

EFICIENCIA DE DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS EN DISTINTAS FECHAS, EN TRIGOS DE PRIMAVERA (*Triticum aestivum* L.)¹

Efficiency of two nitrogen fertilizers applied in different dates on spring wheats (*Triticum aestivum* L.)

Mario Mellado Z.²

SUMMARY

At the Quilamapu Experiment Station (INIA), Chile, three field experiments were carried out during 1986-1988, to evaluate the efficiency of N use by wheat plants, when this nutrient is applied as Chilean nitrate or as Urea, at different dates, to spring wheat varieties.

The trials were set up under irrigation, in a split plot design. The treatments (7) were the N application dates, and the sub-treatments (2) were the N fertilizers, Chilean nitrate or Urea. Both fertilizers were applied once at a rate of 150 kg N/ha, on the soil surface the first day of each month, from May till November. Since planting date was always August first, the N treatments were applied before, during and after seeding time.

Evaluations were: grain yield and yield components, biomass and N of grain and straw.

The most important conclusions were:

1. Chilean Nitrate and Urea applied at different dates in spring wheat had the same performance.
2. Dates of N applications affected grain yield and other agronomic characteristics.
3. Early N applications (before wheat planting) or late (spike emergence) negatively affected the grain production efficiency, N extraction, and N recovery by the wheat plant.
4. Accumulated rainfall between the fertilizers' applications and plant emergence, might explain the variations of wheat N extraction capacity.

INTRODUCCION

A nivel mundial, el nitrógeno constituye uno de los principales gastos en la producción de cultivos agrícolas.

En Chile, se ha efectuado una gran cantidad de ensayos relativos al efecto de los fertilizantes nitrogenados en trigo. Esto es tanto debido a la gran respuesta de este cereal como al reducido aporte de N natural del suelo. Por esta razón, aunque el valor de la unidad de N aparentemente es muy elevada, la relación precio insumo/precio producto ha sido favorable durante muchos años.

Aunque estos ensayos demuestran que los rendimientos, en las distintas áreas agroecológicas están asociados a condiciones climáticas, prácticas culturales y características físicas y químicas de los suelos, el patrón común es que, al aplicar N al trigo, siempre se eleva su rendimiento de grano, respecto a un testigo sin aplicación. Sin embargo, la respuesta de la planta a dichas aplicaciones es muy variable, lo cual estaría indicando que, bajo ciertas condiciones, este nutriente es usado más eficientemente. Así por ejemplo, se ha determinado que la respuesta del trigo a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, está más relacionada con el estado de desarrollo de la planta que con una fecha calendario. Lo importante es que las plantas tengan disponibilidad de N en cantidades adecuadas, durante toda la estación de crecimiento.

Con respecto al efecto de los factores ambientales, especialmente las precipitaciones, se argumenta que cuando éstas son abundantes en los períodos próximos a las

¹Recepción de originales: 14 de agosto de 1989.

Trabajo presentado en el seminario "Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola", efectuado en La Platina, 1º - 4 de agosto de 1989.

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

aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, se produciría una pérdida en la eficiencia del uso del N debido principalmente al fenómeno de lixiviación, o desnitrificación (Lutcher y Mahler, 1988; Baethgen y Alley, 1989).

Con la finalidad de hacer un aporte tecnológico respecto a este tema, se planificó un ensayo, para determinar los cambios que podrían producirse en la eficiencia de uso del N por el trigo, cuando este nutriente se aplica como nitrato y como amonio, en diferentes fechas a variedades de primavera.

MATERIALES Y METODOS

Durante el trienio 1986-1988, se efectuó tres ensayos de campo en suelos de riego en la Estación Experimental Quilamapu. Algunas características físicas de estos suelos se presentan en el Cuadro 1.

