

EVALUACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS (¹⁵N) EN TRES VARIEDADES DE TRIGO, EN UN ANDISOL Y UN ULTISOL DE LA IX REGIÓN. I. EFECTO EN EL RENDIMIENTO, ABSORCIÓN Y EFICIENCIA DE USO DE N ESTIMADA POR MÉTODO CONVENCIONAL¹

Evaluation of nitrogen sources (¹⁵N) in three wheat varieties in an andisol and an ultisol in the IX Region. I. Effect on yield, N absorption and N efficiency

Amelia Peyrelongue C.², Inés Pino N.³ y Mirta Buneder B.³

S U M M A R Y

During 1988/1989 the effect of nitrate and ammoniacal fertilization was studied on yield, yield components, absorption and efficiency of N according to the conventional methods in two wheat varieties in an Ultisol and one variety in an Andisol of the IX Region of Chile.

In the three trials the statistical design used was completely randomized blocks where the sources of N were the treatments: sodium nitrate, urea and ammonium nitrate. In the Andisol the wheat variety used was Laurel and in the Ultisol Dalcahue and Perquenco varieties were used. The rate of N was 160 kg N ha⁻¹.

The application of N had a significant effect on yield in the three environments. For Dalcahue this effect was obtained with sodium nitrate and for Perquenco and Laurel there were not significant differences between nitrogen sources.

The results in the Ultisol show different behavior between varieties, with a better response of Perquenco according to N application but a lower yield in relation to Dalcahue. The higher yield was obtained with Laurel in the Andisol, and also the higher total N absorption, AE and AFE, in accordance with the yield obtained.

Key words: agronomic efficiency (AE), fisiological efficiency (EF), apparent fertilizer efficiency (AFE), wheat, N-fertilizers, harvest index (IC).

INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevas variedades de trigo, de alto potencial de rendimiento en grano, ha provocado un cambio sustancial en las prácticas de manejo del cultivo. Entre éstas el uso creciente de los fertilizantes nitrogenados ha sido evidente a nivel mundial, ya que desde la temporada agrícola 83/84 a la 94/95 éste se incrementó en más de 6 millones de toneladas métricas (FAO, 1995). El N es el nutriente de mayor incidencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas y, como tal, resulta fundamental en la nutrición del cultivo. Por tanto, un alto rendimiento en grano requiere de un elevado abastecimiento de nitrógeno.

Aun cuando en el país la superficie de siembra de trigo ha disminuido en los últimos dos años, la producción nacional se ha mantenido en alrededor de 13 millones de qqm. En la IX Región, la superficie de siembra en la temporada agrícola 1993/94 alcanzó a 108.590 ha, lo que representa un 30% de la superficie nacional con un rendimiento promedio regional que ha aumentado de 23,0 a 35,2 qqm ha⁻¹ en los últimos diez años (INE, 1994). Incremento que es muy bajo si se considera la potencialidad de las variedades y el costo de producción del cultivo. La fertilización NPK representa un 46,3% de los costos directos de producción, tanto para siembras de invierno como de primavera (Agroanálisis, 1993); y de éste aproximadamente el 50% corresponde al costo del nitrógeno.

Como consecuencia de lo anterior, en la última década se ha incrementado fuertemente el uso de la urea, por ser la fuente de nitrógeno más económica, a pesar de la escasa información que existe sobre la

¹Recepción de originales: 2 de noviembre de 1995.

Trabajo realizado con la cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica. Proyecto CHI/5/014. Técnicas Nucleares en Agricultura.

²Centro Regional de Investigación Carillanca (INIA). Casilla 58-D, Temuco, Chile.

³Comisión Chilena de Energía Nuclear. Casilla 188-D, Santiago, Chile.

eficiencia de los fertilizantes nitrogenados que aportan $N-NO_3^-$ y $N-NH_4^+$ en los suelos del país. Por tanto, el objetivo de este estudio fue medir el efecto de la fertilización nitrogenada nítrica y amoniacal en el rendimiento, algunos componentes de rendimiento y absorción de N en diferentes estados fenológicos de tres variedades de trigo sembradas en invierno, además de su eficiencia, medida por métodos convencionales, en un suelo Ultisol y en un suelo Andisol de la IX Región, ubicados en la provincia de Malleco y Cautín, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres ensayos de campo, dos de ellos en la localidad de Collipulli, macroárea I (Rouanet, 1983), en un suelo rojo arcilloso (Ultisol) clasificado como un Fine, mesic, Xeric Paleohumult (Soil Survey Staff, 1992), serie Collipulli, ubicados en sitios contiguos del mismo potrero. El tercero se realizó en la localidad de Huichahue, macroárea V (Rouanet, 1984), en un suelo trumao (Andisol) clasificado como un Ashy, Mesic, Hídric Dystrandeps (Soil Survey Staff, 1992), serie Pemehue.

