

EFICIENCIA DE DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS EN DIFERENTES ESTADOS FENOLOGICOS EN UNA VARIEDAD DE TRIGO DE INVIERNO (*Triticum aestivum* L.)¹

Efficiency of two nitrogen fertilizers applied in different phenological stages on a winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.)

Mario Mellado Z.²

S U M M A R Y

A field experiment was carried out during four successive crop seasons, 1988-1991, at the Quilamapu Experiment Station (INIA), Chile, to evaluate the efficiency of nitrogen use by a winter bread wheat, when this nutrient was applied as Chilean nitrate or as urea, at different phenological stages during growth cycle.

The trials were set up under irrigation, in a split plot design, involving application date as treatments and the nitrogen fertilizers as subtreatments. Both fertilizers were broadcasted in a single application of 150 kg N/ha per subtreatment, on the soil surface every 30 days since sowing until heading.

Evaluations were: grain yield, yield components, phytomass and nitrogen content of the grain and straw.

The most important conclusions are:

- Chilean nitrate and urea applied at different phenological stages in a winter bread wheat, had the same performance.
- Early nitrogen applications from sowing to initial tillering, or late nitrogen application (spike emergence) negatively affect the grain production, N extraction and N recovery by the wheat plant.
- The highest values of grain yield and grain production efficiency were obtained when all the N rate was applied between tillering and jointing.
- Total rainfall between sowing time and the fertilizer application dates related to the leaching of nitrogen, might explain the variations in the nitrogen recovery capacity by the wheat plant.

Key words: *Triticum aestivum*, wheat, Chilean nitrate, urea.

INTRODUCCION

En la zona centro-sur de Chile (35° 31' - 37° 28' lat. Sur) se sembró un promedio de 233.600 hectáreas de trigo durante el quinquenio 1985-1989 (INE, 1991). De este total, aproximadamente un 50% corresponde a trigos de invierno y de hábito alternativo, los que se siembran en la precordillera andina y en el valle regado.

Debido a que las fechas de siembra de estos tipos de trigo son coincidentes con la mayor frecuencia e intensidad de lluvias anuales, existe un riesgo potencial de que una fracción del nitrógeno aplicado como fertilizante, se pierda, principalmente por lixiviación. De tal forma, que, tanto la fuente fertilizante (amoniacaal o nítrica), como el momento de su aplicación al trigo, puede ser un factor importante en la determinación de la eficiencia con que este nutriente es utilizado por el cultivo.

¹Recepción de originales: 12 de noviembre de 1992.
Trabajo presentado al 43 Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile, Santiago, 2-6 noviembre de 1992.

²Estación Experimental Quilamapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

La eficiencia con que la planta usa el nitrógeno depende del factor ambiental, referido a las precipitaciones que se producen en los períodos

próximos a las aplicaciones de los fertilizantes (Lutcher y Mahler, 1988; Baethgen y Alley, 1989 y Mellado, 1990).

Considerando la importancia que el nitrógeno tiene en la producción de trigo, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno aplicado como salitre sódico o urea, cuando estos fertilizantes se aplican en diferentes estados fenológicos, en una variedad de trigo de invierno.

MATERIALES Y METODOS

En un diseño experimental de parcelas divididas se estudió el efecto de diferentes fechas de aplicación de nitrógeno (tratamientos) y de dos fuentes de nitrógeno (subtratamientos) sobre algunas características agronómicas en la variedad de trigo invernal Laurel-INIA. Las fuentes de nitrógeno fueron salitre sódico y urea, las que se aplicaron al voleo en una dosis de 150 kg de N/ha, de una sola vez sobre la superficie del suelo, en cada fecha de aplicación.

