

## FLUCTUACIONES DEL N MÓVIL EN EL CULTIVO DE TRIGO EN EL SECANO COSTERO DE LA VI REGIÓN DE CHILE<sup>1</sup>

Fluctuations of movable N on wheat in the coastal range of VI Region of Chile

Elias Letelier A.<sup>2</sup>

### SUMMARY

During the years 1983 and 1984 two factorial trials were made on wheat at Experimental Substation Hidango of Chilean, VI Region, with marine-mediterranean climate and 950 - 1,500 mm average-rainfall during crop season respectively. Factors were: early variety vs. semi-early; early seeding vs. normal and no fertilization vs. 150 kg ha<sup>-1</sup> of N.

Available N ( $N_s$ ) in the soil to a depth of 140 cm and total N in the crop ( $N_c$ ) were periodically determined. The sum of both was named movable N ( $N_m$ ). A remarkable reduction of  $N_m$  was observed in winter. A part of this reduction can be explained by the method of sampling, but a certain amount of biological inmovilization is probably involved. During springtime  $N_m$  raised to little higher levels than inicial N (inicial  $N_s$  plus fertilizer N) in the treatments with fertilizer N, and much higher than inicial N in those treatments without fertilizer N. This supplementary N was estimated to come from residual biomass. From the end of spring to harvest  $N_m$  got down again. At harvest time final  $N_m$  was higher than inicial N in the treatments without fertilizer N; In the treatments with fertilizer N, final  $N_m$  was equal or lower than inicial N. The fall of  $N_m$  from springtime to harvest was thought to be caused by volatilization from the crop.

Biological efficiency (final  $N_c$ /inicial N) was always higher in the treatment without N fertilizer than the corresponding treatments with fertilizer N (average 0.85 vs. 0.58). Average efficiency of fertilizer N was 0.38.

**Key words:** wheat, movable nitrogen, biological efficiency, fertilizer efficiency.

### INTRODUCCIÓN

Esta publicación corresponde a la continuación de los antecedentes entregados en un artículo anterior (Letelier *et al.*, 1993) donde se describió el balance hídrico de los tratamientos; en la presente publicación se indican las fluctuaciones que acusó el N móvil ( $N_m$ ) desde la fecha de siembra hasta la madurez del cultivo.

El nitrógeno móvil puede fluctuar dentro del perfil edáfico o perderse hacia la atmósfera o hacia capas profundas del suelo. En esta Introducción se discuten las causas que pueden determinar

estos cambios o pérdidas, en relación a las condiciones ambientales del lugar de ensayo (Subestación Experimental Hidango, VI Región).

El presente trabajo no pretende medir la cuantía de cada una de las distintas vías de entrada o salida del N hacia o desde la reserva del suelo, sino que, por medio de la medición periódica del N asimilable ( $N_s$ ) en el perfil del suelo y del N contenido en el cultivo ( $N_c$ ), obtener una información que permita, con ayuda de los antecedentes aportados por la investigación consultada, estimar las causas que han determinado las variaciones observadas en ambos reservorios de nitrógeno.

Las variables a usar en las siguientes páginas, se definen a continuación:

$N_s$  = N asimilable en el suelo ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) hasta 140 cm de profundidad.  
 $N_c$  = N en el cultivo.

<sup>1</sup>Recepción de originales: 12 de julio de 1993.

El autor agradece a Claudio Ubilla R., Lido Tortello M. y personal del Laboratorio de Suelos del Centro Regional de Investigación La Platina por su importante colaboración.

<sup>2</sup>Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

$$N_m = N_s + N_c$$

$$N_r = N \text{ aportado por el fertilizante.}$$

$$N \text{ inicial} = N_s \text{ (en el momento de la iniciación)} + N_r$$

### Mineralización de la materia orgánica

La mineralización de la materia orgánica tiene dos componentes: amonificación y nitrificación.

La cantidad y calidad de la materia orgánica no humificada, especialmente su relación C/N, es uno de los principales condicionantes de un alto nivel de mineralización (Black, 1968; Haynes, 1986).

Según Rodríguez (1990), el "N lábil", proveniente de los residuos de cultivos anteriores, proporciona entre 10 y 30 kg de N al cultivo siguiente y esta cifra sube hasta 60 kg si se trata de praderas permanentes. La tasa de mineralización del N húmico es muy pequeña y no tiene importancia en el corto plazo (Ledgard, Brier y Sarathandra, 1989, Rodríguez, 1990).

Es probable que en estos ensayos, en los que el pre-cultivo fue una pradera en base a trébol subterráneo, la relación C/N haya sido favorable a la nitrificación.

Un pH neutro es favorable a la nitrificación, siendo la amonificación relativamente indiferente a este factor (Black, 1968). El pH al agua de los suelos del presente ensayo está entre 6,0 y 6,5 en el horizonte superficial (Letelier *et al.*, 1986).

Siendo la mineralización un proceso oxidativo, éste es favorecido por una buena aireación del suelo (Demolon, 1952; Black, 1968; Haynes, 1986), situación que se produce en el lugar de la presente investigación de septiembre en adelante; en invierno el suelo está frecuentemente saturado (Letelier *et al.*, 1993).