En el Ultisol se usó la variedad Dalcahue en el primer experimento y Perquenco en el segundo experimento. En el Andisol se utilizó la variedad Laurel. Estas se seleccionaron según sus características y hábito de crecimiento, de modo de poder realizar siembras invernales tanto en Malleco como en Cautín (INIA, 1991). La dosis de semilla fue de 160 kg ha^{-1} . Los fertilizantes estudiados fueron salitre sódico (SS), urea (U) y nitrato de amonio (NA). En cada experimento se consideró un tratamiento testigo sin fertilización nitrogenada.

Los tres experimentos se sembraron el 24 de mayo de 1988 y la cosecha se realizó el 12 de enero de 1989 en el Ultisol, y el 5 de febrero en el Andisol. Previo a la siembra se tomaron muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, por bloque, a objeto de realizar la caracterización de los sitios experimentales. Las fuentes de nitrógeno se aplicaron al voleo, en dosis de 160 kg ha^{-1} de N, parcializadas en 1/3 a la siembra y los 2/3 restantes en plena macolla, E2(23-24) de la escala de Zadoks *et al.* (1974). Los experimentos recibieron una fertilización base de fósforo (P) como superfosfato triple, en dosis de 87 kg ha^{-1} en el Andisol y de 70 kg ha^{-1} en el Ultisol, además de 52 kg ha^{-1} de potasio (K) como muriato de potasio, en ambos suelos, localizado al surco de siembra.

El tamaño de la parcela fue de 10 m^2 para las técnicas convencionales, cosechándose 8 m^2 . Dentro de ésta se estableció una microparcela de 1 m^2 con

el fin de utilizar el método de dilución isotópica (Bowen y Zapata, 1991), la cual se cosechó en su totalidad, por separado, para realizar las mediciones correspondientes.

Para estudiar la marcha de absorción de nitrógeno se tomaron muestras de plantas, por tratamiento, en tres estados fenológicos (Zadoks *et al.*, 1974): inicio de encañado, E3 (31-32), espigadura, E4(43-47), y madurez fisiológica, E(90). En este último estado se separó tallos + hojas, de capotillo y grano; el material proveniente de la microparcela se cosechó por separado para realizar las mediciones isotópicas. El N total se determinó por el método de Kjeldahl. Como parámetros agronómicos se consideró rendimiento de grano a 14% de humedad, peso del hectolitro, peso de grano, índice de cosecha (IC) y número de granos por espiga.

El cálculo de eficiencia de uso de nitrógeno se realizó según el método descrito por Craswell y Godwin (1984). Se consideró eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF) y eficiencia aparente del uso del fertilizante (EAF) en base a las siguientes relaciones:

$$EA \text{ (kg/kg)} = \frac{\text{kg grano tratamiento} - \text{kg grano testigo}}{\text{Dosis N}}$$

$$EF \text{ (kg/kg)} = \frac{\text{kg grano tratamiento} - \text{kg grano testigo}}{\text{kg de N absorbido tratamiento} - \text{kg de N absorbido tratamiento testigo}}$$

$$EAF \text{ (\%)} = \frac{\text{kg N absorbido por planta tratamiento} - \text{kg de N absorbido planta testigo}}{\text{Dosis N}}$$

El diseño estadístico fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, donde los tratamientos fueron fuentes de nitrógeno. Se realizaron análisis de variancia y comparación de medias, para los parámetros medidos, mediante la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Ultisol, en ambos experimentos, la disponibilidad de N y K es muy baja y los valores para N de incubación y N inicial son muy similares, lo que concuerda con el bajo contenido de materia orgánica (MO), y el contenido de P es bajo a medio; situación esperable por tratarse de sitios contiguos. Por el contrario, en el Andisol el N de incubación es notablemente superior al N inicial, lo que se explica por

el alto contenido de MO (12%), la disponibilidad de P es muy baja y la de potasio corresponde a un nivel medio (Cuadro 1). En el Ultisol los contenidos de Ca y Mg son adecuados, y el Al intercambiable es muy bajo, lo que se refleja en la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE) y porcentaje de saturación de Al. El Andisol presenta valores bajos de Ca y adecuados de Mg, el contenido de Al intercambiable es mayor que en el Ultisol y la saturación de Al es de 3,6%; valor que no es limitante para el cultivo de trigo (Cuadro 2).