Las fechas de aplicación de nitrógeno y los correspondientes estados fenológicos del trigo se indican en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Fechas de aplicación de nitrógeno y estados fenológicos del trigo al momento de aplicar los fertilizantes

TABLE 1. Dates of N application and wheat phenological stages at the nitrogen dressing time of fertilizer

Bienio 1988-1989		Bienio 1990-1991	
A	B	A	B
-	-	15 abril	siembra
2 mayo	siembra	15 mayo	E ₁ -E ₂
1 junio	E ₁	15 junio	E ₃
1 julio	E ₂	15 julio	E ₃ -E ₄
1 agosto	E ₃ -E ₄	15 agosto	E ₅
1 septiembre	E ₄ -E ₅	15 septiembre	E ₆ -E ₇
1 octubre	E ₆ -E ₇	15 octubre	E ₉
2 noviembre	E ₁₀	15 noviembre	E _{10.5}

A= Fechas de aplicación del salitre y urea.

B= Estados fenológicos del trigo al momento de aplicar el salitre sódico y urea, según la Escala de Feekes y Large (1954).

Los suelos empleados para los experimentos fueron de textura franco arcillosa con bajos contenidos de nitrógeno disponible (5-10 mg/kg). Al respecto, algunas características físicas de los suelos del estudio se indican en el Cuadro 2.

Las evaluaciones efectuadas fueron:

- Altura de planta desde el nivel del suelo hasta el extremo superior de las espigas, sin considerar las aristas.
- Rendimiento de grano, en parcelas de 2 x 1 m.
- Componentes de rendimiento: espigas/m², granos/espiga y peso del grano.
- Fitomasa sobre el suelo a la madurez de cosecha, en parcelas de 2 x 1 m.
- Nitrógeno total del grano y de la paja por el método de Kjeldahl.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comparación del salitre sódico y la urea

El análisis de variancia de los datos de cada experimento señaló que las fuentes de N no produjeron diferencias significativas en la cantidad de fitomasa, ni en el rendimiento de grano y sus componentes ($P \leq 0,05$). Tampoco se observó interacción entre las fuentes de nitrógeno y las fechas de aplicación; es decir, el salitre sódico y la urea tuvieron efectos similares sobre el comportamiento de la planta, independiente de la fecha de aplicación o estado fenológico de la planta de trigo.

En concordancia a los resultados obtenidos en un trabajo similar, pero con trigos de primavera (Mellado, 1990), la variedad de trigo de invierno utilizada en estos ensayos, respondió en forma muy semejante a las aplicaciones de salitre sódico y urea. Corroborando lo anterior en experimentos efectuados en Francia, Recous, Machet y Mary (1992) señalan que al aplicar fertilizantes nitrogenados en trigo de invierno durante el período de macolla se produjo mayor inmovilización de N con amonio que con nitrato, pero que éstas diferencias en inmovilización y absorción casi desaparecieron entre la floración y madurez de cosecha.

CUADRO 2. Propiedades físicas de los suelos utilizados en los experimentos

TABLE 2. Physical properties of the soils where trials were sown

Año	Profundidad (cm)	Partículas (%)			Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad aprovechable (%)
		Arena	Limo	Arcilla		
1988	0-20	33	48	19	1,44	17,9
	20-40	33	55	12	1,35	17,8
1989	0-20	30	49	21	1,36	22,4
	20-40	38	47	15	1,23	24,3
1990	0-20	51	32	17	1,24	18,0
	20-40	52	33	15	1,12	17,0
1991	0-20	44	30	26	1,33	9,5
	20-40	30	40	30	0,94	9,1

Los valores promedio y desviaciones estándar, indicados en el Cuadro 3, permiten caracterizar en el tiempo las evaluaciones efectuadas en los cuatro años de experimentación.

Efecto de las fechas de aplicación de nitrógeno

En los cuatro años de experimentación se determinó diferencias significativas en el rendimiento de grano por efecto de las fechas de aplicación de nitrógeno ($P \leq 0,05$).

