cuatro microlisímetros, hasta 20 cm de profundidad, los que fueron muestreados y reinstalados cada tres semanas, aproximadamente (14 junio, 14 julio, 6 agosto, 17 septiembre y 5 octubre 1993). Para este propósito se siguió la metodología propuesta por Raison *et al.* (1987) con modificaciones menores. La mineralización neta de N (o la inmovilización) fue calculada como la suma de los cambios en amonio (amonificación neta) y nitratos (nitrificación neta) y estos valores que representan promedios de muestreo espacial en los tratamientos, fueron expresados como kg N ha⁻¹. La teoría y práctica de este procedimiento está descrita por Raison *et al.* (1987).

Las muestras de suelo del interior de los microlisímetros y del exterior, obtenidas en cada período, fueron conservadas en congelador a una temperatura de -5 °C por un período máximo de 5 días y posteriormente procesadas en húmedo. Para ello, se determinó previamente su contenido de humedad y se procedió a efectuar una extracción con KCl 2N (relación suelo/extractante = 1:10). Estos extractos fueron estabilizados con 2 a 3 gotas de tolueno y congelados hasta su

determinación. Para la determinación de amonio más nitratos se usó la técnica de microdifusión (Stanford *et al.*, 1973). Los resultados se expresaron finalmente en kg ha⁻¹ considerando el peso y volumen de suelo dentro de cada microlisímetro. Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (procedimiento GLM, Statistical Analysis System Institute, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Rendimiento y absorción de N por el trigo

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de rendimiento de trigo en los años 1992 y 1993. El rendimiento varió entre 2,3 a 5,1 t ha⁻¹, siendo el promedio general muy similar en ambos años.

En 1992 la respuesta media a la aplicación de N fue baja (4,6 kg de grano/kg N) y no hubo interacción con otro factor principal, en tanto en 1993 se presentó un mayor efecto del N (8,1 kg de grano/kg N) e interacción con rotación y residuos. Las mayores respuestas en rendimiento de trigo se obtuvieron en las rotaciones después de maíz y trigo, y la menor después de vicia, incrementándose esta respuesta con la presencia de residuos. Ello se atribuyó a que los cereales, como cultivo previo, agotaron el N mineral del suelo y, por otro lado, la retención de los residuos estaría induciendo un fenómeno de inmovilización, la que fue parcialmente compensada con la fertilización nitrogenada.

El efecto de la rotación varió considerablemente entre los dos años. Por ejemplo, en 1992 la rotación vicia-trigo fue la que presentó los menores rendimientos y el año siguiente tuvo un comportamiento inverso. Esto se atribuye a las condiciones climáticas durante el período de crecimiento activo; el año 1992 fue seco (384 mm de junio a agosto) en relación con 1993 (450 mm en igual periodo), por lo que la disponibilidad de agua en el suelo fue menor en el primer año. El rendimiento de trigo en la rotación vicia-trigo fue particularmente afectada por esta situación; la producción de este tratamiento fue la más baja

en 1992, pero la mayor en 1993. Ello se atribuyó a que en ausencia de estrés hídrico en 1993, los aportes nitrogenados que hizo el cultivo de vicia favorecieron el rendimiento de trigo. Este comportamiento estuvo avalado por el hecho que en 1993 prácticamente no hubo efecto de la fertilización nitrogenada agregada al trigo en ese tratamiento.

El monocultivo de trigo y la rotación maíz-trigo presentaron un rendimiento inferior en 1993, respecto al año anterior, a pesar que hubo mayor disponibilidad de agua durante esa temporada. Tal situación se explicó por la menor disponibilidad de N para ese cultivo en los tratamientos indicados, lo cual se analizará más detalladamente en la sección siguiente.

