

SE HA ESTUDIADO LA RESPUESTA PRODUCTIVA EN EL MAÍZ Y EL NITRÓGENO RESIDUAL EN EL SUELO CON FERTILIZANTES DIFERENTES

Ensayo comparativo de distintas fuentes de nitrógeno en un cultivo de maíz en regadío

S. Cela, P. Berenguer, F. Santiveri, A. Ballesta y J. Lloveras.

Centre Universitat de Lleida (UdL) - IRTA. Lleida.

Frente a la gran variedad de opciones y precios de los distintos abonos nitrogenados, resulta de interés contar con información comparativa de los diversos tipos de fertilizantes. El objetivo del presente trabajo fue comparar los efectos de diferentes fuentes de nitrógeno sobre la producción de grano y forraje del maíz y sobre el N residual en el suelo después de la cosecha. Los abonos comparados representan la variabilidad existente en el mercado: dos abonos simples nítrico amoniacales (nitrato amónico y nitrosulfato amónico), un abono simple de lenta liberación (urea recubierta con el polímero ESN) y dos abonos complejos con inhibidores de la nitrificación (DCD y DMPP).



a abonos nitrogenados simples, 0,2 millones de fosfatados simples, 0,3 millones de potásicos simples y 2,3 millones de abonos complejos. Recientemente han aparecido en el mercado abonos, simples y complejos, con inhibidores de la nitrificación, que ralentizan la oxidación del amonio a nitrato y de esta manera pretenden disminuir las pérdidas de N durante el ciclo del cultivo (Barth *et al.*, 2001).

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en la Estación Experimental de Gimnells (Lleida), durante las campañas 2006 y 2007. El suelo está clasificado como Calcixerept petrocálcico, de textura franca gruesa y era un suelo bien drenado sin problemas de salinidad, pH básico (8,2) y 3% de materia orgánica. El nivel de la capa freática se encuentra a 150 cm y existe un horizonte petrocálcico a 70-90 cm de profundidad que no permite el paso de las raíces a profundidades superiores.

El diseño experimental fue en parcelas subdivididas. El factor principal fue la dosis de N (0, 100, 200 y 300 kg N ha⁻¹) y el secundario el tipo de abono. Con este tipo de diseño se pretendió una mejor comparación entre los tipos de abono. Se compararon los siguientes fertilizantes:

La agricultura actual tiene como objetivo fundamental mantener la productividad de las cosechas y, a su vez, conservar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales y de los medios de producción, mediante un manejo integrado de los mismos.

La fertilización nitrogenada es un aspecto clave en la producción, economía y en los aspectos ambientales del maíz. Los agricultores, para obtener los máximos rendimientos, lo suelen fertilizar con dosis de N generalmente superiores a las necesarias (Berenguer *et al.*, 2008; Pérez-Bergés, 2007, Sisquella *et al.*, 2004).

En este sentido, se hace necesario el estudio de las necesidades de nitrógeno, de las cantidades disponibles en el suelo, agua, etc., para determinar las cantidades que han de aportarse, según las condiciones de cultivo, a través de la fertilización, los tipos de abonos más adecuados y los momentos de aplicación.

Según datos de la Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes (ANFFE, 2008), en el año 2007 se consumieron en España 5,2 millones de toneladas de fertilizantes: 2,4 millones correspondientes

1. Nitrato amónico (NA).
2. Nitrosulfato amónico (NSA).
3. Urea recubierta con el polímero ESN (urea).
4. NPK con DCD.
5. NPK con DMPP.

El tamaño de la parcela elemental fue de 15 x 7 m. El fraccionamiento de la fertilización se realizó según el protocolo del **cuadro I**, que intenta reflejar una forma habitual de aplicación de dichos abonos por parte de los productores de maíz.

Los ensayos se sembraron a fines de marzo - principios de abril de cada año. La variedad empleada fue Helen. La densidad de siembra fue de 80.000 plantas ha⁻¹, siendo maíz el cultivo precedente. En todas las parcelas se aplicaron en fondo 150 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 250 kg K₂O ha⁻¹, para eliminar los posibles efectos limitantes de estos elementos. El

Visión general del ensayo.



Cuadro II.

Rendimiento de maíz grano (kg ha⁻¹, 14% de humedad) durante las campañas 2006 y 2007, en función del tipo de abono: NA (nitrato amónico), NSA (nitrosulfato amónico), urea (urea recubierta con ESN), NPK con DCD y NPK con DMPP.

Dosis N kg ha ⁻¹	NA			NSA			UREA			NPK-DCD			NPK-DMPP			Media general
	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media	
0	10.815	10.036	10.426	10.815	10.036	10.426	10.815	10.036	10.426	10.815	10.036	10.426	10.815	10.036	10.426	10.426 c
100	11.333	12.977	12.155	12.236	11.502	11.869	11.286	11.820	11.553	12.257	12.986	12.622	12.110	13.289	12.700	12.180 b
200	12.087	13.741	12.914	11.950	13.521	12.736	12.934	13.589	13.262	11.862	14.690	13.276	12.300	12.871	12.586	12.955 ab
300	12.504	13.923	13.214	12.556	14.276	13.416	12.952	14.225	13.589	12.417	14.204	13.311	12.232	13.222	12.727	13.251 a
Media	11.975	13.547	12.177	12.247	13.100	12.112	12.391	13.211	12.207	12.179	13.960	12.408	12.214	13.127	12.109	12.203
ANOVA																
Año (A)										ns						
Error a										-						
Dosis N (N)										**						
N*A										*						
Error b										-						
Fertilizante (F)										ns						
F*A										ns						
F*N										ns						
F*N*A										ns						
Error c										-						

CV: 8%. ***, significativo con un nivel de significación de p=0,05 y p=0,01 respectivamente; ns, no significativo.