Rendimiento y Componentes de Rendimiento

En el Ultisol, en el experimento realizado con la variedad Dalcahue se determinó un efecto significativo de las fuentes de nitrógeno en rendimiento, peso de grano, número de granos por espiga e IC, y no hubo efecto significativo para peso del hectolitro. La aplicación de N determinó, en promedio, un aumento de rendimiento de 9,7 qqm ha⁻¹. Cuando no se aplicó N se obtuvo el rendimiento más bajo que fue de 33,9 qqm ha⁻¹. Con la aplicación de SS se obtuvo el valor más alto de rendimiento (48 qqm ha⁻¹). Rendimientos más bajos y muy similares se obtuvieron con NA y U; las diferencias entre fuentes-N estarían determinadas fundamentalmente por el número de granos por espiga y peso de grano, lo que se refleja en el IC. Ambos parámetros variaron con las fuentes de N, habiéndose obtenidos los valores más altos también con SS (Cuadro 3).

Para la variedad Perquenco se obtuvo un efecto significativo de los tratamientos para rendimiento, IC y el resto de los componentes de rendimiento. Sin embargo, con excepción de número de granos/espiga, las diferencias se obtuvieron sólo entre el tratamiento testigo y la aplicación de N. Todas las fuentes nitrogenadas determinaron un comportamiento similar por parte de la planta, con rendimientos estadísticamente iguales e inferiores a los obtenidos en el experimento realizado con Dalcahue. A pesar de esto, la aplicación de N determinó un incremento promedio de 14 qqm ha⁻¹ (Cuadro 3).

Entre los componentes de rendimiento medidos, la mayor diferencia entre las variedades Dalcahue y Perquenco está dada por el número de granos por espiga, parámetro que posiblemente fue determinante en la diferencia de rendimiento obtenida entre variedades.

Al igual que Perquenco, la variedad Laurel, en el Andisol, tuvo un comportamiento similar frente a las fuentes de N estudiadas (Cuadro 3), y la principal diferencia con las variedades usadas en el Ultisol fue el alto rendimiento alcanzado, incluso en el tratamiento testigo. El mayor rendimiento de Laurel podría explicarse fundamentalmente por las características del ambiente, en especial menor déficit hídrico (Rouanet, 1984) y el mayor aporte de N del suelo por mineralización, dado el alto contenido de MO de éste (Cuadro 1). La aplicación de N determinó

CUADRO 1. Caracterización química de los sitios experimentales

TABLE 1. Chemical characteristics of experimental sites

Suelo	Variedad	N	N	P	K	pH	MO
		Inicial	Incub.				
		-----mg kg ⁻¹ ----->					
Ultisol	Dalcahue	19,1	20,1	10,1	55,7	5,1	4,1
Ultisol	Perquenco	18,4	21,8	9,2	41,1	5,2	3,9
Andisol	Laurel	18,7	74,0	6,5	158,4	5,4	11,9

CUADRO 2. Bases de cambio, capacidad de intercambio efectiva (CICE), aluminio de intercambio y saturación de aluminio

TABLE 2. Exchangeable cations, effective exchangeable capacity, exchangeable aluminium and Al saturation

Suelo	Variedad	Ca	Mg	Na	K	Al	CICE	Saturación de aluminio %
		-----cmol+/kg ----->						
Ultisol	Dalcahue	6,42	2,32	0,31	0,17	0,07	9,57	0,7
Ultisol	Perquenco	7,07	2,51	0,31	0,13	0,05	10,25	0,5
Andisol	Laurel	3,36	0,73	0,28	0,49	0,18	5,04	3,6

CUADRO 3. Rendimiento y componentes de rendimiento e IC de tres variedades de trigo en suelos de la IX Región. 1988-1989

TABLE 3. Yield, yield components and harvest index of three wheat varieties in soils of IX Region (Chile). 1988-1989

Suelo	Variedad	Fuentes N	Rendimiento, qqm ha ⁻¹	Peso grano, mg	Granos/espiga, N°	Peso hectolitro, kg hl ⁻¹	IC
Ultisol	Dalcahue	Testigo (No)	33,9 c	35,6 ab	36 b	82,1	0,40 b
		Urea	39,4 b	34,6 b	39 b	82,5	0,42 ab
		Salitre sódico	48,0 a	36,5 a	44 a	82,5	0,45 a
		Nitrato amonio	43,4 ab	36,0 a	37 b	82,6	0,41 b
		C.V.	8,16	1,91	2,07	0,58	4,66
		F	12,59*	5,42*	6,31*	N.S.	5,19*
		Ultisol	Perquenco	Testigo (No)	24,1 b	36,6 ab	29 b
Urea	38,4 a			36,3 ab	26 c	81,4 ab	0,41 ab
Salitre sódico	40,2			37,4 a	33 a	81,9 a	0,42 a
Nitrato amonio	37,8 a			35,1 b	28 bc	81,2 ab	0,39 ab
C.V.	8,3			3,04	1,81	0,83	4,89
F	19,17*			2,99*	7,81*	6,17*	2,63*
Andisol	Laurel			Testigo (No)	45,0 b	44,3 a	29 bc
		Urea	62,4 a	40,8 b	33 b	79,8	0,40
		Salitre sódico	63,9 a	40,3 b	41 a	79,6	0,43
		Nitrato amonio	62,6 a	41,3 b	40 ab	79,9	0,41
		C.V.	6,75	2,45	1,82	0,44	5,53
		F	20,90*	12,40*	12,40*	N.S.	N.S.