La cero labranza con retención de residuos (ZR) resultó ser el mejor tratamiento cuando la condición hídrica fue restrictiva (1992); pero en el año 1993, con precipitación cercana a la normal, no se observó ventaja de dicho tratamiento. En condiciones de estrés hídrico, por la cubierta de residuos que queda en la superficie y la no exposición de la capa arable a las radiaciones solares y el viento, el tratamiento ZR tuvo menores pérdidas por evaporación del agua del suelo, favoreciendo la disponibilidad de ésta para el cultivo. En contraste, en las parcelas con labranza convencional (C), la evaporación fue mucho mayor, disminuyendo marcadamente las reservas hídricas del suelo.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de extracción de N por el cultivo de trigo. La mayor extracción de N del suelo, en ambos años, ocurrió en los tratamientos donde el cultivo precedente había sido una leguminosa o se aplicó fertilización nitrogenada. En el año 1992, aquél con restricción hídrica durante el período de crecimiento del cultivo, la cero labranza también ayudó a incrementar la extracción de N por el trigo, pero en 1993, ocurrió exactamente lo contrario. Probablemente esto pueda ser atribuido a la condición de humedad antes de la siembra. En 1992 cayeron aproximadamente 200 mm de lluvia

Cuadro 1. Rendimiento de trigo en distintas rotaciones, sistemas de labranza, manejo de residuos y dosis de fertilización nitrogenada

Table 1. Wheat yields with different rotations, tillage systems, residue management and dose of nitrogen fertilizer

Rotación ¹	Labranza/Residuos	Año 1992			Año 1993		
		N1	N2	Media	N1	N2	Media
----- t ha ⁻¹ -----							
Trigo-Trigo (TT)	ZR	4,69	5,13	4,91	2,74	3,97	3,36
	ZB	3,99	4,53	4,26	3,42	4,06	3,74
	CR	4,82	3,86	3,84	3,91	4,47	4,19
	CB	4,25	5,15	4,70	3,44	4,21	3,83
Maíz-Trigo (MT)	ZR	4,42	4,64	4,53	2,35	4,46	3,40
	ZB	4,39	4,61	4,50	3,29	4,73	4,01
	CR	4,34	4,63	4,48	3,08	4,44	3,76
	CB	4,55	4,63	4,59	3,43	4,01	3,72
Vicia-Trigo (VT)	ZR	4,28	4,23	4,26	4,82	5,00	4,91
	ZB	4,10	4,08	4,09	4,59	5,09	4,84
	CR	2,66	2,63	2,64	4,21	4,87	4,54
	CB	3,05	3,51	3,28	4,67	4,28	4,47
Medicago-Trigo (PT)	ZR	4,88	4,91	4,89	3,98	5,09	4,53
	ZB	4,86	4,89	4,88	4,30	4,93	4,61
Promedios factor principal							
Rotación	Trigo-Trigo (TT)	4,43 b ²			3,78 b		
	Maíz-Trigo (MT)	4,52 ab			3,72 b		
	Vicia-Trigo (VT)	3,57 c			4,69 a		
	Medicago-Trigo (PT)	4,88 a			4,57 a		
Labranza	Cero (Z)	4,43 a			4,04 a		
	Convencional (C)	3,92 b			4,09 a		
Residuos	Con residuos (R)	4,22 a			4,10 a		
	Sin residuos (B)	4,33 a			4,17 a		
Nitrógeno	N1	4,16 b			3,73 b		
	N2	4,39 a			4,54 a		

¹Combinación factorial de 2 años (M = maíz, T = trigo, V = vicia, P = medicago), labranza (Z = cero, C = convencional), manejo de residuos (R = retención, B = remoción). Parcela dividida para N (N1 = 0, N2 = 50 kg N ha⁻¹-1992, N2 = 100 kg N ha⁻¹-1993).

²Letras iguales dentro de las columnas y factores principales no son estadísticamente diferentes a P < 0,05.

entre la cosecha del cultivo anterior y siembra, en tanto en 1993 la precipitación en igual período fue inferior a 100 mm. Esta circunstancia pudo favorecer la mineralización rápida del N contenido en los residuos de la cosecha del cultivo

anterior y del proveniente de reservorios naturales del suelo, y aún la pérdida del mismo principalmente en el sistema de labranza convencional (C), ya que al mezclarse la materia orgánica con el suelo o al exponerse las reservas orgánicas

Cuadro 2. Absorción de nitrógeno en trigo bajo distintas rotaciones, sistemas de labranza, manejo de residuos y dosis de fertilización nitrogenada**Table 2. Absorption of nitrogen on wheat with different rotations, tillage systems, management of residues and doses of nitrogen fertilizer**