Siempre que se mantenga un buen nivel de humedad las temperaturas altas (sobre 30 °C) son favorables a la mineralización (Hideaki, Ziauddin y Torogo, 1969; Haynes, 1986; Black, 1968). En Hidango, las temperaturas máxima medias en primavera son menores a 23 °C (Novoa *et al.*, 1989).

### Inmovilización biológica

La inmovilización es el proceso inverso a la mineralización. Ambos procesos son simultáneos, siendo algunos factores del ambiente favorables a uno o a otro.

La biomasa representa una proporción importante del N del suelo, llegando en ambientes fríos, a constituir el 24% de dicho N (Ledgard *et al.*, 1989) y contribuye eficazmente, a través de su reciclaje, al reservorio de nutrientes móviles del suelo. Haynes (1986) menciona que aproximadamente el 50% del N amonificado anualmente es re-inmovilizado por la biomasa microbiana. En suelos de Pakistán, la biomasa contiene entre 64 y 186 kg ha<sup>-1</sup> de N (Azam, Malik y Hssain, 1986).

En la mayoría de los estudios efectuados en Australia occidental la recuperación en la biomasa del N<sub>15</sub> aplicado es mayor al 40% (Fillery y Mc Innes, 1992).

En un experimento efectuado por Iqbal y Mac Gregor (1982), en avena de invierno, un 65% del N aplicado como fertilizante fue inmovilizado en forma orgánica.

Carter y Rennie (1984) citan un aumento de la masa microbiana desde el estado 1 al 5 de Feekes en el trigo.

La inmovilización es favorecida por una relación C/N alta (> 22) de los residuos no humificados.

Las temperaturas óptimas para la inmovilización son muy inferiores a las de la mineralización y parecen estar bajo los 10 °C (Ledgard y otros, 1989; Hideaki y otros, 1969).

Ledgard *et al.* (1989) sugieren que, por la vía de la inmovilización se reducen apreciablemente las pérdidas de nitrógeno, el que posteriormente, es utilizado por las plantas. Vleck, Fillery y Burford (1981) mencionan que la inmovilización sería importante en el invierno, en las zonas de clima mediterráneo.

Demolon (1952) señala una menor tasa de combustión de la materia orgánica en condiciones de humedad y Phillips (1984) indica un aumento de ésta en cero labranza, manejo que tiende a elevar la humedad del suelo.

La inmovilización es favorecida en los cultivos por la excreción radical de carbohidratos (Russell, 1950; Haynes, 1986). También las mismas raíces, en situaciones de estrés, pueden actuar como una reserva importante de nutrientes (Hamblin, Teunant y Perry, 1990).

Los inviernos de Hidango con temperaturas medias del suelo de 10,8 °C a 10 cm de profundidad y con suelos frecuentemente saturados (Letelier *et al.*, 1993), serían favorables a la inmovilización.

Pero el pre-cultivo de trébol subterráneo (residuos con C/N alto) actuaría en sentido contrario. Sin embargo, las relaciones C/N que optimizan la inmovilización en el campo son muy variables (Haynes, 1986).

### Lixiviación

La lixiviación está relacionada con la cuantía de las precipitaciones. Papadakis (1975) considera que para que un clima mediterráneo pueda considerarse lluvioso la lluvia lixivante ( $L_n$ ) debe ser superior al 20% de la evaporación anual. En Hidango la  $L_n$  ha sido en promedio de 44% de la evaporación anual y en los años en que se verificaron los ensayos, este índice fue 32 y 55%, respectivamente (Letelier *et al.*, 1993).

La lixiviación es importante, entre otros casos, cuando el suelo está desprovisto de vegetación como es el caso del barbecho (Goh, 1982; Silva, MacDonald y Nissen, 1987; Cameron y Haynes, 1986). También puede serlo en el cultivo de cereales en clima mediterráneo a principios de invierno cuando las plantas cubren una muy pequeña fracción del suelo.

Las mediciones de lixiviación que se citan van desde 16 kg ha<sup>-1</sup> de N en cultivo de trigo (Goh, 1982) hasta 231 kg ha<sup>-1</sup> de N en barbecho desnudo (Cameron y Haynes, 1986). En Chile, Silva *et al.* (1987), han obtenido niveles de 53,3; 18,1 y 21,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, lixiviados durante tres temporadas sucesivas, en suelos fertilizados con nitrato sódico y cubierta de *Lolium*.

Gho (1982) señala una serie de errores en las mediciones de lixiviación y las considera poco confiables.

Con los antecedentes citados, se infiere que la lixiviación puede ser importante en el sitio del ensayo (Hidango). Sin embargo, la misma es contrarrestada por la inmovilización del N en la biomasa y en las raíces del cultivo y por otros procesos (Cameron y Haynes, 1986; Scotter y Kancharmasut, 1982).

### Denitrificación

Son factores favorables a la denitrificación: las condiciones anaeróbicas (Fillery y Mc Innes, 1992), las temperaturas altas, con una óptima de 35 °C (Vleck y otros, 1981) y la presencia de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y de material energético abundante (Fillery y Mc Innes, 1992).

Estas condiciones no se presentan simultáneamente durante el cultivo del trigo en el secano costero. En invierno hay NO<sub>3</sub> procedente de la fertilización y el suelo está frecuentemente saturado, pero la temperatura es baja. Aún en primavera, la temperatura, 17,8 °C a 10 cm de profundidad, está muy por debajo de la óptima para este proceso (INIA, no publicado) y el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> debe encontrarse a un nivel relativamente bajo debido a la absorción por el cultivo.