Dentro de una misma columna y suelo, cifras con letra común no difieren estadísticamente (Duncan $P \geq 0,5$).

un incremento promedio de rendimiento de 17,9 qqm ha⁻¹. Además, es la única variedad que no mostró diferencia estadísticamente significativa en el IC, por efecto de los tratamientos. Con las tres fuentes de N el rendimiento fue muy similar, superando los 60 qqm ha⁻¹, resultados que concuerdan con los obtenidos por Peyrelongue (1986) en Andisoles. Con excepción del número de granos/espiga obtenido con SS, los componentes de rendimiento muestran la misma tendencia que el rendimiento en grano (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos en el Ultisol señalan un comportamiento diferente de la variedad Perquenco con respecto a Dalcahue, ya que en la misma condición de suelo y clima, en el tratamiento sin N Perquenco alcanzó un rendimiento de 24 qqm ha⁻¹ mientras que Dalcahue produjo 33,9 qqm ha⁻¹. Por otra parte, con la aplicación de N Dalcahue produjo, en promedio, 9,7 qqm ha⁻¹ más que Perquenco y el rendimiento máximo fue de 48 qqm ha⁻¹. Aun cuando Perquenco aumentó su rendimiento con la aplicación de N, en un promedio de 14,7 qqm ha⁻¹, su rendimiento máximo fue sólo de 40 qqm ha⁻¹. Esto indicaría una mayor respuesta de Perquenco a la aplicación de N, pero, un menor potencial de rendimiento con respecto a Dalcahue, en especial en ausencia de

nitrógeno. Resultados que concuerdan con los obtenidos por Anderson *et al.* (1991) e Isfan (1990, 1993), quienes determinaron diferencias genotípicas en cereales cultivados en el mismo ambiente, con relación a respuesta a este nutriente.

El hecho de que el IC sea muy similar en las variedades estudiadas, y sólo haya variado ligeramente con la fuente de N, en especial en las variedades Dalcahue y Perquenco, concuerda con lo señalado por Austin *et al.* (1980), en el sentido de que los valores de IC de las variedades mejoradas son consecuencia de un aumento de la producción en grano y no de la producción de biomasa; lo que ha sido de-mostrado en Andisoles de la IX Región por Rouanet (1994).

No obstante las diferencias varietales, en el Ultisol los rendimientos más altos, mayor número de granos/espiga y los valores más altos de IC se alcanzaron, en ambas variedades, con SS (Cuadro 3). Esto indicaría una mayor absorción de N-NO₃ de rápida entrega, lo que sería consecuencia del régimen hídrico de la Macroárea I (Rouanet, 1983). Por el contrario, la variedad Laurel, no mostró diferencias estadísticas entre fuentes-N para rendimiento y componentes de rendimiento, con excepción del peso de grano; lo

que podría explicarse por las condiciones de clima (Rouanet, 1984) y características del suelo (Cuadro 1). Sin embargo, los resultados obtenidos entre localidades no son comparables puesto que no se utilizó esta variedad en el Ultisol.

Absorción de nitrógeno

En términos generales, tanto en el Ultisol como en el Andisol, las variedades muestran un incremento considerable en la absorción total de N cuando se aplicó este nutriente como fertilizante comercial (Cuadro 4).

Sin embargo, en el Ultisol la absorción total de N no siempre guarda relación con los rendimientos obtenidos por variedad. Así, la variedad Perquenco con la aplicación de SS absorbió un total de 116 kg ha⁻¹ de N para un rendimiento de 40 qqm ha⁻¹, y con la misma fuente nitrogenada Dalcahue absorbió una cantidad similar de N (120 kg ha⁻¹) para producir 48 qqm ha⁻¹ (Cuadros 3 y 4). Pero, si se compara absorción total de N por variedad con el rendimiento obtenido con la fuente de N respectiva, se aprecia una estrecha relación entre absorción total de este nutriente y producción en grano. En el Andisol, la variedad Laurel absorbió alrededor de 150 kg ha⁻¹ de N total con las tres fuentes nitrogenadas, habiéndose obtenido también con estos tratamientos rendimientos muy similares y superiores a los 62 qqm ha⁻¹.