Rotación ¹	Labranza/Residuos	Año 1992			Año 1993		
		N1	N2	Media	N1	N2	Media
----- kg ha ⁻¹ -----							
Trigo-Trigo (TT)	ZR	115,2	154,1	134,7	70,8	114,7	92,8
	ZB	103,9	126,8	115,4	92,7	119,3	106,0
	CR	98,5	127,4	113,0	109,6	134,9	122,2
	CB	111,7	160,0	135,9	89,7	129,0	109,3
Maíz-Trigo (MT)	ZR	112,4	142,3	127,4	61,7	115,5	88,6
	ZB	109,6	136,4	123,0	68,4	119,8	94,1
	CR	108,3	134,6	121,5	71,6	124,4	98,0
	CB	116,6	131,6	124,1	89,5	115,5	102,5
Vicia-Trigo (VT)	ZR	130,6	150,0	140,3	167,5	141,9	154,7
	ZB	127,3	134,7	131,0	121,4	170,0	145,7
	CR	92,9	100,5	96,7	146,0	156,3	151,2
	CB	108,7	128,4	118,6	154,8	160,6	157,7
Medicago-Trigo (PT)	ZR	137,7	151,4	144,6	94,7	157,5	126,1
	ZB	129,4	150,9	140,2	139,9	142,1	141,0
Promedios factor principal							
Rotación	Trigo-Trigo (TT)	124,7 b ²			107,6 c		
	Maíz-Trigo (MT)	124,0 b			95,8 c		
	Vicia-Trigo (VT)	121,6 b			152,3 a		
	Medicago-Trigo (PT)	142,4 a			133,6 b		
Labranza	Cero (Z)	128,6 a			113,7 a		
	Convencional (C)	118,3 b			123,5 a		
Residuos	Con residuos (R)	125,4 a			119,1 a		
	Sin residuos (B)	126,8 a			122,3 a		
Nitrógeno	N1	114,4 b			105,6 b		
	N2	137,8 a			138,3 a		

¹Combinación factorial de 2 años (M = maíz, T = trigo, V = vicia, P = medicago), labranza (Z = cero, C = convencional), manejo de residuos (R = retención, B = remoción). Parcela dividida para N (N1 = 0, N2 = 50 kg N ha⁻¹-1992, N2 = 100 kg N ha⁻¹-1993).

²Letras iguales dentro de las columnas y factores principales no son estadísticamente diferentes a P < 0,05.

relativamente estabilizadas ocurre una rápida oxidación. En contraste, el flujo de N mineralizado en cero labranza (Z) fue más lento, por lo que su liberación ocurrió a través de toda la estación de crecimiento.

La presencia o ausencia de residuos no afectó significativamente la extracción de N por el cultivo en ninguno de los dos años, pero en 1992 hubo una interacción labranza x residuos, cuya interpretación se dió precedentemente. El

comportamiento impredecible de la situación de abastecimiento nitrogenado, indica la necesidad de establecer diagnósticos tempranos de la nutrición nitrogenada del trigo, que permitan corregir cualquier problema de déficit de este elemento o una condición de exceso del mismo.

2. Mineralización y absorción de N medido con microlisímetro

La concentración de N mineral en el suelo fue muy heterogénea, y aunque los datos del Cuadro 3 corresponden a un promedio de 2 repeticiones y 4 microlisímetros por repetición, el error estándar fue muy alto, especialmente en los valores de mineralización neta donde se obtuvo un coeficiente de variación de 70%. El N mineral en presiembra (Nr), la mineralización neta acumulada durante el crecimiento del cultivo (Nmin), la extracción de N estimada lisimétricamente (Ne) y el N mineral postcosecha (Npc), no fueron afectados por el sistema de labranza, manejo de residuos y tampoco por ninguna interacción.

