

El efecto de la fertilización nitrogenada de liberación lenta en el cultivo de maíz

Se han ensayado dos fuentes distintas, la metilen-urea y el nitrosulfato amónico + DMPP, frente a un tratamiento testigo

Los fertilizantes de liberación lenta son abonos cuyo elemento principal de fertilización se presenta en una forma química o estado físico por el cual su disponibilidad para las plantas se retarda. Dentro de los abonos de liberación lenta o gradual destacan los abonos orgánicos de síntesis química, como la metilen-urea, y los abonos con inhibidores de la nitrificación, como el DMPP. En este artículo se resumen los ensayos realizados en condiciones reales de campo sobre un cultivo de maíz.

M. Maturano y H. López Corcoles.
Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP).

Los fertilizantes de liberación lenta se han extendido en uso y popularidad durante los últimos años. La mayor preocupación por la protección del medio ambiente y la exigencia en la calidad del agua de consumo humano con la elaboración de umbrales de toxicidad por nitratos en el agua (50 ppm según CE) han centrado el interés por este tipo de productos (Alexander y Helm, 1990).

Entre los muchos beneficios potenciales de los fertilizantes de liberación lenta se destacan (Allen, 1984): mayor eficiencia en la obtención del nitrógeno por la planta, reducción de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y lavado, disponibilidad de nutrientes durante los períodos de crecimiento, reducción de costes de aplicación (ahorro en la aplicación de N soluble) y menor riesgo de quemadura de raíces.

Los abonos que liberan gradualmente el nitrógeno se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

1. Abonos orgánicos de síntesis biológica, como los diferentes estiércoles, restos orgánicos, etc.
2. Abonos orgánicos de síntesis química (condensación de urea con aldehídos); en este grupo destacan la metilen-urea o urea-formaldehído, isobutildendiurea (IBDU) y la crotonildendiurea (CDU).
3. Abonos recubiertos a base de resinas o azufre.
4. Abonos con inhibidores de la nitrificación (DCD-3,4, DMPP) y de la ureasa.

La urea-formaldehído es una mezcla de distintas fracciones que difieren en el tamaño molecular y cada una de las fracciones obtenidas presenta distinta solubilidad (Benedetti *et al.*, 2004.):

- La primera fracción (CWSN) es soluble en agua fría (25ºC) y su período de liberación dura pocas semanas.
- La segunda fracción (CWIN) es soluble en agua caliente (100ºC) y su período de liberación se alarga varios meses. Su ritmo de liberación de N varía del 15% de nitrógeno liberado en las primeras dos semanas hasta el 1,5% semanal cedido en los cuatro a seis meses sucesivos, según estudios de Hauck en 1972.
- Por último, la tercera fracción (HWIN) presenta un período de liberación que puede durar hasta dos años. Esto no significa que se trate de nitrógeno no disponible para las plantas, no es el mismo significado que un valor insoluble en un abono mineral,

sino que esta fracción quedará como reserva disponible en el suelo para las plantas.

La liberación del nitrógeno de la metilen-urea o urea-formaldehído se realiza por la actividad microbiológica del suelo de forma gradual y progresiva, en función de la longitud de las cadenas poliméricas, en sincronía con la actividad radicular.

Debido a la estabilidad de las mezclas de urea-formaldehído con otros fertilizantes solubles, se han comercializado NPK con una fracción nitrogenada de liberación lenta (Jiménez, 1992). Los productos de urea-formaldehído se comercializan en forma granular o polvo (urea-formaldehído, metilen-urea y MDU/DMTU) o en forma líquida (suspensiones y soluciones de urea-formaldehído) (Booze-Daniels y Schmidt, 1997).

El objetivo del presente trabajo es conocer la respuesta del rendimiento y eficiencias en el uso del N a la aplicación de diferentes dosis, momentos, y diversas formas de incorporación de nitrógeno (urea, metilen-urea e inhibidores de la nitrificación).

Materiales y métodos

El ensayo se realizó con la variedad de maíz Dracma, que fue sembrada el 18 de mayo de 2004, con una densidad de 86.000 pl ha^{-1}. El abonado de fondo consistió en una aplicación de K y P el 15 de abril, en dosis de 100 y 150 kg ha^{-1}, respectivamente. El ensayo se realizó libre de plagas y enfermedades. En el **cuadro I** se presentan los distintos tratamientos ensayados.