En la Figura 1 se aprecia que los rendimientos máximos de grano se produjeron al aplicar el nitrógeno cuando las plantas de trigo tenían un desarrollo E₃ - E₄ de la Escala de Feekes, es decir, unos 90 días después de la siembra. También se aprecia que lo menos efectivo, desde el punto de vista de la producción de grano, es aplicar todo el N a la siembra o cuando el trigo empieza a espigar. Además, se observa que durante el bienio 1988/89 el rendimiento del testigo sin N fue de 23,8 qqm/ha, en tanto que en el bienio 1990/91 fue de 28,5 qqm/ha.

CUADRO 3. Efecto promedio del salitre sódico y la urea sobre algunas características agronómicas de un trigo de invierno

TABLE 3. Average effect of Chilean nitrate and urea on some agronomic characteristics of a winter wheat variety

Características	Salitre sódico ¹		Urea ¹	
	Promedio	(S)	Promedio	(S)
Altura (cm)	99,8	(5,7)	100,0	(4,5)
Fitomasa (qqm/ha)	183,6	(27,4)	184,9	(24,8)
Rendimiento grano (qqm/ha)	55,3	(8,1)	55,9	(6,3)
Peso hectolitro (kg/hl)	81,4	(0,3)	81,8	(0,4)
Espigas/m ²	535,5	(97,0)	551,3	(94,1)
Granos/espiga	31,2	(5,0)	31,9	(5,5)
Peso de 1.000 granos (g)	43,6	(1,6)	43,1	(1,3)
Nitrógeno del grano (%)	1,73	(0,1)	1,68	(0,2)
Nitrógeno de la paja (%)	0,38	(0,1)	0,36	(0,1)
Nitrógeno asimilado en el grano (kg/ha)	88,48	(20,0)	89,14	(18,7)
Nitrógeno asimilado en la paja (kg/ha)	49,45	(21,9)	46,71	(21,8)
Eficiencia agronómica (kg grano/kg N aplicado)	19,45	(5,8)	19,85	(5,6)

¹Cada valor es promedio de 90 datos; (S): Desviación estándar.

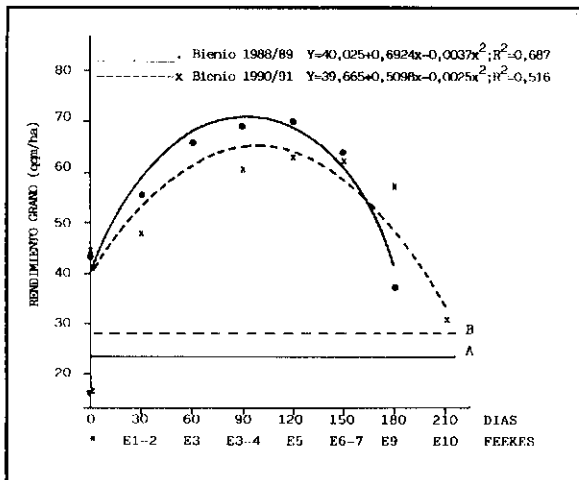


FIGURA 1. Relación entre los días transcurridos desde la siembra (*) a la aplicación de N, y el rendimiento de grano, en una variedad de trigo invernal. A = Rendimiento testigo, 1988/89. B = Rendimiento testigo, 1990/91.

FIGURE 1. Relationship between the days from sowing date (*) till N application and the grain yield in a winter wheat variety. A = Grain yield in check, 1988/89. B = Grain yield in check, 1990/91.

Eficiencia de uso del nitrógeno

Las variaciones en el rendimiento de grano, producidas al aplicar el N en distintos estados fenológicos del trigo, estuvieron relacionadas con la eficiencia de uso del N por la planta. En la Figura 2 se aprecia que la eficiencia fue baja (8 a 12 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado) cuando este nutriente se aplicó al momento de la siembra, a inicios del macollaje o durante la espigadura.