Sin embargo, el efecto de la rotación sobre la mineralización fue claro y los valores más altos de mineralización se obtuvieron cuando en la rotación se incluyó una leguminosa (PT y VT). Si se compara la extracción efectuada por el cultivo (Ne) con el suministro total se observa que el cultivo extrajo entre 80 y 90% del N disponible. Este aprovechamiento aparente se considera extremadamente alto y es consecuencia de que la extracción por la planta, calculada por el método lisimétrico, se encuentra posiblemente sobrestimada por lo que hay que manejar estos resultados con reserva. En efecto, estos valores fueron del orden de 55% superiores a la absorción "real" (N en biomasa aérea), sin embargo, hubo una alta correlación entre ambas variables ($r = 0,85^{**}$). No obstante, cabe señalar, que parte de estas diferencias pueden explicarse porque en la determinación de N a la cosecha del cultivo no se considera el N de la biomasa radical y, además, pueden producirse pérdidas gaseosas de N post-antétesis provenientes de la parte aérea del cultivo. Por otro lado, la utilización de microlisímetros

tapados puede también conducir a una sobreestimación de la absorción, puesto que se evita el movimiento de nitratos fuera de la estrata estudiada (0 a 20 cm).

La mineralización neta acumulada en el período de desarrollo del trigo, como se señaló anteriormente, sólo fue afectada por la rotación (Figura 1). Durante los primeros dos meses de desarrollo del cultivo la mineralización neta varió según la rotación de -8 a 80 kg N ha⁻¹; en los siguientes 30 días esta tasa de mineralización tuvo un incremento sostenido, pero hacia el final del período experimental la tasa de mineralización decreció considerablemente. No se encontró una asociación de esta variable con la temperatura media, que fue muy estable durante el ciclo de desarrollo del trigo (media mensual varió de 16,7 a 18 °C). La secuencia maíz-trigo (MT) presentó la más baja tasa de mineralización y se produjo inmovilización en la primera etapa de desarrollo del cultivo. En contraste, el monocultivo de trigo (TT) tuvo una mineralización ligeramente superior en ese período. Se considera que los valores de Nmin del tratamiento TT se encuentran algo alterados por la contribución ocasional de N que hicieron los granos de trigo que cayeron al suelo el año anterior, como consecuencia de un desgrane ocurrido por granizada, los que aportaron aproximadamente 40 kg N ha⁻¹ adicionales ese año.

La rotación que incluyó medicago como cultivo previo al trigo (PT) presentó la mayor mineralización: 145 kg N ha⁻¹, a las rotaciones VT, TT y MT les correspondieron 70, 49 y 30% de ese valor, respectivamente. Esto deja de manifiesto el importante rol de las leguminosas para incrementar el pool de N disponible del suelo. Otros trabajos de mineralización de abono verde han reportado valores de la misma magnitud (Janzen y Radder, 1989; Janzen *et al.*, 1990; Bremer *et al.*, 1991). Por ejemplo, Bremer y van Kessel (1992) indicaron que alrededor de 40% del abono verde (lenteja (*Lens* sp.)) fue mineralizado durante el ciclo del cultivo siguiente y se incrementó la mineralización neta del N nativo del suelo en

Cuadro 3. Nitrógeno mineral presiembra (Nr), nitrógeno mineral postcosecha (Nh), mineralización neta acumulada durante el crecimiento del cultivo (Nmin) y absorción de nitrógeno por el cultivo (Ne) bajo distintas rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos**Table 3. Pre-planting mineral nitrogen (Nr), post-harvest mineral nitrogen (Nh), net accumulated mineralization during crop growth (Nmin) and nitrogen absorption by the crop (Ne) with different rotations, tillage systems and management of residues**