Lo anterior indica que en ningún período del año las condiciones ambientales serían óptimas para la denitrificación en Hidango, si bien es factible que este proceso exista en algún grado a principios de primavera, ya que él puede desarrollarse aún en suelos no saturados debido a la persistencia de bolsillos anaeróbicos (Vleck y otros, 1981).

### Volatilización química del amonio del suelo

Este proceso sólo se produce en niveles importantes cuando se utilizan fertilizantes amoniacales en presencia de valores de pH alto (Fillery y Mc Innes, 1992); es favorecido por condiciones de sequía y por una baja capacidad de retención de cationes (Black, 1968). Por el fertilizante utilizado (nitrato sódico), es muy poco probable este tipo de pérdidas de N en los ensayos descritos en este artículo.

### Pérdidas de nitrógeno por volatilización desde las hojas del cultivo

Pérdidas de N por volatilización durante la madurez de los cereales han sido reconocidas por autores como Dennis (1993), pero no explicadas satisfactoriamente; este mismo autor, utilizando técnicas isotópicas, determinó una pérdida de 81 kg ha<sup>-1</sup> en maíz, fertilizado con 294 kg ha<sup>-1</sup>.

Según Wetselaar y Farquihar (1980) las pérdidas de N por volatilización desde hojas y flores son un fenómeno corriente. Experimentalmente, Quin (1982), estimó estas pérdidas en unos 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

### Otras posibles pérdidas del N<sub>m</sub>

Se sostiene que el N proveniente del fertilizante puede perderse por escurrimiento superficial, inducido por las lluvias invernales. Experiencias con fertilizantes muestran que este tipo de pérdidas, así como el arrastre por el riego, no tiene importancia práctica (Ruiz y Araos, 1983).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en la Subestación Experimental Hidango (actualmente Campo Experimental Hidango) del INIA, durante 1983 y 1984. Se utilizó un diseño de factorial completo, cuyos tratamientos fueron: variedades (precoz y semi-precoz), fechas de siembra (temprana y normal) y dosis de nitrógeno (0 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 1). Los bloques fueron cinco, destinándose dos de ellos a muestreos.

Los suelos en que se verificaron los ensayos fueron predominantemente arcillosos, siendo su capacidad de campo (hasta 1,40 m de profundidad) 407 y 536 mm; durante el periodo de desarrollo del cultivo la lluvia alcanzó 690 mm y 1.113 mm y la evaporación de bandeja fue de 660 y 764 mm en 1983 y 1984, respectivamente. Otros antecedentes edáficos y climáticos de los lugares en que se efectuaron los ensayos se entregan en Letelier y otros (1993).

Se determinó el N<sub>s</sub> según el método indicado por Sadzawka (1990), tomándose una muestra cada 20 cm de profundidad hasta los 140 cm. El promedio de las muestras tomadas antes de la siembra fue en 1983 de 68 kg ha<sup>-1</sup> de N hasta 60 cm y de 28 kg ha<sup>-1</sup> de N entre 60 y 140 cm. Los valores correspondientes en 1984 fueron de 130 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Durante el desarrollo del cultivo se tomaron periódicamente muestras para N<sub>s</sub>, en los dos bloques destinados a muestreos.

Las muestras para materia seca corresponden a 1 m<sup>2</sup> en cada uno de los tratamientos y fechas; en estas muestras se determinó N<sub>c</sub>. Dichas muestras se tomaron en las mismas fechas que N<sub>s</sub> en 1984, pero no en 1983. El coeficiente de correlación entre ambos bloques muestreados fue de 0,4 para N<sub>s</sub> y de 0,82 para N<sub>c</sub> (promedio de los dos años).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los valores de N<sub>s</sub>, N<sub>c</sub> y N<sub>m</sub> en diversas fechas. Se ha estimado el N contenido en la raíz en un 10% del N contenido en la parte aérea, de acuerdo con lo informado por Filler y Mc Innes (1992).

### N<sub>s</sub>, N<sub>c</sub> y N<sub>m</sub> en 1983

Considerando las fechas de muestreo, en los ocho tratamientos el N<sub>s</sub> final fue inferior al N<sub>s</sub> inicial (Cuadro 2).

El N<sub>m</sub> final fue siempre superior al N inicial en los tratamientos sin N fertilizante. En los tratamientos con N fertilizante el N<sub>m</sub> final fue inferior o muy semejante al N inicial. No se consideraron las cifras del tratamiento 2, cuyas mediciones finales se descartaron por posibles pérdidas debidas a desfoliación y/o desgrane.

Durante el invierno se presentó una baja notoria del N<sub>m</sub> con respecto al N inicial en los tratamientos con N fertilizante; en los tratamientos sin N fertilizante esta reducción fue más pequeña o no existió.