En un diseño experimental de parcelas divididas con tres repeticiones, se estudió 7 tratamientos (fechas de aplicación de los fertilizantes), y dos subtratamientos (fuentes de N: salitre sódico y urea). Estos dos fertilizantes se colocaron en una dosis de 150 kg de N/ha, de una sola vez sobre la superficie del suelo, el día 1º de cada mes, desde mayo a noviembre. Las variedades de trigo utilizadas fueron Nobo-INIA, Cisne-INIA y Ciko-INIA, en 1986, 1987 y 1988, respectivamente. Debido a que la siembra del trigo se efectuó en una sola fecha (1º de agosto), se desprende que los tratamientos de N quedaron aplicados antes, durante y después de la siembra (Cuadro 2). Además, se incluyó un testigo sin N, para determinar el aporte del suelo y poder calcular la eficiencia de producción de grano de los fertilizantes aplicados, así como su recuperación por la planta.

Durante la siembra, se aplicó 65 kg de P/ha, como superfosfato triple, a todo el ensayo. Las malezas se

CUADRO 1. Propiedades físicas de los suelos utilizados en los ensayos
TABLE 1. Physical properties of the soils used in the trials

Año	Profundidad (cm)	Partículas (%)			Densidad aparente (g/cm ³)	Humedad aprovechable (%)
		Arena	Limo	Arcilla		
1986	0 - 30	22	43	35	1,04	9,4
	30 - 60	20	51	29	0,95	7,1
1987	0 - 30	27	33	40	1,17	10,0
	30 - 60	23	41	35	1,13	6,3
1988	0 - 30	33	52	15	1,40	17,9
	30 - 60	40	50	10	1,34	16,4

CUADRO 2. Fecha y estado fenológico del trigo al momento de aplicar los fertilizantes
TABLE 2. Date and wheat phenological stage at the fertilizers dressing time

Fecha de aplicación del nitrógeno	A	B
1º mayo	92	-
1º junio	61	-
1º julio	31	-
1º agosto ¹	0	-
1º septiembre	30	E ₂
1º octubre	61	E ₅
1º noviembre	91	E ₁₀

¹Fecha de siembra del trigo en todo el ensayo.

A: Días transcurridos desde la aplicación de N con respecto a la siembra del ensayo.

B: Estado fenológico del trigo al momento de aplicar los fertilizantes, según la Escala de Feekes, en la cual:

- E₂ = inicio de macolla.
- E₅ = término de macolla.
- E₁₀ = inicio espigadura.

eliminaron mediante control químico y manual, y se aplicaron los riegos por tendido necesarios para mantener el suelo con humedad adecuada.

Previo a la aplicación de N en las distintas fechas, se tomó una muestra de suelo a 20 cm, en las tres repeticiones, para conocer el nivel de N disponible. Al momento de la cosecha de los ensayos, también se hizo una operación similar.

Las evaluaciones efectuadas en la planta fueron: rendimiento de grano y sus componentes, biomasa y porcentaje de N del grano y de la paja.

RESULTADOS Y DISCUSION

Nitrógeno del suelo

Los contenidos de N disponible en el suelo, antes de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados y al momento de la cosecha, se presentan en el Cuadro 3.

Se puede apreciar en este cuadro que, en general, los valores de N disponible son bajos. Además, se observa que cuando los fertilizantes nitrogenados se aplicaron desde mayo a octubre, el N del suelo a la cosecha fue menor, que cuando la aplicación se efectúa en noviembre.

es decir, el salitre y la urea tuvieron efectos similares, sin importar la fecha de aplicación. En la Figura 1, se aprecia que los rendimientos menores, tanto en grano como de paja, se produjeron cuando el N se aplicó en mayo y junio (92 y 61 días antes de la siembra), y cuando se aplicó en noviembre (91 días después de la siembra), cuando las plantas de trigo estaban próximas a espigadura.