Rotación ¹	Labranza/Residuos	Nr	Npc	Nmin	Nr + Nmin	Ne
-----kg ha ⁻¹ -----						
Trigo-Trigo (TT)	ZR	84,3	4,0	62,7	147,0	133,0
	ZB	92,3	25,8	46,6	138,8	109,2
	CR	146,8	34,0	55,3	202,1	181,2
	CB	92,0	22,6	119,7	211,7	210,0
Maíz-Trigo (MT)	ZR	62,5	30,0	58,5	121,0	99,5
	ZB	102,0	22,0	15,9	117,9	102,0
	CR	69,1	11,4	46,4	115,5	107,4
	CB	84,0	24,8	59,0	143,0	124,6
Vicia-Trigo (VT)	ZR	133,1	15,0	142,6	275,7	265,1
	ZB	143,6	25,0	80,7	224,3	195,2
	CR	199,2	15,0	77,1	276,4	255,3
	CB	120,8	30,0	109,7	230,6	205,7
Medicago-Trigo (PT)	ZR	80,1	35,0	153,3	233,4	204,1
	ZB	130,4	21,0	137,8	268,2	252,0
Promedios factor principal						
Rotación	Trigo-Trigo (TT)	103,9 b ²	21,6 a	71,0 ab	174,9	158,4 b
	Maíz-Trigo (MT)	79,4 b	22,1 a	45,0 b	124,4	108,4 c
	Vicia-Trigo (VT)	149,2 a	21,3 a	102,5 ab	251,7	230,3 a
	Medicago-Trigo (PT)	105,2 b	28,0 a	145,5 a	250,7	228,0 a
Labranza	Cero (Z)	103,0 a	20,3 a	67,8 a	170,8	150,6 b
	Convencional (C)	118,7 a	23,0 a	77,9 a	196,6	180,7 a
Residuos	Con residuos (R)	115,8 a	23,6 a	73,8 a	189,6	177,9 a
	Sin residuos (B)	105,8 a	24,5 a	71,9 a	177,7	171,2 a

¹Combinación factorial de 2 años (M = maíz, T = trigo, V = vicia, P = medicago), labranza (Z = cero, C = convencional), manejo de residuos (R = retención, B = remoción).

²Letras iguales dentro de las columnas y factores principales no son estadísticamente diferentes a $P < 0,05$.

un equivalente al 10% del N agregado como abono verde.

Después de tres años de dejar o retirar los residuos no se observó un efecto significativo en Nmin. El año precedente se habían dejado sobre el campo en los tratamientos con retención de residuos, aproximadamente 4,5 t ha⁻¹ de paja de

trigo, y 8,5 t ha⁻¹ de maíz, y cifras parecidas en los años anteriores. La relación C/N en los residuos de trigo y maíz en 1992 fue 62 y 35, respectivamente. Llama la atención que después de tres años de dejar sistemáticamente en el suelo tal cantidad de residuos vegetales, no se haya observado un incremento en la cantidad de Nmin en el suelo. Ello podría deberse a la necesidad