Se realizó un seguimiento de la fenología utilizando la escala de Ritchie y Hanway (1982).

Para evaluar el efecto de los distintos tratamientos ensayados, se realizaron mediciones de materia seca total y rendimiento, y sus componentes, en la recolección. A partir de estas determinaciones se calculó el índice de cosecha de carbono: relación entre el peso del grano y el de la materia seca total.

Se midió el contenido de N mineral en la siembra y en la recolección con el objetivo de estudiar las diferentes eficiencias en el uso del N. Con este fin también se realizaron determinaciones de contenido de N en planta y grano. A partir de estas determinaciones se calculó el índice de cosecha de N, es decir, qué porcentaje del N total absorbido en la materia seca representa el N absorbido por el grano.

Los resultados obtenidos fueron examinados con análisis de varianza mediante la utilización del programa estadístico SPSS v 10.0. El test de comparación de medias se utilizó para constatar las tendencias observadas. El test utilizado fue el de Tuckey, el nivel de riesgo en α fue fijado en 5%.

Las características del suelo donde se realizó el ensayo se presentan en el **cuadro II**.

Resultados y discusión

Producción de materia seca e índice de cosecha de carbono

En la **figura 1** se presenta el resultado de la producción de materia aérea vegetativa (MS), sin considerar el peso del grano y el índice de cosecha de carbono (IC). Se pudo observar que la mayor producción de MS se midió para la mayor dosis (202 UFN) y la fuente metilen-urea 43. La utilización de nitrosulfato amónico + DMPP no mostró diferencias en función de la dosis ni para la producción de MS, ni para IC.

El resultado del análisis estadístico mostró un efecto de la fuente utilizada sobre el IC. Este efecto muestra diferencias a favor del tratamiento metilen-urea 43 (202 UFN).

CUADRO I. TRATAMIENTOS REALIZADOS Y FECHAS DE APLICACIÓN DEL FERTILIZANTE

Nº	Tratamiento	N (%)	Presiembra	Total UFN
1	Testigo			0
2	Metilen-urea 43 *	43	141 (20/04/2004)	141
3	Metilen-urea 43 *	43	202 (20/04/2004)	202
4	Metilen-urea 39	39	141 (20/04/2004)	141
5	Nitrosulfato amónico + DMPP	26	141 (20/04/2004)	141
6	Nitrosulfato amónico + DMPP	26	202 (20/04/2004)	202

(*) 40-42% metilen, 58-60% urea.

CUADRO II. CONDICIONES INICIALES DE SUELO

Textura	%
Arena	45,5
Limo	27,3
Arcilla	27,3

Parámetro	Unidades	Valores
pH (1:2,5)	—	8,4
CE (1:5)	mmhos/cm	0,29
Materia orgánica	%	1,9
Nitrogeno total	%	0,14
C total	%	1,08
Relación C/N	—	7
P disponible	ppm	50
Carbonatos totales	%	40,9
K disponible	meq/100 gr	0,66
Na disponible	meq/100 gr	0,30
Mg disponible	meq/100 gr	4,08
NO_3^-	kg ha^{-1}	13,59
NH_4^+	kg ha^{-1}	10,89

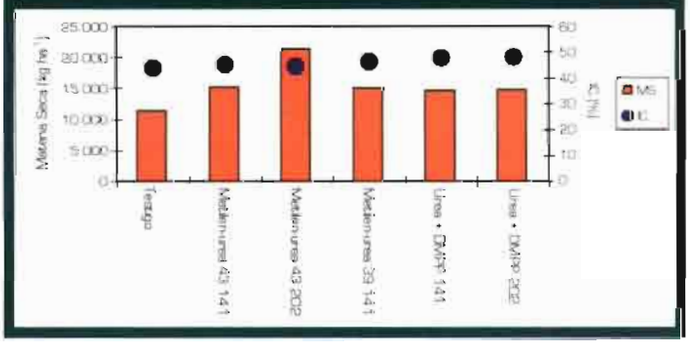
El efecto de la fuente sobre la producción de MS mostró diferencias estadísticamente significativas entre metilen-urea 43 y nitrosulfato amónico + DMPP con respecto a metilen-urea 39. También existió un efecto de la dosis para la producción de MS. Según este análisis, existe una diferencia estadística para la producción de MS a favor de la dosis de 202 y 141 con respecto a 0 UFN (pero no existieron diferencias entre 141 y 202 UFN).