CUADRO 3. Nitrógeno disponible (ppm) de los suelos utilizados en los ensayos
TABLE 3. Nitrogen available (ppm) of the soils used in the trials

Mes	Año 1986		Año 1987		Año 1988	
	NI	NC	NI	NC	NI	NC
Mayo	18*	11	16	8	9	5
Junio	10	14	22	7	12	7
Julio	10	12	12	6	6	9
Agosto	13	14	8	7	6	6
Septiembre	9	14	22	12	11	8
Octubre	17	17	13	11	12	14
Noviembre	14	41	9	23	11	14

NI: Nitrógeno del suelo antes de las aplicaciones de los fertilizantes nitrogenados.

NC: Nitrógeno del suelo al momento de la cosecha de los ensayos.

*18 ppm equivalen a 36 kg de N/ha, en los primeros 20 cm del suelo.

Desarrollo del trigo

Dado que el trigo fue sembrado el 1º de agosto, se produjo un cambio fenológico importante cada 30 días, situación que de alguna manera interactuó con las aplicaciones de N efectuadas en cobertera. Así, las aplicaciones realizadas en septiembre, octubre y noviembre, coincidieron aproximadamente con el inicio de macolla, término de macolla y comienzo de espigadura, respectivamente. De esta manera, el N ejerció su efecto sobre etapas de desarrollo con diferente actividad fisiológica.

En general no se observó efecto de las fuentes de N sobre el ciclo vegetativo de las variedades.

Rendimiento de grano

Respecto al efecto de las fuentes de N sobre la producción de grano y otras características, las variedades de trigo utilizadas respondieron en forma muy semejante a las aplicaciones de salitre sódico o urea, según puede apreciarse en el Cuadro 4. Este resultado es similar al señalado por Vidal y Longeri (1988).

En los tres años, se determinó diferencias significativas en rendimiento, por efecto de las fechas de aplicación, tanto de salitre sódico como de urea. No se determinó interacción entre fuentes de N y fechas de aplicación;

CUADRO 4. Efecto promedio del salitre sódico y la urea, sobre varias características agronómicas de trigos de primavera

TABLE 4. Average effect of Chilean nitrate and of urea on several agronomic characteristics of spring wheat varieties

Características	Salitre sódico*	Urea*
Altura (cm)	86	87
Biomasa (qqm/ha)	100,3	99,1
Rendimiento grano (qqm/ha)	42,9	41,9
Peso hectolitro (kg/hl)	83,1	83,9
Espigas/m ²	377	369
Granos/espiga	39	39
Peso 1.000 semillas (g)	43	42
Nitrógeno del grano (%)	1,9	1,8
Nitrógeno de la paja (%)	0,7	0,7
N extraído por el grano (kg/ha)	81	75
N extraído por la paja (kg/ha)	50	50
Eficiencia de producción de grano (kg grano/kg N)	13,0	12,5

*Cada valor es promedio de 63 datos (3 años x 7 fechas de aplicación de los fertilizantes x 3 repeticiones).

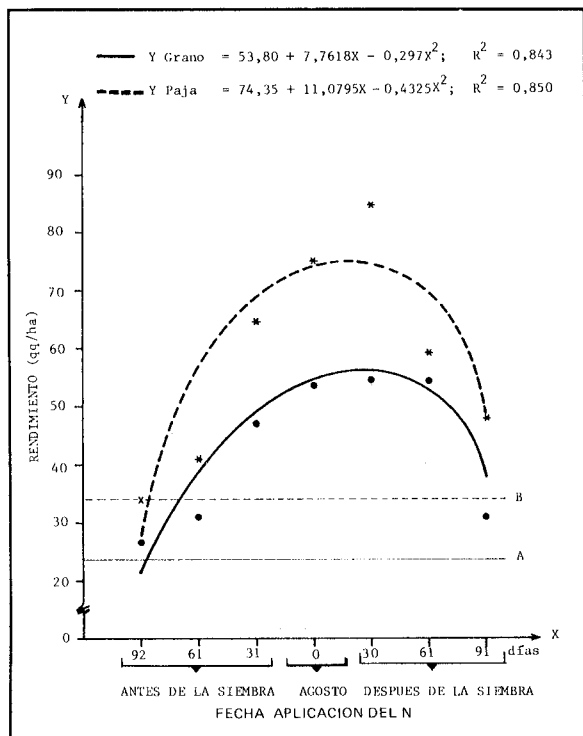


FIGURA 1. Relación entre fecha de aplicación de N al suelo y rendimiento de grano (●) y la paja (*), en trigos de primavera. A = Rendimiento grano en testigo; B = Rendimiento paja en testigo.