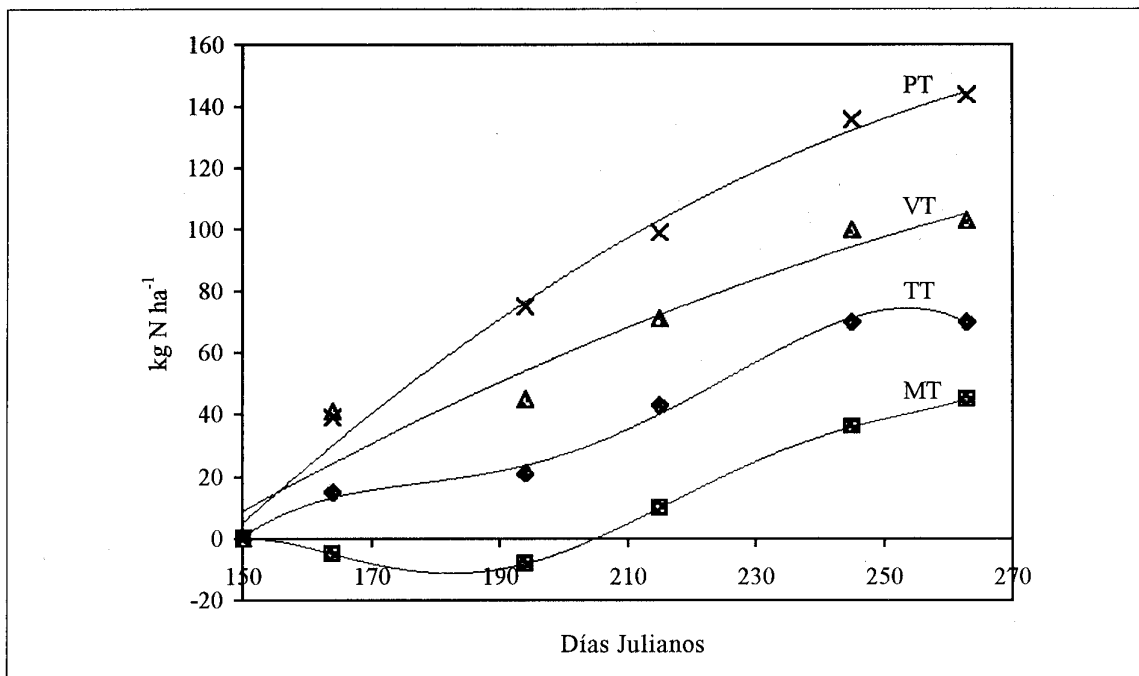


Figura 1. Mineralización neta acumulada (kg ha^{-1}) en el monocultivo de trigo (TT), rotaciones maíz-trigo (MT), vicia-trigo (VT) y medicago-trigo (PT).

Figure 1. Net accumulated mineralization (kg ha^{-1}) in the wheat monoculture (TT), corn-wheat (MT), vicia-wheat (VT), and medicago-wheat (PT) rotations.

que tiene el sistema de satisfacer primero las necesidades del propio ciclo interno de N en el suelo, las que se generan al adicionar residuos y aumentar el tamaño de los reservorios de N en éste, antes de que se pueda liberar N mineral al medio (Jansson, 1958). El empleo de la labranza convencional (C) causó en este tercer año, un incremento significativo del Nmin, lo cual es fácilmente explicable por el efecto acelerador de este tratamiento sobre la oxidación de la materia orgánica.

El impacto que tuvo la labranza y residuos sobre el Ne fue secundario, no manifestándose un efecto significativo sobre esta variable. Al igual que la mineralización, sólo fue afectada significativamente ($P < 0,01$) por efecto de la rotación (Figura 1). Estos valores presentaron la misma tendencia que la mineralización neta ($r = 0,75^{**}$), siendo las rotaciones PT y VT significativamente superiores a MT y TT. Cabe señalar, que el trigo

asimiló 56% del N total antes del 14 de julio, 38% entre el 14 de julio y 27 de agosto, y 6% después de esta fecha hasta madurez fisiológica, no presentándose mayores diferencias entre los sistemas de rotación.

CONCLUSIONES

Después de tres años de establecer ciertos tratamientos tendientes a hacer más sustentable el sistema de producción de trigo en una zona con régimen de lluvias de verano, la incorporación de una leguminosa en la rotación se tradujo, por lo general, en mayores rendimientos y mejor abastecimiento de N para la planta. Esto fue explicado por la ocurrencia de una mayor mineralización del N en el suelo durante el período de crecimiento del cultivo así como por la presencia de más N residual al momento de la siembra, como consecuencia de la incorporación de residuos en la rotación. En casi todos los casos, el

monocultivo de trigo resultó ser el tratamiento con el menor rendimiento, pero no con el menor suministro de N, el cual se observó en la rotación maíz-trigo.

La labranza cero resultó ser una buena práctica en un año con restricciones hídricas durante el ciclo de crecimiento del trigo, pero no se observaron ventajas en un año cercano al normal. La labranza convencional invariablemente presentó mayor N acumulado al momento de la siembra y mineralización del mismo durante el ciclo del cultivo, lo cual ocurrió en detrimento de las reservas de este elemento en el suelo.