El efecto de la interacción fuente x dosis no fue significativo para ninguno de los parámetros evaluados.

Rendimiento

El resultado del análisis estadístico (Tuckey α 0,05) mostró que existieron diferencias significativas debido al efecto de la

FIGURA 1.
Producción de materia seca vegetativa e índice de cosecha para todos los tratamientos.





Diferencia entre un maíz abonado correctamente (primer plano de la foto) y el tratamiento testigo (segundo plano).

fuente y dosis, pero no al de su interacción.

Las fuentes metilen-urea 43 y 39 y nitrosulfato amónico + DMPP no mostraron diferencias estadísticas en el rendimiento.

El efecto de la dosis diferenció al tratamiento testigo de las dosis de 141 y 202 UFN.

El fertilizante metilen-urea 43, independientemente de la dosis utilizada, muestra mejor respuesta en rendimiento con respecto al metilen-urea 39. También muestra mejor respuesta cuando se comparan las mismas dosis utilizadas con respecto a nitrosulfato amónico + DMPP.

El análisis realizado para la dosis de 141 UFN no presentó diferencias estadísticas entre las fuentes utilizadas. El mismo análisis realizado para la dosis de 202 UFN presentó diferencias a favor de la fuente metilen-urea 43.

N absorbido en grano y materia seca aérea no vegetativa

El la **figura 2** se presenta el resultado de la absorción de N en la materia seca aérea no vegetativa (N MS), en el grano (N gr) y el índice de cosecha de N (ICN).

Los tratamientos en los que se utilizó la fuente metilen-urea (39 y 43) no presentaron diferencias en el valor de ICN con respecto al nitrosulfato amónico + DMPP, ni entre ellos. Sin embargo, sí existieron diferencias estadísticamente significativas (Tuckey $\alpha > 0,05$) en la absorción de N MS debidas al efecto de la fuente y de la dosis, pero no al de su interacción. El efecto de la dosis utilizada mostró diferencias para la absorción de N MS entre el tratamiento 202 UFN y el testigo, pero no entre éste y la dosis de 141 UFN.

La absorción de N en el grano también presentó diferencias estadísticamente significativas debidas al efecto de la dosis, pero no al de la fuente ni a su interacción. La dosis de 202 UFN fue diferente estadísticamente del testigo, pero no de la dosis de 141 UFN.

Contenido de N mineral en la recolección y N mineralizado

En la **figura 3** se presentan los resultados de N residual mineral en la recolección. Los valores encontrados para este parámetro fueron pequeños.

El resultado del análisis estadístico mostró que existió un efecto en este parámetro debido tanto a la fuente utilizada como a la dosis, pero no a su interacción. El mayor contenido de N mineral residual se midió para la fuente metilen-urea 39, siendo la diferencia estadísticamente significativa con respecto al resto de tratamientos evaluados. El contenido de N mineral en la recolección fue diferente en función de la dosis utilizada, siendo mayor en los tratamientos donde se aplicó 202 UFN.

FIGURA 2.
Absorción de N en la materia seca no vegetativa y en el grano e índice de cosecha de N para todos los tratamientos.

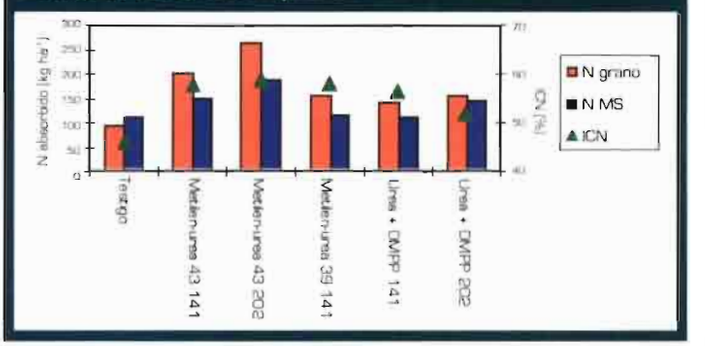


FIGURA 3.
Contenido de N mineral edáfico en la recolección para todos los tratamientos y N mineralizado durante el ciclo del cultivo.