FIGURE 1. Relationship between date of N application to soil and grain yield (●) and straw yield (*), in spring wheats: A = Grain yield in check; B = Straw yield in check.

Aunque las consecuencias de haber adelantado o postergado demasiado las aplicaciones de N son similares, las causas son diferentes. Así, al aplicar el N antes de la siembra, la disponibilidad de nutrientes en las raíces será inferior que si se aplica entre siembra y macolla. Por el contrario, en aplicaciones tardías hay un déficit inicial del nutriente, y posteriormente, la planta no es capaz de utilizar todo el N disponible, ya que durante el desarrollo del trigo se producen fuertes interacciones entre factores ambientales y estados fenológicos. Con los aumentos de temperatura, las diferentes etapas del cultivo se suceden velozmente. Por ello, al no tener N disponible en cantidades suficientes, se producirá una limitación en los componentes que deciden el rendimiento potencial.

Eficiencia de producción de grano

Las variaciones de rendimiento producidas al aplicar el N en distintas fechas, estuvieron relacionadas con la eficiencia del uso del N por la planta. En la Figura 2, se observa que la eficiencia se aproximó a cero, cuando los fertilizantes se aplicaron en mayo (92 días antes de la siembra); alcanzó su mejor expresión cuando las

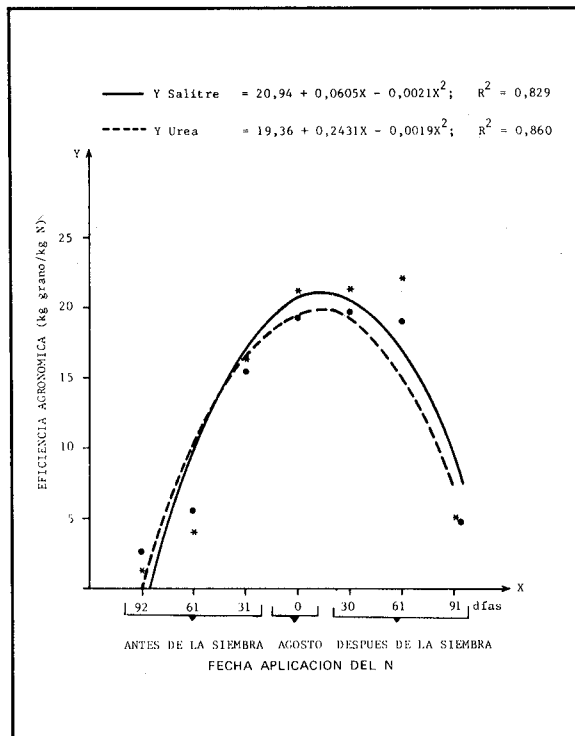


FIGURA 2. Relación entre fecha de aplicación de N al suelo y eficiencia agronómica de producción de grano, en trigos de primavera. (* = Salitre sódico; ● = Urea).