Darwinkel (1983) y Spiertz y Ellen (1978) señalan que un cultivo de trigo debiera absorber entre 250 y 260 kg ha⁻¹ de N para obtener su máximo potencial

productivo. En Andisoles de la IX Región, con el uso de variedades mejoradas de trigo, se ha llegado a absorciones de 183,8 kg ha⁻¹ de N con aplicaciones de 640 kg ha⁻¹ de N como salitre sódico, pero las mayores producciones (sobre 75 qqm ha⁻¹) se alcanzaron con 160 kg ha⁻¹ de N con una absorción de este nutriente de 141,8 kg ha⁻¹ (Rouanet, 1994); resultados similares obtuvo Peyrelongue (1986) para una producción que superó los 100 qqm ha⁻¹, valores que son coincidentes con los obtenidos en este estudio.

Al analizar la absorción de N en los estados fenológicos previos a la cosecha, se visualizan mayores diferencias. Independientemente de la fuente de N, a inicio de encañado, en el Ultisol ambas variedades habían absorbido menos del 30% del N total (entre 23 y 29 kg ha⁻¹). En el Andisol se habían absorbido más de 70 kg ha⁻¹ de N (sobre el 50% del N total); lo que refleja la diferencia en la dinámica de absorción de N por efecto de las condiciones de clima, suelo y diferencias de hábito de desarrollo de las variedades.

Al estado de espigadura, en el Ultisol se determinaron diferencias en la absorción de nitrógeno entre variedades y fuentes de N, siendo más marcadas las primeras, ya que Perquenco había absorbido, en promedio, el 91% del N total y Dalcahue sólo un 83,2%. En el Andisol, la variedad Laurel mostró una marcada variación dependiendo de la fuente de N (61,4; 85,2 y 70,5% con U, SS y NA, respectivamente), lo que podría reflejar la reacción en el suelo de los diferentes fertilizantes y, por tanto, la tasa de entrega de N. Estas diferencias no se reflejaron ni

CUADRO 4. Absorción de nitrógeno de diferentes variedades de trigo, en tres estados fenológicos. 1988-1989

TABLE 4. N Absorption by different wheat varieties in three growing stages. 1988-1989

Suelo	Variedad	Fuente N	Encañado		Espigadura		Cosecha
			kg/ha N absorbido	% del total	kg/ha N absorbido	% del total	Total N absorbido
Ultisol	Dalcahue	Testigo No	13,5	17,6	45,9	59,8	76,7
		Urea	29,1	29,0	89,1	88,8	100,3
		Salitre sódico	26,2	21,8	96,7	80,6	120,0
		Nitrato amonio	29,0	26,6	87,6	80,2	109,2
Ultisol	Perquenco	Testigo No	11,8	21,1	35,7	63,8	55,9
		Urea	24,0	25,5	82,5	87,8	94,0
		Salitre sódico	22,8	19,7	108,6	93,6	116,0
		Nitrato amonio	24,3	23,9	92,9	91,3	101,8
Andisol	Laurel	Testigo No	33,6	46,2	54,2	74,6	72,7
		Urea	71,1	47,5	91,7	61,4	149,4
		Salitre sódico	78,7	50,2	133,5	85,2	156,7
		Nitrato amonio	73,0	50,6	101,7	70,5	144,3

en la absorción total de N, ni en el rendimiento obtenido (Cuadros 3 y 4), posiblemente por el hecho de que las variedades no alcanzaron mayores rendimientos como consecuencia de menores precipitaciones que las normales durante la temporada de primavera.

El comportamiento de las diferentes variedades también podría atribuirse a las características de éstas. Rao y Rains (1976), señalan que existen diferencias genotípicas en acumulación, traslocación y distribución de N durante el crecimiento vegetativo y reproductivo, además de una redistribución interna de N desde las partes vegetativas hacia el grano. Una ventaja de la redistribución interna de N es que, probablemente, se requiere de menos agua para entregar una cierta cantidad de N al grano que la que se necesita para entregar un N recientemente reducido, derivado de la absorción de NO_3 desde el suelo (Hocking, 1984).

Las diferencias en la tasa de absorción a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo, determinadas en Ultisoles y Andisoles, señalan la importancia de las condiciones climáticas y de las características del suelo en la nutrición nitrogenada del cultivo y, por consiguiente, cobra especial relevancia el manejo de los fertilizantes nitrogenados según sea su composición, reacción en el suelo, tasa de entrega de nitrógeno y variedades de trigo.