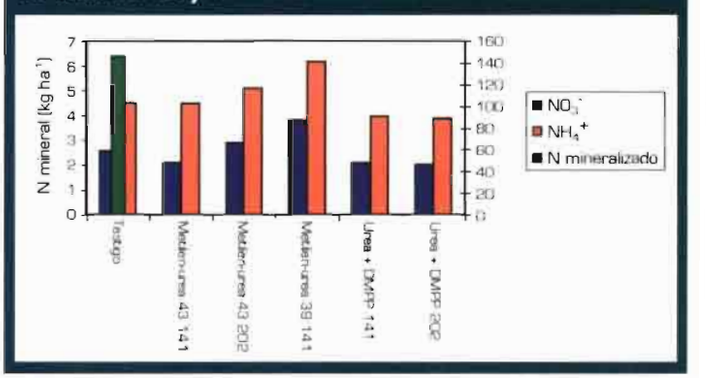
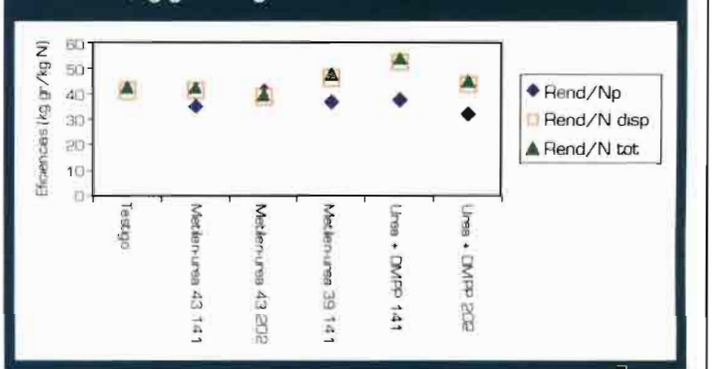


FIGURA 4.
Eficiencias en el uso del N para todos los tratamientos. Rend/Np: eficiencia en el uso de N provisto (Kg grano/Kg N); Rend/Ndisp: eficiencia en el uso del N disponible (Kg grano/Kg N); Rend/Ntot: eficiencia en el uso del N total absorbido (Kg grano/Kg N).



El contenido de N mineralizado es alto para el ambiente estudiado (146 kg N ha^{-1}). Los valores de mineralización medidos en esta zona varían entre 80 y 160 kg N ha^{-1} (Maturano, 2002), en función del cultivo antecesor y del manejo tanto de la fertilización nitrogenada que se haya realizado como del rastrojo. El presente ensayo tuvo como antecesor un cultivo de Kenaf *(Hibiscus cannabinus L)* seguido de maíz.

Eficiencias en el uso de N

El análisis de eficiencia en el uso del nitrógeno que se presenta a continuación tiene como objetivo identificar dentro de los diferentes tratamientos si la limitante en la producción del cultivo a nivel de eficiencia se debe a problemas en su disponibilidad, hecho que indirectamente habla de las pérdidas de N, o a un limitante de carácter fisiológico que indique la falta de ajuste entre oferta y demanda, es decir, la necesidad de ajustar el momento de aplicación del mismo. La falta de ajuste entre la oferta y la demanda puede evaluarse desde un punto de vista de eficiencia en la absorción o de eficiencia en el uso del N por parte del cultivo.

Los parámetros que intervienen en las diferentes eficiencias analizadas son:

- Rendimiento en grano (Rend gr),
- N aportado por el fertilizante (Nf),
- N total absorbido por la materia seca aérea (Ntot),
- N mineral inicial (Nr),
- N mineral presente en el suelo en la recolección (Nh),
- N disponible (Ndisp): considerado como la suma de Nt + Nh, N provisto (Np), que es la suma de Nf + Nr + Nmin,
- N mineralizado (Nmin) y,
- N presente en el grano (Ngr).