CUADRO 1. Tratamientos del ensayo

TABLE 1. Trial treatments

Número	Variedad	Fechas de siembra		Fertilización nitrogenada, kg ha <sup>-1</sup>
		1983	1984	
1	Precoz: Aurifén	Temprana: 14 abril	Temprana: 17 abril	0
2	Precoz: Aurifén	Temprana: 14 abril	Temprana: 17 abril	150
3	Precoz: Aurifén	Normal: 25 mayo	Normal: 8 junio	0
4	Precoz: Aurifén	Normal: 25 mayo	Normal: 8 junio	150
5	Semi-precoz: Andifén	Temprana: 14 abril	Temprana: 17 abril	0
6	Semi-precoz: Andifén	Temprana: 14 abril	Temprana: 17 abril	150
7	Semi-precoz: Andifén	Normal: 25 mayo	Normal: 8 junio	0
8	Semi-precoz: Andifén	Normal: 25 mayo	Normal: 8 junio	150

CUADRO 2. Componentes de N móvil en diversas fechas

TABLE 2. Components of movable N at different dates

1983				
Tratamiento	Fecha	N suelo ( $N_s$ ), kg ha <sup>-1</sup>	N cultivo ( $N_c$ ) corregido por raíces, kg ha <sup>-1</sup>	N móvil ( $N_m$ ), kg ha <sup>-1</sup>
1	29.07	44	30	74
Aurifén	01.09	118*	27	145
S. 14.04	09.09	135		
$N_f$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	05.10	123*	75	198
	20.10	116		
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	59	128	187
N inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	15.12	46*	Probable defoliación o desgrane	
2	29.07	89	56	145
Aurifén	01.09	66*	53	119
S. 14.04	09.09	61		
$N_f$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	05.10	62*	139	201
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	20.20	62		
N inicial: 243 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	83	213	296
	15.12	53*	Probable defoliación o desgrane	
3	01.09	24		
Aurifén	09.09	47	38*	85
S. 25.05	05.10	60*	84	144
$N_f$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	67	100*	167
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	64	122	186
N inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	15.12	38*	112	150
4	01.09	31		
Aurifén	09.09	92	54*	146
S. 25.05	05.10	96*	129	225
$N_f$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	97	148*	245
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	58	175	233
N inicial: 243 kg ha <sup>-1</sup>	15.12	56*	199	255
5	29.07	48	29	77
Andifén	01.09	50*	26	76
S. 14.04	09.09	51	43*	94
$N_f$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	05.10	60	97	157
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	62	106*	168
N inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	54	117	171
	15.12	38*	79	117
6	29.07	85	53	138
Andifén	01.09	70*	82	152
S. 14.04	09.09	67	102	169
$N_f$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	05.10	85	165	250
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	95	183	278
N inicial: 243 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	54	207	261
	15.12	44*	165	209
7	01.09	20		
Andifén	09.09	75	31*	106
S. 25.05	05.10	69*	66	135
$N_f$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	66	88*	154
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	54	118	172
N inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	15.12	29*	110	139
8	01.09	31		
Andifén	09.09	154	51*	205
S. 25.05	05.10	104*	114	218
$N_f$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	20.10	75	141*	216
$N_s$ inicial: 93 kg ha <sup>-1</sup>	09.11	84	177	261
N inicial: 243 kg ha <sup>-1</sup>	15.12	57	122	179

\*Valores interpolados, ponderando fechas.

## Continuación CUADRO 2. Componentes de.....

1984				
Tratamiento	Fecha	N suelo ( $N_s$ ), kg ha <sup>-1</sup>	N cultivo ( $N_c$ ) corregido por raíces, kg ha <sup>-1</sup>	N móvil ( $N_m$ ), kg ha <sup>-1</sup>
1				
Aurifén	28.06	83	41	124
S. 17.04	26.07	95	73	168
$N_p$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	30.08	100	99	199
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	26.09	118	135	253
N inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	25.10	128	108	236
	06.12	137	86	223
2				
Aurifén	28.06	113	51	164
S. 17.04	26.07	142	78	220
$N_p$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	30.08	118	135	253
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	26.09	134	130	264
N inicial: 310 kg ha <sup>-1</sup>	25.10	172	143	315
	06.12	171	112	283
3	30.08	103	12	115
Aurifén	26.09	121	55	176
S. 08.06	25.10	174	80	254
$N_p$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	125	97	222
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	07.01	74	88	162
N inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>				
4	30.08	245	30	275
Aurifén	26.09	121	117	238
S. 08.06	25.10	145	176	321
$N_p$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	109	155	264
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	07.01	83	156	239
N inicial: 310 kg ha <sup>-1</sup>				
5	28.06	91	57	148
Andifén	26.07	94	123	217
S. 17.04	30.08	83	117	200
$N_p$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	26.09	136	172	308
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	25.10	146	184	333
N inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	120	142	262
6	28.06	101	58	159
Andifén	26.07	119	112	231
S. 17.04	30.08	119	172	291
$N_p$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	26.09	112	168	280
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	25.10	126	217	343
N inicial: 310 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	118	181	299
7	30.08	109	16	125
Andifén	26.09	102	51	153
S. 08.06	25.10	151	74	225
$N_p$ : 0 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	112	92	204
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	07.01	77	118	195
N inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>				
8	30.08	194	24	218
Andifén	26.09	142	131	273
S. 08.06	25.10	142	185	327
$N_p$ : 150 kg ha <sup>-1</sup>	06.12	115	184	299
$N_s$ inicial: 160 kg ha <sup>-1</sup>	07.01	83	196	279
N inicial: 310 kg ha <sup>-1</sup>				

Con excepción de los tratamientos 2 y 4, siempre hubo un máximo de  $N_m$  en primavera superior al  $N_m$  final. En los tratamientos sin N fertilizante este máximo fue muy superior al N inicial. En los tratamientos con N fue igual o superó ligeramente al N inicial.