A pesar de las diferencias de absorción total de N analizadas, cuando se observa la distribución del nitrógeno en la fitomasa y en el grano en términos porcentuales, no existen grandes diferencias entre

variedades y localidades; en especial en el porcentaje de N que quedó en el grano, el que incluso superó al 70% sin aplicación de N (Cuadro 5).

Eficiencia agronómica, fisiológica y Eficiencia aparente del fertilizante

Se observa una relación razonable entre la eficiencia medida por los métodos convencionales y el rendimiento obtenido (Cuadro 6), con excepción de la variedad Perquenco posiblemente dado a que ésta presentó el rendimiento más bajo y la menor absorción total de N en el tratamiento testigo (Cuadros 3 y 4). La EF superó a la EA mostrando menor variación entre variedades y fuentes-N; siendo la EAF la más variable. Los valores obtenidos por los tres métodos, aun cuando concuerdan con los informados por otros autores, son muy bajos. Esto indica la necesidad de orientar futuras investigaciones en la eficiencia del N aplicado como fertilizante, considerando los aspectos genotípicos de las variedades de trigo, ambiente y manejo del nitrógeno.

Para EA se determinó una gran variación entre variedades y tipo de suelo, siendo también los valores más bajos entre las eficiencias calculadas. Tanto en Dalcahue como en Perquenco la mayor EA se obtuvo con SS, en tanto que la variedad Laurel mostró valores de EA muy similares con las tres fuentes de N estudiadas (Cuadro 6). Variaciones similares han señalado Craswell y Godwin (1984), cuando se compara resultados obtenidos con diferentes variedades, fuente y dosis de aplicación de N, tipo de suelo y ambiente.

CUADRO 5. Distribución del nitrógeno total absorbido a la cosecha. 1988-1989

TABLE 5. Total nitrogen distribution at harvest. 1988-1989

Suelo	Variedad	Fuente N	Tallo + Hoja		Capotillo		Grano		Total N absorbido kg/ha
			kg/ha N absorbido	% del total	kg/ha N absorbido	% del total	kg/ha N absorbido	% del total	
Ultisol	Dalcahue	Testigo No	11,4	14,9	5,9	7,7	59,4	77,0	76,7
		Urea	16,4	16,3	7,7	7,7	76,2	76,0	100,3
		Salitre sódico	17,8	14,8	8,4	7,0	93,8	78,2	120,0
		Nitrato amonio	18,6	17,0	8,7	8,0	82,4	75,0	109,2
Ultisol	Perquenco	Testigo No	11,1	19,8	4,0	7,2	40,8	73,0	55,9
		Urea	17,3	18,4	6,2	6,6	70,5	75,0	94,0
		Salitre sódico	22,6	19,5	7,4	6,4	86,0	74,1	116,0
		Nitrato amonio	21,3	20,9	6,8	6,7	71,9	70,6	101,8
Andisol	Laurel	Testigo No	14,6	20,1	6,7	9,2	51,4	70,7	72,7
		Urea	33,6	22,5	7,5	5,0	108,3	72,5	149,4
		Salitre sódico	34,4	22,0	8,2	5,2	114,1	72,8	156,7
		Nitrato amonio	30,4	21,1	6,9	4,8	107,0	74,2	144,3

CUADRO 6. Eficiencia agronómica (EA), fisiológica (EF), y de aparente uso del fertilizante (EAF) de N en tres variedades de trigo. 1988-1989

TABLE 6. Agronomic efficiency (EA), physiological efficiency (EF) and aparent fertilizer efficiency (AFE) of N on three wheat varieties. 1988-1989

Variedad	Fuente N	EA ←---kg kg ⁻¹ ---	EF	EAF %
Dalcahue	Urea	3,4	23,4	14,8
	Salitre sódico	8,8	32,5	27,1
	Nitrato amonio	5,9	29,1	20,3
Perquenco	Urea	8,9	37,5	23,8
	Salitre sódico	10,0	26,7	37,6
	Nitrato amonio	8,6	30,3	28,7
Laurel	Urea	10,9	22,7	47,9
	Salitre sódico	11,8	22,5	52,5
	Nitrato amonio	11,0	24,4	44,8

La EF superó a la EA, mostrando menor variación que ésta entre fuentes de N y variedades, resultados que normalmente se dan, dado los factores que inciden en el cálculo de estos parámetros. La EAF fue la más variable, fluctuando entre un 14,7 y un 56,0% con la aplicación de U en la variedad Dalcahue y la aplicación de SS en la variedad Laurel, respectivamente. Este último valor concuerda con el obtenido para variedades mejoradas que recibieron 160 kg ha⁻¹ de N, como SS, en un Andisol de la IX Región por Rouanet (1994). Valores más bajos (30-38%) y variables según la fuente y dosis de N usada, han sido informados por Peyrelongue (1986) para trigo Perquenco en Ultisol y para cebada (Peyrelongue 1989, 1990) en Andisoles.