Para el estudio de eficiencias en el uso del N se analizaron las siguientes eficiencias:

a) Eficiencias en el uso del N provisto (Rend/Np, Kg grano/Kg N). Esta eficiencia analiza la relación entre el rendimiento y el N provisto, el que se define mediante la siguiente expresión:

$$Np = Nf + (Nr + Nmin)$$

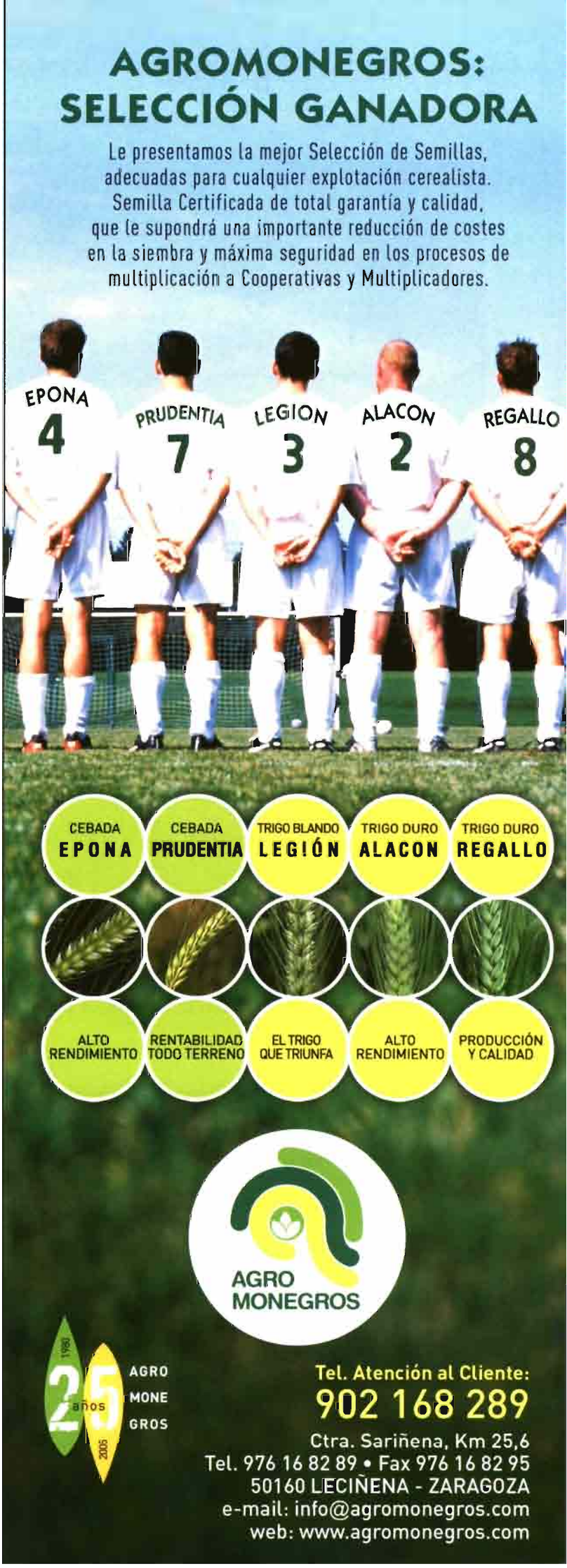
donde, Np= N provisto, Nf= N aplicado con el fertilizante, Nr= N aportado con el agua de riego y Nmin= es el N mineralizado, calculado en el tratamiento testigo.

b) Eficiencia en el uso del N disponible (Rend/N disp, Kg grano/Kg N). Esta eficiencia analiza la relación entre el rendimiento en grano y el N disponible, definido para la siguiente expresión:

$$Ndisp = Ntot + Nfin$$

donde, Ndisp= N disponible, Ntot= N total absorbido en la materia seca aérea y Nfin= N mineral poscosecha.

c) La eficiencia en el uso del N total absorbido en la materia seca (Rend/Ntot). Esta eficiencia estudia la relación entre la producción de grano y el N total absorbido, tanto en grano como en materia aérea seca no reproductiva. Una baja eficiencia estaría indicando un consumo de lujo, es decir, que el cultivo absorbió una cantidad que no fue capaz de aprovechar para la producción de grano, ya que existe para cada híbrido utilizado una potencialidad de rendimiento.







Parcela con el tratamiento testigo terminando su ciclo (arriba) y parcela abonada con fertilización de liberación lenta (abajo) en la misma fecha.

d) La eficiencia en la disponibilidad de N provisto (Ndisp/Np) es una medida de las pérdidas de N durante el ciclo del cultivo, pero no sólo de N aportado como fertilizante, sino que considera todos los aportes nitrogenados que recibió el cultivo durante su desarrollo hasta la madurez fisiológica.