El  $N_c$  fue siempre superior en los tratamientos con N fertilizante con relación a los correspondientes valores sin N fertilizante.

El mejor rendimiento ( $N_c$  final) se produjo cuando se usó fecha de siembra normal con la variedad precoz. Es probable que también la siembra temprana con la variedad precoz podría haber alcanzado un rendimiento semejante si no hubieran existido pérdidas por desfoliación o desgrane.

#### $N_s$ , $N_c$ y $N_m$ en 1984

Con excepción del tratamiento 2, el  $N_s$  final fue siempre inferior al  $N_s$  inicial.

En los tratamientos sin N fertilizante el  $N_m$  final fue siempre superior al N inicial. Lo contrario sucedió en los tratamientos con N fertilizante, donde hubo una pérdida de  $N_m$  durante el desarrollo del cultivo.

El  $N_m$  de los tratamientos con N fertilizante es siempre superior al  $N_m$  de los tratamientos sin N fertilizante.

Durante el invierno se produjo una disminución del  $N_m$  con respecto al N inicial en todos los tratamientos. En cambio, en la primavera el  $N_m$  fue superior al  $N_m$  final y al N inicial. Este máximo es muy notorio en los tratamientos sin N fertilizante.

Los mayores rendimientos ( $N_c$  final), fueron obtenidos por la variedad semi-precoz, en ambas épocas de siembra; éstos, a su vez, fueron superiores a los obtenidos en 1983, lo que señala el efecto favorable de una pluviometría abundante sobre el desarrollo vegetativo. Los menores rendimientos de la variedad precoz se atribuyen al exceso de agua en invierno y a ataques de *Septoria*.

#### Análisis conjunto de ambos ensayos

Se puede apreciar una marcada semejanza entre ambos (Cuadro 3), excepto en lo referente a los rendimientos máximos ( $N_c$ ) alcanzados, que se vieron afectados por las condiciones climáticas del invierno.

CUADRO 3. Resumen de las fluctuaciones del N móvil

TABLE 3. Summary of fluctuations of movable N

Nº	Variedad	Fecha siembra	Fertilización N, kg ha <sup>-1</sup>	N inicial, kg ha <sup>-1</sup>	N <sub>s</sub> final, kg ha <sup>-1</sup>	N <sub>c</sub> final, kg ha <sup>-1</sup>	N móvil, kg ha <sup>-1</sup>			N <sub>s</sub> final: N inicial	Pérdidas por el cultivo, kg ha <sup>-1</sup> *	Recuperación N residual, kg ha <sup>-1</sup> **
							Final	Máximo	Mínimo			
<b>1983</b>												
1	Aurifén	14.04	—	93	46	—	—	198	74	—	—	105
2	Aurifén	14.04	150	243	53	—	—	296	119	—	—	53
3	Aurifén	25.05	—	93	38	112	150	186	85	1,61	36	93
4	Aurifén	25.05	150	243	56	199	255	255	146	1,05	0	12
5	Andifén	14.04	—	93	38	79	117	168	77	1,26	51	75
6	Andifén	14.04	150	243	44	165	209	278	138	0,86	69	35
7	Andifén	25.05	—	93	29	110	139	172	106	1,49	33	79
8	Andifén	25.05	150	243	57	122	179	261	205	0,74	82	18
<b>1984</b>												
1	Aurifén	17.04	—	160	137	86	228	253	124	1,39	30	93
2	Aurifén	17.04	150	310	171	112	283	315	164	0,91	32	5
3	Aurifén	08.06	—	160	74	88	162	254	115	1,01	92	94
4	Aurifén	08.06	150	310	83	156	239	321	238	0,77	82	11
5	Andifén	17.04	—	160	120	142	262	333	148	1,63	71	173
6	Andifén	17.04	150	310	118	181	299	343	159	0,96	44	33
7	Andifén	08.06	—	160	77	118	195	225	125	1,21	30	65
8	Andifén	08.06	150	310	83	196	279	327	218	0,90	48	17

\* $N_m$  máximo -  $N_m$  final.

\*\* $N_m$  máximo - N inicial.

**Reducción del  $N_m$  en invierno con relación al  $N_m$  inicial.** Esto ocurrió especialmente en los tratamientos con N fertilizante. Una explicación a ello, puede estar relacionada con la metodología empleada en el muestreo del suelo. Como esta consistía en sacar una muestra del total del perfil del suelo por fecha y por tratamiento, en cada uno de los bloques destinadas a este fin y la superficie cubierta por el fertilizante era, sin duda, pequeña con respecto al total, es probable que la muestra no coincidiera con el lugar en que cayó el fertilizante. Posteriormente este efecto habría desaparecido por la difusión del fertilizante y por la acción de las raíces.

Si bien este efecto puede explicar parte de la reducción observada, no parece ser lo más importante, ya que en los tratamientos sin N fertilizante también se encontró esta reducción. Además, siempre en la fecha en que se observó la reducción, el  $N_m$  de los tratamientos con fertilizante nitrogenado fue superior a su homólogo sin él; lo mismo ocurrió con muy pocas excepciones con respecto al  $N_s$ .

Un factor que puede explicar esta reducción es la lixiviación del  $N_s$  por las lluvias invernales.