La baja eficiencia de uso de nitrógeno ha sido enfatizada por Allison (1955), quien sugiere que la EAF alcanza valores cercanos a un 50%, mientras que para arroz Craswell *et al.* (1981), determinaron valores de 30 a 40%.

Puesto que la tasa de crecimiento del cultivo es muy dependiente de la disponibilidad de nitrógeno, la eficiencia de este nutriente es un componente muy dinámico. La eficiencia del N aplicado estará influida por el clima, tanto por el efecto que éste tiene en las pérdidas de nitrógeno como por su efecto en la tasa de crecimiento del cultivo. La redistribución del N desde las raíces hacia la parte aérea también afectará a este parámetro, puesto que se mide considerando sólo esta última parte del cultivo. Campbell *et al.* (1977), demostraron que más del 10% del N total puede ser retenido en el sistema radical de las plantas de trigo; Remy y Viaux (1982), estimaron que el trigo requería en las raíces, paja y grano de 0,6; 0,6 y 1,8 kg de N/100 kg de grano producido, respectivamente.

En zonas templadas, los factores climáticos de mayor influencia en la eficiencia del uso de nitrógeno son las bajas temperaturas, las que determinan una tasa de mineralización muy baja durante el invierno (Chalk *et al.*, 1975), y la elevada relación entre precipitación y evapotranspiración durante los meses fríos, lo que conduce a una marcada pérdida de N-NO₃ por lixiviación (Wild y Cameron, 1980). Por otra parte, la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados calculada por los métodos convencionales, es muy difícil de comparar entre sitios experimentales y regiones, ya que depende, también, de la dosis de nitrógeno aplicado (Isfan, 1993). Aún a una misma dosis de fertilización, los factores climáticos señalados anteriormente son decisivos en la velocidad de reacción de los fertilizantes nitrogenados, en especial en la hidrólisis de la urea (Simpson y Melsted, 1963).

RESUMEN

Durante la temporada 1988/89 se estudió el efecto de la fertilización nítrica y amoniacal en el rendimiento, componentes de rendimiento, absorción y eficiencia del N, calculada por los métodos convencionales, en dos variedades de trigo en un Ultisol y en una variedad en un Andisol de la IX Región. En los tres experimentos se usó un diseño de bloques completamente al azar, donde las fuentes-N fueron los tratamientos: salitre sódico, urea y nitrato de amonio. En el Andisol la variedad empleada fue Laurel y en el Ultisol se usaron Dalcahue y Perquenco. La dosis de nitrógeno fue de 160 kg ha⁻¹ de N.

La aplicación de N tuvo un efecto significativo en el rendimiento de las tres variedades, a pesar de las diferencias de ambiente, pero para Dalcahue éste

se obtuvo con SS y para Perquenco y Laurel no hubo diferencia significativa entre fertilizantes nitrogenados. Los resultados obtenidos en el Ultisol señalan un comportamiento diferente entre las variedades, observándose una mayor respuesta de Perquenco a la aplicación de N pero un menor potencial de rendimiento que Dalcahue. Los mayores rendimientos se obtuvieron con Laurel en el Andisol, así como la mayor absorción de N total, EA y EAF, lo que concuerda con los rendimientos obtenidos.

Palabras claves: eficiencia agronómica (EA), eficiencia fisiológica (EF), eficiencia aparente del fertilizante (EAF), trigo, fertilizantes nitrogenados, índice de cosecha (IC).