FIGURE 2. Relationship between date of N application to soil and grain production efficiency, in spring wheats. (* = Chilean nitrate; ● = Urea).

aplicaciones coincidieron con la siembra o se efectuaron 30 a 60 días después (inicio a término de macolla); luego disminuyó a sólo 5 kg grano/kg N, al aplicar el N cuando las plantas estaban iniciando la espigadura. Al respecto y coincidiendo con este resultado, Baethgen y Alley (1989) señalan que la eficiencia de uso del N fertilizante debería ser mayor en el estado de crecimiento E5 de Feekes, porque este estado precede inmediatamente a un período de rápida absorción de N. Por otra parte resulta interesante relacionar estos resultados con aquellos obtenidos por Rodríguez, Mellado y Rojas (1979), al evaluar el efecto del N en trigo de primavera sembrado en distintas fechas. Estos autores demostraron que la eficiencia de uso del N fertilizante aplicado, disminuyó a 5,3 kg grano/kg N, cuando el trigo se sembró el 1º de octubre, comparado con 12 kg grano/kg N, en la siembra del 1º de agosto. Esto significa que, cuando las aplicaciones son tardías, la planta no aprovecha el N en producir más grano, ya que este nutriente está disponible sólo después que se han fijado algunos componentes de rendimiento, tales como número de tallos por planta y número de granos por espiga.

Extracción de nitrógeno por la planta

Las fechas de aplicación de los fertilizantes nitrogenados, afectaron los porcentajes de N del grano y de la paja (Figura 3). Este proceso de acumulación de N en la planta, siguió una tendencia similar a lo observado con el rendimiento de grano (Figura 2), cuando este nutriente se aplicó antes de la siembra, y una tendencia opuesta, cuando el N se aplicó en octubre y noviembre. En general, en aplicaciones tardías se produjo un aumento significativo en el porcentaje de N de la paja y del grano.

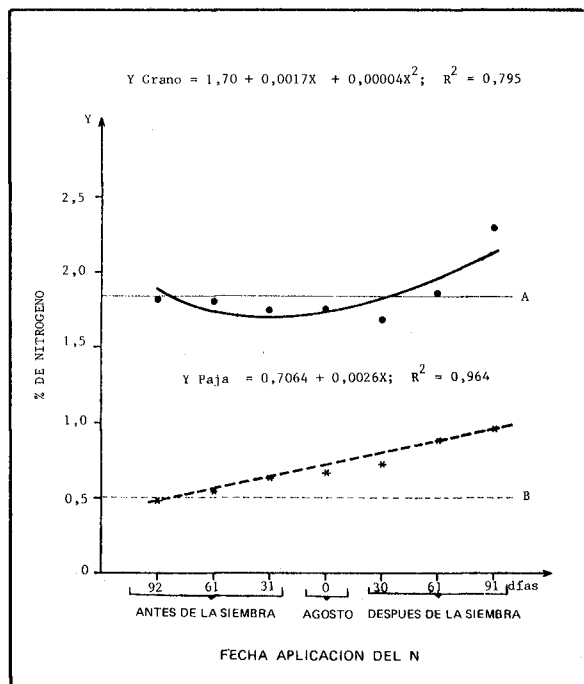


FIGURA 3. Relación entre fecha de aplicación de N al suelo y contenido de N del grano (●) y la paja (*), en trigos de primavera. A = Porcentaje N grano en testigo; B = Porcentaje N paja en testigo.

FIGURE 3. Relationship between date of N application to soil and grain (●) and straw (*) N content, in spring wheats. A = Grain N percentage in check; B = Straw N percentage in check.

Con respecto a la extracción de N por el grano y la paja (Figura 4), ésta fue similar al testigo, cuando los fertilizantes se aplicaron en mayo (92 días antes de la siembra). Desde ahí en adelante, ocurrió un incremento progresivo de la extracción, para volver a disminuir cuando los fertilizantes se aplicaron en noviembre (91 días después de la siembra). La extracción total de N por la planta se indica en la Figura 5.