Tomando en cuenta las precipitaciones, era de esperar que en 1984, año más lluvioso, la reducción fuera mayor, lo que sucedió efectivamente, aunque la diferencia fue pequeña (reducción promedio de 92 kg ha<sup>-1</sup> para los tratamientos con N fertilizante en 1983 vs. 113 kg ha<sup>-1</sup> en 1984).

En el Cuadro 3 se puede observar que esta baja invernal del N móvil fue compensada con creces en primavera. Para que esta compensación haya provenido del  $N_s$ , supuestamente lixiviado en invierno, debió provenir de una profundidad superior a los 140 cm, que fue aquella hasta la cual se midió el  $N_s$  en estos experimentos.

Parece poco probable que tal cantidad de nitrógeno provenga de capas tan profundas, aunque no se puede demostrar lo contrario, especialmente si se considera que las raíces profundas son activas (Letelier y otros, 1993).

En todo caso, si la caída del  $N_m$  en invierno se debe a la lixiviación, en los casos analizados sería un fenómeno reversible y no tan catastrófico como suele suponerse.

Otra explicación posible de la caída del  $N_m$  en invierno sería la inmovilización biológica en forma de biomasa o de masa radical, la cual, como se ha indicado en la Introducción presentaría

condiciones favorables en el ambiente edafoclimático de Hidango. Esta biomasa sería parcial o totalmente mineralizada en primavera y el nitrato producido sería absorbido por el cultivo, con la consiguiente elevación del  $N_m$ .

La denitrificación debe descartarse como causa de la baja de  $N_m$  en invierno, tanto porque las condiciones ambientales no son favorables a dicho proceso, como porque, si ello sucediera, no se explicaría la posterior compensación primaveral, pues si hubiera denitrificación el N habría salido del sistema suelo-cultivo.

En el Cuadro 3 se observa que el  $N_m$  máximo primaveral fue superior al N inicial, lo que significa que parte del N residual de temporadas anteriores que se encontraba en forma orgánica (biomasa) fue nuevamente mineralizado e integrado al  $N_m$ . La cantidad de N re-movilizado fue superior en los tratamientos sin N fertilizante en relación a los con N fertilizante.

**Caída del  $N_m$  desde la primavera hasta la cosecha.** Este fenómeno se presentó en cinco de seis casos, en 1983, y en todos los tratamientos en 1984, lo que señala una pérdida neta de N móvil en este período. Durante este lapso las condiciones ambientales no son favorables para ninguno de los procesos siguientes: denitrificación, inmovilización biológica y lixiviación.

La reducción del  $N_s$  debería ser compensada por un correspondiente aumento del  $N_c$ . Como sucedió lo contrario, puede suponerse que existe un proceso de volatilización foliar de acuerdo a lo indicado en la Introducción. Existe también la posibilidad de que una parte de la citada reducción se deba a pérdida de follaje o desgrane durante el período de maduración del grano. Esto puede haber sucedido en los tratamientos 1 y 2, en 1983 (variedad temprana con siembra temprana), en los cuales la materia seca bajó notoriamente entre la penúltima y la última fecha en que se efectuaron mediciones. En los demás tratamientos es poco probable que este factor haya tenido importancia, pues, en casi todos ellos, se aprecia entre dichas fechas un aumento de la materia seca y una disminución correspondiente del nivel de nitrógeno en el cultivo.

#### **Eficiencia biológica del N inicial y eficiencia del N fertilizante**

Se define como eficiencia biológica ( $E_b$ ) a la fracción del N inicial que es recuperada en el cultivo y eficiencia del N fertilizante ( $E_f$ ) a la fracción del N fertilizante que es recuperada en



la diferencia entre el  $N_c$  final del cultivo fertilizado y el  $N_c$  final del cultivo sin fertilizar (Cuadro 4).

**CUADRO 4. Eficiencia biológica de recuperación del N inicial y eficiencia del N fertilizante**

**TABLE 4. Biological recovering efficiencies of initial N and efficiency of fertilizer N**

Nº	Variedad	Fecha siembra	Fertilización N, kg ha <sup>-1</sup>	Eficiencia biológica <sup>1</sup>	Eficiencia del fertilizante <sup>1</sup>
<b>1983</b>					
1	Aurifén	14.04	0	-	-
2	Aurifén	14.05	150	-	-
3	Aurifén	25.05	0	1,20	-
4	Aurifén	25.05	150	0,82	0,58
5	Andifén	14.04	0	0,85	-
6	Andifén	14.04	150	0,68	0,57
7	Andifén	25.05	0	1,18	-
8	Andifén	25.05	150	0,50	0,08
<b>1984</b>					
1	Aurifén	17.04	0	0,54	-
2	Aurifén	17.04	150	0,36	0,17
3	Aurifén	08.06	0	0,55	-
4	Aurifén	08.06	150	0,50	0,45
5	Andifén	17.04	0	0,89	-
6	Andifén	17.04	150	0,58	0,26
7	Andifén	08.06	0	0,74	-
8	Andifén	08.06	150	0,63	0,52

<sup>1</sup>Eficiencia biológica =  $N_c$  final/N inicial.

<sup>2</sup>Eficiencia del fertilizante =  $(N_c$  final en cultivo fertilizado -  $N_c$  final en cultivo sin fertilizar)/ $N_f$ .