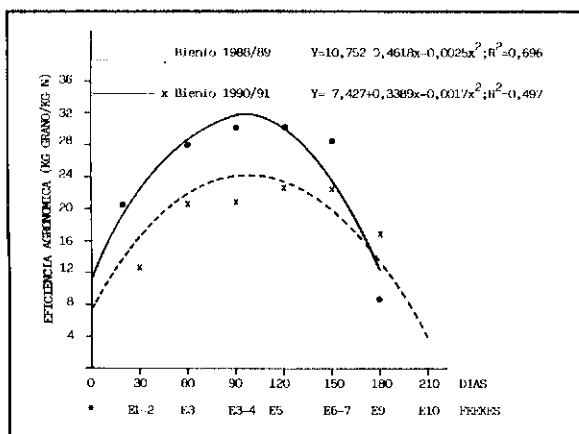


FIGURA 2. Relación entre los días transcurridos desde la siembra (*) hasta la aplicación de N, y la eficiencia agronómica de producción de grano en una variedad de trigo invernal.

FIGURE 2. Relationship between days from sowing date (*) till nitrogen application, and grain production efficiency in a winter wheat variety.

La baja eficiencia lograda al aplicar todo el N al momento de la siembra o cuando la planta está iniciando su macolla, se explica por el poco desarrollo que en ese período aún tiene el sistema radical encargado de absorber los elementos nutritivos.

Por otra parte, la baja eficiencia de uso del N cuando el salitre y la urea se aplicaron en la espigadura, también demostrada en trigos de primavera (Mellado, 1990), se explica porque cuando los fertilizantes se aplican en espigadura, ya se han determinado los componentes de rendimiento y la planta se encuentra terminando una etapa de rápido desarrollo. Por esta razón, no es capaz de absorber y trasladar todo el N agregado como fertilizante. Ello explica también por qué el análisis de suelo efectuado al momento de la cosecha, señaló una tendencia a un aumento de los niveles de N, cuando el salitre y la urea se aplicaron tarde en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Sin embargo, cuando los fertilizantes se aplicaron en la etapa de macolla (90 días después de la siembra), se logró la mayor eficiencia (22 a 30 kg de grano/kg N aplicado), ya que en este período la planta dispone de un sistema radical capaz de absorber el N aplicado y utilizarlo en la generación de tallos efectivos y de espigas de elevada fertilidad. Por otra parte, los riesgos de lixiviación empiezan a disminuir, lo que permite una mayor cantidad de N en la zona radical.

Porcentaje de N del grano y de la paja, y recuperación de N por la planta

En los cuatro años de experimentación, se determinó que las fechas de aplicación de los fertilizantes nitrogenados produjeron variaciones en los porcentajes de N del grano y de la paja, correspondiendo a las aplicaciones de nitrógeno tardías efectuadas en la espigadura (noviembre), los mayores valores de nitrógeno total (Figura 3).

Respecto a la extracción y recuperación de N, en el Cuadro 4 se observa que las mejores condiciones para la absorción de nitrógeno por la planta se produjeron cuando los fertilizantes nitrogenados se aplicaron desde la macolla (junio-julio) hasta la aparición del segundo nudo y la hoja bandera del trigo (octubre). Durante estos períodos una variedad de invierno está generando los tallos secundarios (macollaje) y determinando el rendimiento potencial, por lo que al disponer de nitrógeno sin limitaciones puede usarlo con gran eficiencia, en la etapa determinante de la productividad del cultivo.