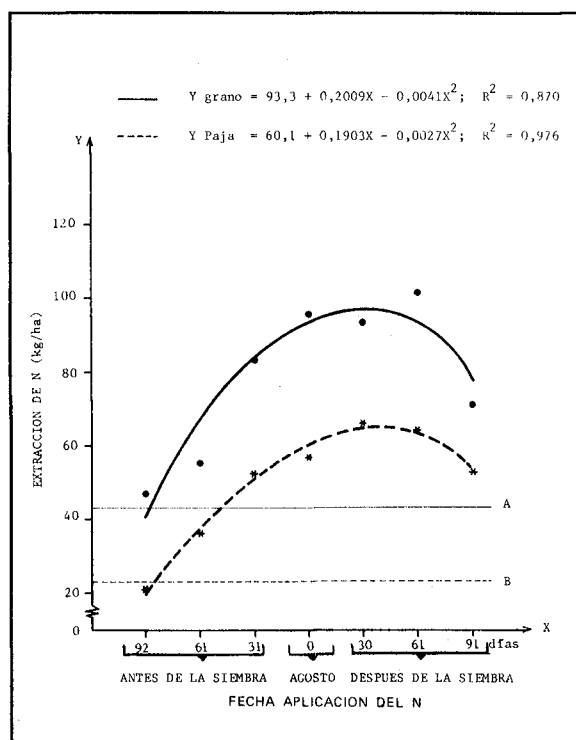


FIGURA 4. Relación entre fecha aplicación de N al suelo y extracción de N por el grano (●) y la paja (*), en trigos de primavera. A = Extracción N grano testigo; B = Extracción N paja testigo.

FIGURE 4. Relationship between date of N application to soil and N extraction by grain (●) and straw (*), in spring wheats. A = Grain N extraction in check; B = Straw N extraction in check.

En relación al bajo porcentaje de recuperación por la planta el N aplicado (Cuadro 5), cuando los fertilizantes se aplicaron 92 y 61 días antes de la siembra, ello podría significar que la lluvia desplazó el N más abajo de la zona de las raíces, o que el N aplicado se inmovilizó o hubo desnitrificación. Por el contrario, al aplicar el N entre siembra y macolla, éste habría estado disponible en etapas críticas del desarrollo, como son la generación de tallos secundarios (macolla) y la determinación del rendimiento potencial (etapa de encañado). El bajo porcentaje de recuperación del N, cuando éste se aplicó a inicios de espigadura (noviembre), tiene una causal diferente, ya que en este caso, la planta no pudo aprovechar todo el N disponible y, por esta razón, el análisis de suelo a la cosecha indicó un incremento significativo respecto al N inicial del suelo. La baja recuperación del N por la planta, podría deberse a que el suelo superficial generalmente más seco impidió su normal absorción.

De acuerdo a los valores de rendimiento de grano y paja, así como por la extracción de N efectuada por el testigo (que no recibió fertilización), se deduce que

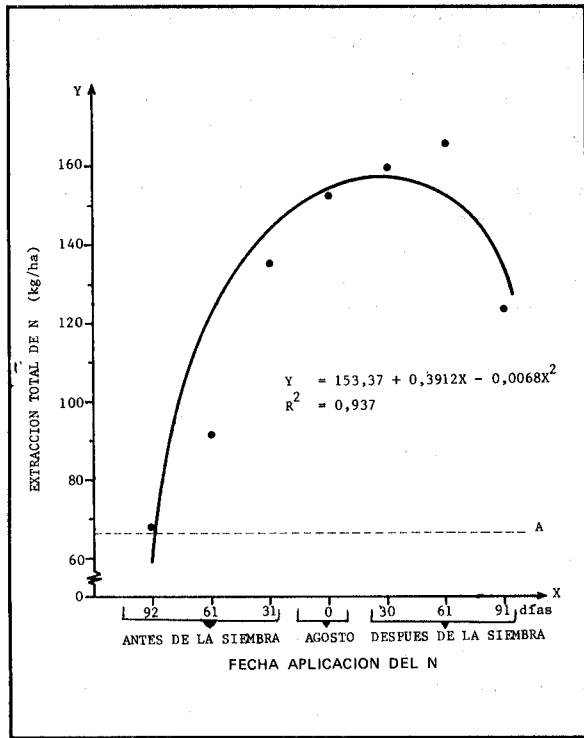


FIGURA 5. Relación entre fecha de aplicación de N al suelo y extracción total de N, en trigos de primavera. A = Extracción total N en testigo.