Las  $E_b$  de los tratamientos sin N fertilizante fue superior a los correspondientes valores con N fertilizante, y, en dos casos, sobre la unidad.

Como se ha descrito anteriormente, los tratamientos sin N fertilizante fueron capaces de movilizar mayor cantidad de N residual que los fertilizados con N, lo que puede constituir la principal razón de esta diferencia en eficiencia biológica.

La  $E_f$  del tratamiento 8 fue muy baja en 1983, hecho atribuido a que este tratamiento fue más afectado que los otros por la sequía primaveral (variedad semi-precoz con siembra en fecha normal). En 1984, el tratamiento 2 presentó la  $E_f$  más baja, debido a que fue el más afectado por el exceso de lluvias en invierno (variedad precoz con siembra temprana). Al igual que el tratamiento anterior el tratamiento 6 también presentó valores bajos de  $E_f$ , pero ello no se debió a un mal rendi-

miento, sino a que su homólogo sin fertilizante (tratamiento 5) tuvo un rendimiento relativamente muy alto, por lo tanto su  $E_b$  también fue muy alta.

Es factible aceptar que en el tratamiento sin N fertilizante existe una mayor capacidad de mineralización, ya que, en estas circunstancias, el proceso de nitrificación no está inhibido por la gran cantidad de  $NO_3^-$  que existe en el tratamiento con N fertilizante.

En el Cuadro 5 se indican los resultados del análisis de variancia del ensayo de 1984 para fecha temprana y normal, separadamente. Se incluye como factor a la fecha de muestreo, ya que las fluctuaciones del  $N_m$  en diversas fechas, especialmente su caída a principios del invierno y su subida en primavera, son los aspectos más interesantes que presentan los resultados de estos ensayos. Debido a que no hubo coincidencia de fechas entre las muestras de suelo y cultivo con 1983, no se hizo el análisis estadístico para este año.

**CUADRO 5. Análisis de variancia del  $N_m$  (kg ha<sup>-1</sup>) utilizando fechas de muestreo como una de las variables. 1984**

**TABLE 5. Analysis of variance of  $N_m$  (kg ha<sup>-1</sup>) using dates of sampling as one of the variables. 1984.**

Siembra temprana		Siembra normal	
Fecha muestreo	Promedio	Fecha muestreo	Promedio
N inicial	235	N inicial	235
28.06	150 d	30.08	183 d
26.07	209 c	26.09	210 cd
30.08	236 c	25.10	282 a
26.09	276 ab	06.12	247 ba
25.10	307 a	07.01	219 bc
06.12	267 b		
<b>Variedad</b>		<b>Nitrógeno, kg ha<sup>-1</sup></b>	
Andifén	256 a	0	183 b
Aurifén	225 b	150	273 a
<b>Nitrógeno, kg ha<sup>-1</sup></b>			
0	222 b		
150	259 a		

Cifras con diferente letra indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

El N promedio al inicio del ensayo (N inicial) no está incluido en el análisis de variancia, pero se indica como referencia. En ambas fechas se aprecia una notable disminución del  $N_m$  promedio

en junio para la siembra temprana y en agosto para la siembra normal. Posteriormente, se aprecia una recuperación del  $N_m$  que alcanza su máximo a fines de octubre en ambas fechas de siembra; este máximo es significativamente superior al  $N_m$  final en ambas fechas de siembra. La varie-

dad semi-precoz es significativamente mejor a la precoz en siembra temprana, lo que se debe al efecto depresivo del exceso de humedad y al ataque de *Septoria* en la variedad precoz. El fertilizante nitrogenado tuvo un efecto significativo en ambas fechas de siembra.

## RESUMEN

Durante 1983 y 1984 se verificaron sendos ensayos factoriales en trigo en la Sub-Estación Experimental Hidango, VI Región de Chile, clima mediterráneo marino y lluvia promedio durante el período de cultivo de 950 y 1.500 mm, respectivamente. Los factores fueron: variedad precoz vs. semi-precoz, siembra temprana vs. normal, y fertilización nula vs. 150 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Se midió periódicamente el N asimilable ( $N_s$ ) en el suelo hasta la profundidad de 140 cm y el N total contenido en el cultivo ( $N_c$ ); la suma de ambos se denominó N móvil ( $N_m$ ). Se observó una reducción notable del  $N_m$  durante el invierno. Esta reducción es parcialmente atribuible al método de muestreo, pero una parte de ella puede haber sido probablemente ocasionada por inmovilización biológica. Durante la primavera el  $N_m$  se recuperó hasta alcanzar niveles levemente superiores al N inicial ( $N_s$  inicial + N fertilizante), en los trata-

mientos con N fertilizante, y muy superiores al N inicial en los tratamientos sin N fertilizante. Se atribuyó este superávit a extracción de N de la biomasa residual. Desde fines de primavera hasta la cosecha el  $N_m$  volvió a bajar. A la cosecha el  $N_m$  final fue superior al N inicial en los tratamientos sin N fertilizante, e igual o inferior al N inicial en los tratamientos con N fertilizante. La caída del  $N_m$  desde la primavera hasta la cosecha se atribuyó a pérdidas por volatilización desde el cultivo.

La eficiencia biológica ( $N_c$  final/N inicial) fue siempre superior en los tratamientos sin N fertilizante, con respecto a sus homólogos fertilizados con N (promedio 0,85 vs. 0,58). La eficiencia media del N fertilizante fue de 0,38.