La práctica de dejar o retirar los residuos de cosecha del cultivo anterior no mostró resultados concluyentes, aunque se espera que los beneficios de la misma se comiencen a observar con el transcurso de los años. Esta práctica, al igual que la labranza cero, produjo, sin embargo, un incremento significativo de la biomasa microbiana del suelo (Vidal *et al.*, 1997), la cual se considera como un indicador biológico positivo de la calidad del suelo y de la sustentabilidad de los sistemas.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.M., M.A. Leonard, P. Ineson, and S. Huish. 1985. Faunal biomass: a key component of a general model of nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 17:735-737.
- Binkley, D. 1984. Ion-exchange resin bags for assessing soil N availability: the importance of ion concentration, water regime, and microbial competition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1181-1184.
- Bremer, E., and van Kessel, C. 1992. Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1155-1160.
- Bremer E., W. van Houtum, and C. van Kessel. 1991. Carbon dioxide evolution from wheat and lentil residues as affected by grinding, added nitrogen and the absence of soil. *Biol. Fert. Soils* 11:221-227.
- Ellis, R.C. 1974. The seasonal patterns of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 54:15-28.
- Eno, C.F. 1960. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:277-279.
- Flores, J.P. 1988. Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el Estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Montecillo, México.
- Griffin, G.F., and A.F. Laine. 1983. Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes. *Agron. J.* 75:124-312.
- Hart S.C., and D. Binkley. 1985. Correlation among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. *Plant Soil* 85:11-21.
- Ingham, R.E., J.A. Trofymow, E.R. Ingham, and D.C. Coleman. 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol. Monogr.* 55:119-140.
- Jansson, E. 1958. Tracer studies in nitrogen formation in soil with special attention to mineralization-immobilization relationship. *Ann. R. Agric. Coll. Swed.* 24: 101-361.
- Janzen, H.H., and G.D. Radder. 1989. Nitrogen mineralization in a green manure-amended soil as influenced by cropping history and subsequent crop. *Plant Soil* 120:125-131.

- Janzen, H.H., J.B. Bole, V.O. Biederbeck, and A.E. Slinkard. 1990. Fate of N applied as green manure or ammonium fertilizer to soil subsequently cropped with spring wheat at three sites in Western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 70:313-323.
- Lamb, D. 1980. Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. *Oecologia* 47:257-263.
- Macduff, J.H., and R.E. White. 1985. Net mineralization and nitrification rates in a clay soil measured and predicted in permanent grassland from soil temperature and moisture content. *Plant Soil* 86:151-172.
- Marion, G.M., J. Kummerow, and P.C. Miller. 1981. Predicting nitrogen mineralization in chaparral soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:956-961.
- Matson, P.A., and R.D. Boone. 1984. Natural disturbance and nitrogen mineralization: waveform dieback of mountain hemlock in the Oregon cascades. *Ecology* 65:1511-1516.
- Nadelhoffer, K.J., J.D. Aber, and J.M. Melillo. 1985. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: a new hypothesis. *Ecology* 66:1377-1390.
- Nordmeyer, H., and J. Richter. 1985. Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant Soil* 83:433-445.
- Popovic, B. 1971. Effect of sampling date on nitrogen mobilization during incubation experiments. *Plant Soil* 34:381-392.
- Prado, O., y J. Rodríguez. 1978. Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. *Ciencia e Investigación Agraria* 5:29-40.
- Raison, R.J., M.J. Connell, and P.K. Khanna. 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N *in situ*. *Soil Biol. Biochem.* 19:521-530.
- Richards, B.N., J.E. Smith, G.J. White, and J.L. Charley. 1985. Mineralization of soil nitrogen in three forest communities from the New England region of New South Wales. *Austr. J. Ecol.* 10:429-441.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. 237 p. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Sollins, P., G. Spycher, and C.A. Glassman. 1984. Net nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction forest soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 16:31-37.
- Stanford, G., J.N. Carter, E.C. Simpson, and D.E. Schwanninger. 1973. Nitrate determination by a modified Conway microdiffusion method. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 56:1365-1368.
- Statistical Analysis System Institute Inc. 1985. SAS User's Guide: Statistics Version. 5th ed. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Stein, J.A., A.R. Sageman, R.A. Fischer, and J.F. Angus. 1987. Soil nitrogen supply of wheat in relation to method of cultivation. *Soil Tillage Res.* 10:243-258.
- Westermann, D.T., and S.E. Crothers. 1980. Measuring soil nitrogen mineralization under field condition. *Agron. J.* 72:1009-1012.
- Vidal, I., J. Etchevers, and R.A. Fischer. 1997. Biomasa microbiana en un suelo sometido a diferentes manejos de labranza y rotación. *Agricultura Técnica (Chile)* 57:272-281.