FIGURE 5. Relationship between date of N application to soil and total N extraction, in spring wheats. A = Total N extraction in check.

CUADRO 5. Efecto de la fecha de aplicación de N fertilizante en trigos de primavera, sobre su recuperación por la planta

TABLE 5. Effect of nitrogen fertilizers application date on nitrogen recovery by the spring wheat plant

Fecha Aplicación ¹	Extracción de N por la planta (kg/ha) ²	Recuperación de N por la planta (%) ³
Mayo	68,4	1,1
Junio	91,5	16,5
Julio	135,2	45,6
Agosto	152,4	57,1
Septiembre	159,3	61,7
Octubre	165,6	65,9
Noviembre	123,7	38,0
Testigo ⁴	66,7	

¹150 kg de N/ha en cada fecha.

²Nitrógeno extraído por la paja y grano.

³Aporte del suelo al N de la planta.

⁴(Extracción de N por la planta menos el testigo) x 100/150.

existió un suministro de N por el suelo de alrededor de 130 kg/ha, considerando una eficiencia de absorción de 50%. Sin embargo este aporte fue insuficiente para permitir que la planta desarrollara todo su potencial productivo. Esto último se concluye, al comparar las cifras del testigo con los tratamientos que recibieron salitre sódico o urea, en el momento de la siembra o 30 a 60 días después.

Precipitación y eficiencia de producción de grano

En las secciones anteriores se mencionó que, cuando el salitre sódico y la urea fueron aplicados con mucha anticipación a la siembra, se produjo una significativa pérdida de eficiencia del N en la producción de grano.

Para explicar este fenómeno, se relacionó las precipitaciones acumuladas desde la aplicación de N al suelo hasta la emergencia del trigo, con la eficiencia de producción de grano (Figura 6). Esta figura muestra una relación negativa entre las dos variables, lo cual

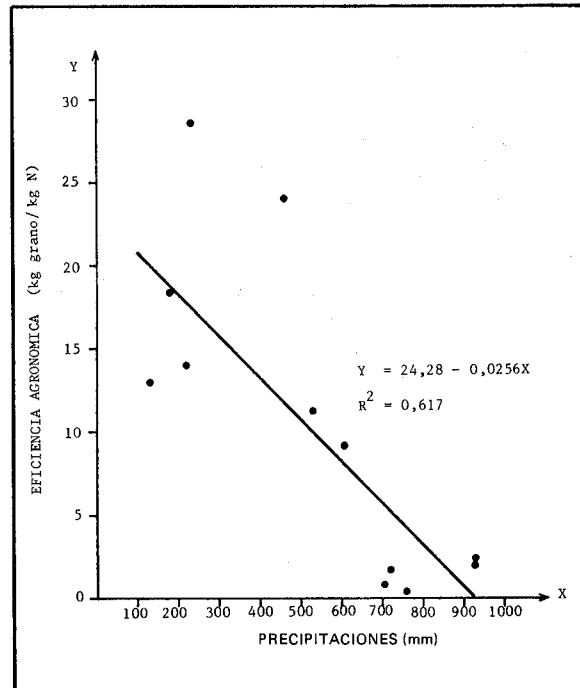


FIGURA 6. Relación entre precipitaciones acumuladas desde la aplicación de N hasta la emergencia del trigo y la eficiencia agronómica de producción de grano, en trigos de primavera.

FIGURE 6. Relationship between accumulated rainfall from the date of N application until wheat emergency and grain production efficiency, in spring wheats.

significaría que a mayores precipitaciones recibidas por los fertilizantes antes que existan plantas con un sistema radicular efectivo, correspondería una menor eficiencia de producción de grano. La misma figura permite concluir que, cuando las precipitaciones acumuladas superan los 600 mm desde la aplicación del N hasta la emergencia del trigo, la pérdida de N es considerable; es decir, la recuperación de N por la planta es muy baja. Esto es lo que sucedió con las aplicaciones efectuadas en mayo y junio (92 y 61 días antes de la siembra).