**Palabras claves:** trigo, nitrógeno móvil, eficiencia biológica, eficiencia del fertilizante.

## LITERATURA CITADA

- AZAM, F., MALIK, K.A. and HSSAIN, F. 1986. Microbial biomass and mineralization of Nitrogen in some agricultural soils. *Biol. Fertil. Soils* 2: 157-163.
- BLACK, C.A. 1968. Soil plant relationships. John Wiley and Sons (ed.). p.: 419-452.
- CAMERON, K.C. and HAYNES, R.J. 1986. Retention and movement of nitrogen in soils. In: Haynes, R.J. (ed.). *Mineral N in the plant-soil system*. p.: 166-221.
- CARTER, M.R. and RENNIE, D.A. 1984. Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage for spring wheat, using 15 N urea. *Plant and Soil* 76:157-164.
- DEMOLON, A. 1952. *Dynamique du sol*. Dumond (ed.). Paris. p.: 459-471.
- DENNIS, F. 1993. Nitrogen loss from corn plants during grain fill. *Better Crops with Plant Food*, Spring. p.: 16-19.
- GOH, K.M. 1982. Losses of nitrogen from arable systems. In: DSIR (ed.). *Nitrogen balances in New Zealand ecosystems*. New Zealand. p.: 163-167.
- HAMBLIN, A., TEUNANT, D. and PERRY, M.W. 1990. The cost of stress: Dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dryland wheat. *Plant and Soil* 122: 47-58.
- HAYNES, R.J. 1986. The decomposition process: mineralization, immobilization, humus formation, and degradation. In: Kozlowski, T.T. (ed.). *Mineral N in the plant soil system*. p.: 52-109.
- HIDEAKI, K., ZIAUDDIN, A. and TOGORO, H. 1969. Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized. *Soil Science and Plant Nutrition* 15: 207-213.
- IQBAL, M. and MAC GREGOR, A.N. 1982. Studies on the fate of 15 N -enriched urea fertilizer using microplots. In: DSIR (ed.). *Nitrogen balances in New Zealand ecosystems*. New Zealand. p.: 185- 189.
- FILLERY, I.R. and MC INNES, K.J. 1992. Components of the fertilizer nitrogen balance for wheat production on duplex soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 887-899.

- LEDGARD, S.F., BRIER, G.J. and SARATHANDRA, S.U. 1989. Plant uptake and microbial immobilization of  $^{15}\text{N}$ -labelled Ammonium applied to grass-clover pasture. Influence of simulated winter-temperature and time of application. *Soil Biol. Biochem.* 21:667-670.
- LETELIER A., E., NOVOA S.-A., R. y TORTOLLO M., L. 1986. Comparación de tres sistemas de labranza para el trigo en el secano litoral de la V y VI Región de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 46(1): 27-32.
- LETELIER A., E., TORTELLO M., L. y UBILLA R., C. 1993. Economía del agua del cultivo del trigo en el secano costero de VI Región de Chile. I. Balance hídrico. *Agricultura Técnica (Chile)* 53: 160-178.
- NOVOA S.-A., R., VILLASECA C., S., DEL CANTO S., P., ROUANET M., J., SIERRA B., C. y DEL POZO L., A. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Novoa S.-A., R. y Villaseca C., S. (ed.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile, p.: 86-87.
- PAPADAKIS, J. 1975. *Climates of the world and their potentialities*. Edited by the author. Buenos Aires, Argentina. p.: 17-18.
- PHILLIPS, S.H. 1984. Introducción, No-tillage. In: Ronald E. Phillips and Shirley H. Phillips (ed.) *Agriculture, principles and practices*. New York. p.: 2-9.
- QUIN, B.F. 1982. Indirect evidence for large-scale nitrogen losses from wheat foliage to the atmosphere. In: DSIR (ed.). *Nitrogen balances in New-Zealand ecosystems*. New Zealand. p.: 169-175.
- RODRÍGUEZ S., J. 1990. La fertilización de los cultivos, un método racional. Departamento Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. p.: 53-101.
- RUSSELL, S.E.J. 1950. *Soil conditions and plant growth*. Longmans, Green and Co. edit. p.: 286-301.
- RUIZ S., R. y ARAOS F., F. 1983. Aplicación de fertilizante nitrogenado ¿al surco o al camellón? *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina* 15:28-29.
- SADZAWKA R., A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Estación Experimental La Platina (Santiago). Serie La Platina Nº 16. p.: 23-27.
- SCOTTER, D.R. and KAUCHAMASUT, P. 1982. Movement of soil water and nitrogen. In: DSIR (ed.). *Nitrogen balances in New-Zealand ecosystems*. New Zealand. p.: 221-225.
- SILVA, B., MAC DONALD, R. y NISSEN, J. 1987. Lixiviación del nitrógeno proveniente de fertilizantes. *Soc. Química y Minera de Chile, Boletín Técnico Nº 1*. p.: 1-16.
- VLECK, P.L.G., FILLERY, I.R.R. and BURFORD, J.R. 1981. Accession, transformation and loss of nitrogen in soils of the arid region. *Plant and Soil* 58: 133-175.
- WETSELAAR, R. and FARGUHAR, G.D. 1980. Nitrogen losses from tops of plants. *Advances in Agronomy* 33: 263-302.