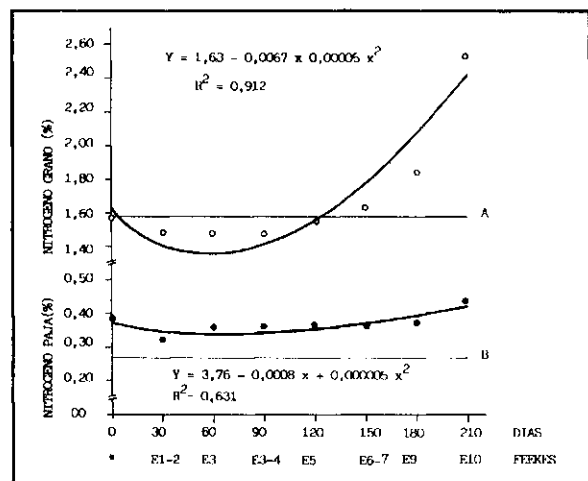


FIGURA 3. Relación entre los días transcurridos desde la siembra (*) a la aplicación de N, y el contenido de N del grano y de la paja. A = Nitrógeno del grano en el testigo. B = Nitrógeno de la paja en el testigo.

FIGURE 3. Relationship between the days from sowing date (*) till N application, and grain and straw N content. A = Grain N content in check. B = Straw N content in check.

Precipitaciones y recuperación de N por la planta

En la sección anterior se señaló que cuando el salitre sódico y la urea fueron aplicados en el momento de la siembra o cuando las plantas estaban iniciando la macolla, se produjo una baja eficiencia en la recuperación de N.

Para explicar este fenómeno, se relacionó las precipitaciones acumuladas entre la fecha de aplicación del N fertilizante y el término de macolla, con el porcentaje de recuperación de N por la planta de trigo.

En la Figura 4 se observa una relación negativa entre estas dos variables, lo cual significaría que a mayores precipitaciones recibidas por el suelo antes que las plantas tengan un sistema radical efectivo, induciría a una menor eficiencia de recuperación de nitrógeno por efecto de pérdidas de nitrógeno, principalmente por lixiviación. La misma figura permite concluir que, para suelos similares a los de estos ensayos, cuando las precipitaciones acumuladas desde la aplicación de N hasta el término de macollaje superan los 600 mm, la recuperación de

CUADRO 4. Efecto de la fecha de aplicación de N fertilizante en un trigo de invierno, sobre su recuperación por la planta

TABLE 4. Effect of nitrogen fertilizer application date on nitrogen recovery by a winter wheat variety

Fecha de aplicación ¹	Bienio 1988/89		Bienio 1990/91	
	Extracción de N por la planta ²	Recuperación de N por planta ³	Extracción de N por la planta ²	Recuperación de N por la planta ³
Abril	-	-	125,83	40,70
Mayo	87,85	23,82	126,34	41,04
Junio	107,90	37,19	158,43	62,43
Julio	146,45	62,89	155,08	60,20
Agosto	143,00	60,59	171,87	71,39
Septiembre	147,47	63,57	162,22	64,96
Octubre	151,37	66,17	160,21	63,62
Noviembre	126,16	49,36	113,60	32,54
Testigo ⁴	52,11		64,78	

¹150 kg de N/ha en cada fecha.

²Nitrógeno extraído por la paja y grano.

³N absorbido en tratamiento fertilizado - N absorbido en tratamiento testigo x 100/150.

⁴Estimado como el suministro de N del suelo.

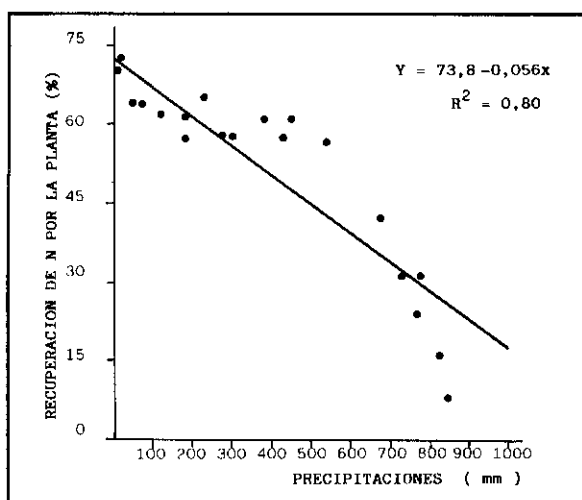


FIGURA 4. Relación entre las precipitaciones acumuladas desde la fecha de aplicación de nitrógeno a término de macolla y la recuperación de nitrógeno por la planta.