LITERATURA CITADA

- AGROANÁLISIS. 1993. Costos de producción de los principales cultivos tradicionales de la zona sur. Temporada 1993-1994. Año 10.
- ALLISON, F.E. 1955. The enigma of soil nitrogen balance sheets. *Adv. Agron.* 7: 113-250.
- ANDERSON, W.K., SEYMUR, M. and D'ANTUONO M., F. 1991. Evidence for differences between cultivars in responsiveness of wheat to applied nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* 42: 363-377.
- AUSTIN, R.B., BINGHAM, J., BLACKWELL, R.D., EVANS, L.T., FORD, M.A., MORGAN, C.L. and TAYLOR, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1990 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci., Camb.* 94: 675-689.
- BOWEN, G.D. and ZAPATA, F. 1991. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants. *In: Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies.* IAEA, Vienna.
- CAMPBELL, C.A., DAVIDSON, H.R. and WARDER, F.G. 1977. Effects of fertilizers N and soil moisture on yield, yield components, protein content and N accumulation on the above-ground parts of spring wheat. *Can. J. Soil Sci.* 311-327.
- CRASWELL, E.T. and GODWIN, C.D. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *In: Tinker, P.B. and A. Lanchli (ed.). Advances in Plant Nutrition. Volumen 1.* Proeger Scientific, N.Y. p.: 1-55.
- CRASWELL, E.T., DE DATTA D.K., HARTANTYO M. and OBCEMEA, W.N. 1981. Time and mode of nitrogen fertilizer application to tropical wetland rice. *Fert. Res.* 2: 247-259.
- CHALK, P.M., KEENEY, D.R., and WALSH, L. 1975. Crop recovery and nitrification of fall and spring applied anhydrous ammonia. *Agron. J.* 67: 33-37.
- DARWINKEL, A. 1983. Ear formation and grain yield of winter wheat as affected by time of nitrogen supply. *Neth. J. Agric. Sci.* 31: 211-225.
- FAO-Anuario Fertilizantes. 1995. Vol. 45 p.: 24.
- HOCKING, P.J. 1984. Nitrogen nutrition of non-leguminous crops. A review. *Field crop abstracts* 37: 625-741.
- INIA-INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (CHILE). 1991. Catálogo de semillas INIA. Trigo de Pan. A. 6. Est. Exp. La Platina (Santiago). Boletín Técnico, Nº 167.
- INE-INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. 1994. Estadística Agropecuaria Año Agrícola 1993-1994. p.: 23.
- ISFAN, D. 1990. Nitrogen physiological efficiency index in some selected spring barley cultivars. *J. Plant Nutr.* 13: 907-914.
- ISFAN, D. 1993. Genotypic variability for physiological efficiency index of nitrogen in oats. *Plant and soil* 154: 53-59.
- PEYRELONGUE C., A. 1986. Uso continuado de fertilizantes en diferentes condiciones edafoclimáticas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Est. Exp. Carillanca-Sociedad Química y Minera. Temuco, Chile. Primer informe anual. Convenio INIA-SQM. 54 p.
- PEYRELONGUE C., A. 1989. Uso eficiente de Nitrógeno y Fósforo en producción de cebada para malta. IX Región. *En: Baherle, V. P. (ed.). Seminario Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola.* INIA Est. Exp. La Platina, Santiago, Chile. Serie La Platina Nº 14. p.: 131-146.
- PEYRELONGUE C., A. 1990. Manejo de la fertilización para producción de cebada para malta en la IX Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Est. Exp. Carillanca, Temuco, Chile. Boletín Técnico Nº 145. 20 p.
- RAO, K.P. and RAINS, D.W. 1976. Nitrogen nutrition and grain production in two spring wheat genotypes differing in nitrate reductase activity. *Crop Sci.* 17: 283-286.
- REMY, J.C. and VIAUX, P.H. 1982. The use of nitrogen fertilizers in intensive wheat growing in France. *Proc. Fert. Soc.* 211: 69-92.
- ROUANET, J.L. 1983. Clasificación agroclimática IX Región. Segunda aproximación macroárea I. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca.* Año 2, Nº 1 p.: 22-26.
- ROUANET, J.L. 1984. Clasificación agroclimática IX Región. Segunda aproximación macroárea V. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca.* Año 3, Nº 2 p.: 26-27.
- ROUANET, J.L. 1994. Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivares anuales en futura agricultura sustentable. *Agricultura Técnica (Chile).* 54: 169-179.
- SIMPSON, D.M.H. and MELSTED, S.W. 1963. Urea hydrolysis and transformation in some Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 48-50.
- SPIERTZ, J.H.J. and ELLEN, J. 1978. Effects of nitrogen on crop development and grain growth of winter wheat in relation to assimilation and utilization of assimilates and nutrients. *Neth. J. Agric. Sci.* 26: 210-231.
- SOIL SURVEY STAFF. 1992. Keys to soil taxonomy 5th edition, SMSS. Technical monograph N 19. Blacksburg, Virginia. Pocahontas Press. Inc 556 p.

WILD, A. and CAMERON, K.C. 1980. Soil nitrogen and nitrate leaching. *In: Soils and agriculture*. Tinker, P.B. (ed.). Society of Chemistry Industry Critical Reports on Applied Chemistry Vol 2 p.: 35-70.

ZAPATA, F. 1990. Isotope techniques in soil fertility and plant nutrition studies. Use of Nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. Training Courses Series Nº 2: 61-127.

ZADOKS, J.C., CHANG, T.T. and KARZAK, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-425.