La eficiencia en el uso del N provisto para la dosis de 141 UFN (metilen-urea 43, metilen-urea 39 y nitrosulfato amónico + DMPP), osciló entre valores de 73 y 88%. La dosis de 202 UFN presenta valores decrecientes en esta eficiencia para la fuente metilen-urea 43 y nitrosulfato amónico + DMPP, respectivamente.

Los valores superiores al 70% para las eficiencias en el uso del N disponible y del N absorbido están indicando que en general ha existido un buen ajuste entre la oferta y la demanda de N, debido al bajo contenido de N final en la recolección. Las mayores eficiencias en el uso del N disponible (Ndisp) y absorbido (Nt) se midieron para el tratamiento nitrosulfato amónico + DMPP 141 UFN, metilen-urea 39 (141 UFN) y nitrosulfato amónico + DMPP 202 UFN.

En cuanto a los valores obtenidos de eficiencia en la disponibilidad de N provisto (Ndisp/Np) se sitúan entre 0,73 y 1,10. Estos valores son similares a los obtenidos en trabajos anteriores realizados en este ambiente (Maturano, 2002; Maturano *et al.*, 2004). De acuerdo a la metodología empleada en el cálculo de esta eficiencia, siempre el valor de 1 corresponde al tratamiento testigo.

Las menores pérdidas se midieron en el tratamiento metilen-urea 43 202, en el que un valor superior al 1% representa, posiblemente, algún error en la determinación de alguno de los parámetros intervinientes en el cálculo de esta eficiencia, pero indica una tendencia a obtener bajas pérdidas.

Las mayores pérdidas se encontraron en los tratamientos en los que la fuente utilizada fue nitrosulfato amónico + DMPP. Una vez más, la fuente metilen-urea 43 utilizada en una dosis de 202 muestra mejores resultados, en este caso relacionados con la eficiencia en la disponibilidad del N provisto, con respecto a metilen-urea 39.

Conclusiones

La utilización de metilen-urea 43 con respecto a metilen-urea 39 mostró mejores resultados para los distintos parámetros analizados.

La dosis de 202 UFN presentó mayores rendimientos con respecto a la de 141 UFN.

La fuente metilen-urea 43 fue la que menores pérdidas del sistema produjo.

Los resultados presentados en este trabajo corresponden a un año de experimentación, por lo que indican tendencias que serán verificadas con el segundo año de ensayo, que se está llevado a cabo en este momento.

Debido al alto contenido de N mineralizado en las condiciones en que se realizó el ensayo, se puede pensar en realizar una primera aplicación en una etapa más tardía, por ejemplo, sexta hoja (V6). Este momento fenológico (entre sexta y octava hoja) es el de diferenciación del ápice en el cultivo de maíz del estado vegetativo al estado reproductivo, y coincide con el momento del comienzo del máximo requerimiento nutricional. ■

Bibliografía

Alexander, A.; Helm, H. (1990). Ureaform As a Slow Release Fertilizer: A Review. Düsseldorf.

Allen, S.A. (1984): Slow release nitrogen fertilizers in: Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA. pp. 195-206.

Benedetti, A.; Nardi, P.; Trinchera, A.; Sanipoli, A. M. (2004). Clasificazione e Vantaggi dei Concimi Non a Pronto Efetto. INSP Roma.

Booze-Daniels, J. N.; Schmidt, R. E. (1997). The Use of Slow Release Nitrogen Fertilizers on the Roadside. Virginia Polytechnic Institute and State University.

Jiménez Gómez, S. (1992). Fertilizantes de Liberación Lenta. Ed. Mundi-Prensa.

Maturano, M. (2002). Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones Castellano-Manchega y Argentina. Tesis Doctoral. 246 pp. Universidad de Castilla-La Mancha.

Maturano, M.; López Córcoles, H.; Lerma Tabarra, M. L.; Sajardo Lucas, T. y Cantos Soriano, M. I. (2004). Estudio de la eficiencia en el uso del nitrógeno en el cultivo de maíz como respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados. Informe Final. 21 pp. Abril 2004.

Ritchie, S. W.; Hanway, Y. J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Iowa Special report nº 48.