Considerando que la eficiencia y recuperación fueron similares con el salitre sódico y la urea, ello significa que las pérdidas de N fueron semejantes para ambos fertilizantes. Esto permite suponer que la conversión de iones amonio de la urea a iones nitrato fue efectiva, con lo cual se igualaron las pérdidas por lixiviación en

ambos fertilizantes. Según Morris, Brookerd y Vasuvat (1980), el nitrato se mueve con más facilidad que el ion amonio en la solución del suelo. Sin embargo, dada la rápida transformación a nitratos, esta diferencia no jugaría un rol importante, en nuestras condiciones.

En concordancia con lo señalado anteriormente, Mahler (1986) citado por Lutcher y Mahler (1988), señala que la eficiencia de uso del N, en la mayoría de los años, es más pobre cuando la mayor parte de la dosis del fertilizante nitrogenado se aplica en otoño.

En Chile, la recomendación para fertilizar trigos sembrados en otoño, consiste en colocar una parte del N a la siembra y el resto a la macolla, lo cual guarda relación con una mayor eficiencia de los fertilizantes nitrogenados.

RESUMEN

En la Estación Experimental Quilmapu (INIA), se efectuó tres ensayos de campo durante el trienio 1986-1988, con el fin de evaluar la eficiencia de uso del N por el trigo, cuando este nutriente se aplica como salitre sódico y como urea, en diferentes fechas, en variedades de primavera.

Los ensayos se establecieron en condiciones de riego y se usó un diseño de parcelas divididas. Los tratamientos (7) correspondieron a fechas de aplicación de los fertilizantes y los subtratamientos (2) fueron las fuentes de nitrógeno, salitre sódico y urea. Estos dos fertilizantes se colocaron en una dosis de 150 kg de N/ha, de una sola vez sobre la superficie del suelo, el día 1º de cada mes, desde el mes de mayo a noviembre. Debido a que la siembra del trigo se efectuó en una sola fecha (1º agosto), se desprende que los tratamientos de N quedaron aplicados antes, durante y después de la siembra.

Las evaluaciones efectuadas fueron: rendimiento de grano y sus componentes, biomasa y porcentajes de N del grano y de la paja. Las principales conclusiones de esta investigación fueron:

1. El salitre sódico y la urea tuvieron igual comportamiento cuando se aplicaron en distintas fechas en trigos de primavera.
2. Las fechas de aplicación afectaron la producción de grano y otras características agronómicas.
3. Las aplicaciones de N efectuadas antes de la siembra o a inicios de la espigadura, afectaron negativamente la eficiencia de producción de grano, la extracción de N y la recuperación de este nutriente por la planta.
4. Las precipitaciones ocurridas entre la aplicación de los fertilizantes y la emergencia de las plantas, podrían explicar las variaciones en la capacidad de extracción de N.

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.
- LUTCHER, L.K. and MAHLER, R.L. 1988. Sources and timing of spring topdress nitrogen on winter wheat in Idaho. *Agron. J.* 80: 648-654.
- MORRIS, D.R., BOOKERD, N., and VASUVAT, Y. 1980. Effects of N-serve on soybeans and soil nitrogen transformations. *Plant Soil* 57 (1): 31-39.

- RODRIGUEZ S., NICASIO, MELLADO Z., MARIO y ROJAS W., CARLOS. 1979. Efecto de la época de siembra y dosis de nitrógeno en un cultivar de trigo de primavera. I. Variaciones del rendimiento y sus componentes. *Agricultura Técnica (Chile)* 39 (1): 1-6.

- VIDAL P., IVAN y LONGERI S., LUIS. 1988. Uso de los inhibidores de la nitrificación, nitrapirina y tiourea en trigo de primavera. *Agricultura Técnica (Chile)* 48 (2): 137-141.