FIGURE 4. Relationship between rainfall accumulated from nitrogen application to complete tillering and nitrogen recovery by the wheat plant.

RESUMEN

En la Estación Experimental Quilamapu (INIA), Chile, se efectuaron 4 experimentos de campo durante el período 1988-1991, con el objeto de evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno, cuando este nutriente se aplicó como salitre sódico y urea, en diferentes estados fenológicos de una variedad de trigo de invierno.

Los ensayos se establecieron bajo condiciones de riego en un diseño de parcelas divididas, con diferentes fechas de aplicación de nitrógeno como tratamientos y dos fuentes de nitrógeno (salitre sódico y urea), como subtratamientos. Ambos fertilizantes fueron aplicados al voleo, de una sola vez, en una dosis de 150 kg de N/ha, sobre el suelo, cada 30 días desde la siembra hasta la espigadura.

Las evaluaciones comprendieron: rendimiento de grano, fitomasa y contenido de nitrógeno del grano y de la paja.

Las conclusiones más importantes son:

N por la planta es muy baja. Esto concuerda con el efecto de las aplicaciones de N efectuadas durante la siembra o 30 días después de la siembra. Presumiblemente una fracción importante de N se lixivió en forma de nitratos durante las lluvias de otoño e invierno.

Un aspecto a destacar es que tanto el salitre sódico como la urea mostraron un comportamiento similar, lo que indicaría que el N aplicado como urea se transformó a nitratos en forma rápida, quedando entonces también susceptible de perderse por lixiviación. Sobre este punto, Francis y Haynes (1991) determinaron que 92 horas después de la aplicación de urea, el N amoniacal se transformó a nitrato.

- El salitre sódico y la urea al ser aplicados en diferentes estados fenológicos en una variedad de trigo invernal, tuvieron el mismo comportamiento.
- Las aplicaciones tempranas de nitrógeno (desde la siembra hasta inicios de la macolla) o tardías (durante la espigadura) afectaron negativamente la eficiencia de producción de grano, la extracción y recuperación de N por la planta de trigo.
- El mayor rendimiento de grano y mejor eficiencia agronómica se logró al aplicar todo el nitrógeno entre macolla y encañado.
- Las precipitaciones, producidas entre la siembra y la fecha de aplicación de los fertilizantes, que lixivian el $N-NO_3$, podrían explicar, en gran medida, las variaciones en la eficiencia de recuperación de N por la planta, observada en estos experimentos.

Palabras claves: *Triticum aestivum*, trigo, salitre sódico, urea.

LITERATURA CITADA

- BAETHGEN, W.E. and ALLEY, M.M. 1989. Optimizing soil and fertilizer nitrogen use by intensively managed winter wheat. I. Crop nitrogen uptake. *Agron. J.* 81: 116-120.
- FRANCIS, G.S. and HAYNES, R.J. 1991. The leaching and chemical transformations of surface applied urea under flood irrigation. *Fertilizer Research* 28: 139-146.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS. 1991. Sector Agrícola. Cultivos tradicionales. En: *Agronegocios*. p.: 16.
- LARGE, E. C. 1954. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes Scale. *Plant Pathology* 3(4): 128-129.
- LUTCHER, L. and MAHLER R, L. 1988. Sources and timing of spring topdress on winter wheat in Idaho. *Agron. J.* 80: 648-654.
- MELLADO Z., MARIO. 1990. Eficiencia de dos fertilizantes nitrogenados aplicados en distintas fechas, en trigos de primavera (*Triticum aestivum* L.). *Agricultura Técnica (Chile)* 50: 148-154.
- RECOUS, S., MACHET, J.M. and MARY, B. 1992. The partitioning of fertilizer -N between soil and crop: comparison of ammonium and nitrate applications. *Plant and Soil* 144: 101-111.