Medias, análisis de la varianza y test LSD (dos letras iguales indican que no hay diferencias significativas). LSD: mínima diferencia significativa. CV: coeficiente de variación.

Cuadro I.

Abonos nitrogenados y proporción de abono en cada momento de aplicación.

Tipo de abono	Abrev.	Grado	Fondo	Manejo	
				Cobertera 1	Cobertera 2
Nitrato amónico	NA	33,5-0-0	1/3	1/3	1/3
Nitrosulfato amónico	NSA	26-0-0	1/3	1/3	1/3
Urea recubierta ESN	UREA	43-0-0	1/3	2/3	-
NPK con DCD	NPK-DCD	20-12-8	3/3	-	-
NPK con DMPP	NPK-DMPP	24-8-7	3/3	-	-
Testigo	0	0-0-0	-	-	-
Cobertera 1: Estado del maíz V ₂₋₃			Cobertera 2: Estado del maíz V ₅₋₆		

sistema de riego empleado fue por aspersión y se procuró en todo momento cubrir las necesidades hídricas del cultivo (700 mm por campaña, aproximadamente). El agua de riego era de buena calidad y sin contenido apreciable de nitratos (< 5 ppm). El manejo del cultivo se realizó siguiendo las prácticas habituales de los agricultores de la zona.

Se determinaron el rendimiento en grano (14% humedad), producción de forraje en madurez fisiológica, contenido de N de la planta y del grano y extracciones de N de la planta. La cosecha se efectuó en los primeros días de octubre y se cosecharon 25 m². Además después de la cosecha, se determinó el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo (nitrógeno nítrico: N-NO₃⁻ y nitrógeno amoniacal: N-NH₄⁺).

Resultados

Rendimiento de grano de maíz

El **cuadro II** presenta el rendimiento (grano) de maíz para los cinco tipos de fertilizantes nitrogenados comparados.

Se observaron diferencias significativas de rendimiento al comparar entre dosis de N. El año 2006 se caracterizó por rendimientos medios normales en la zona (12.201 kg ha⁻¹) y los máximos rendimientos se alcanzaron con 100 kg N ha⁻¹. Por su parte, en la campaña 2007, las producciones medias fueron altas (13.180 kg ha⁻¹), necesiéndose 200 kg N ha⁻¹ para maximizar la producción. Los mayores rendimientos del año 2007, pudieron deberse a mejores condiciones climáticas (temperaturas moderadas durante el llenado de grano), a una mayor fertili-

Cuadro III.

N-NO₃⁻ residual en el perfil (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) de las campañas 2006 y 2007, en función del tipo de abono: NA (nitrato amónico), NSA (nitrosulfato amónico), urea (urea recubierta con ESN).

Dosis N kg ha ⁻¹	NA			NSA			UREA			NPK-DCD			NPK-DMPP			Media general	
	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media	2006	2007	Media		
0	79	263	171	79	263	171	79	263	171	79	263	171	79	263	171	171 c	
100	99	471	285	100	254	177	84	587	336	79	505	292	116	391	254	269 cb	
200	258	626	442	132	603	368	137	713	425	124	543	334	91	431	261	366 b	
300	288	751	520	292	945	619	132	1037	585	131	852	492	207	483	345	512 a	
Media	215	616	416 a	175	601	388 ab	118	779	448 a	111	633	372 ab	138	435	287 b	329	
ANOVA																	
Año (A)																	**
Error a																	-
Dosis N (N)																	**
N*A																	**
Error b																	-
Fertilizante (F)																	*
F*A																	**
F*N																	ns
F*N*A																	ns
Error c																	-

CV: 47%. *, ** significativo con un nivel de significancia de p=0,05 y p=0,01 respectivamente. ns, no significativo. LSD F: 103 kg ha⁻¹; LSD N: 123 kg ha⁻¹. Medias, análisis de la varianza y test LSD (dos letras iguales indican que no hay diferencias significativas). LSD: mínima diferencia significativa. Profundidad del perfil: 2006 = 60 cm; 2007 = 90 cm.

dad de la parcela de este año y a una elevada cantidad de N mineral presente inicialmente en el suelo (> 300 kg N ha⁻¹).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas de rendimiento de grano al comparar entre los cinco tipos de abonos. Esto sugiere que los cinco fertilizantes estudiados son equivalentes en la producción de grano, con los sistemas y momentos de aplicación empleados. Estos resultados coinciden en líneas generales con los obtenidos en España por otros investigadores (Maturano, 2006; Lasa et al., 2004; ITGA Navarra, comunicación personal; Muñoz et al., 2007).

Experimentos similares llevados a cabo en Wisconsin (EE.UU.), Motavalli et al., (2006) concluyeron que el uso de urea recubierta ESN no incrementó significativamente los rendimientos de maíz, respecto a la urea convencional.

El hecho que los fertilizantes complejos utilizados (NPK con DCD y

dependientemente del tipo de abono, se obtuvieron con 200 kg N ha⁻¹. No se detectaron diferencias significativas de biomasa (producción de forraje) entre los cinco fertilizantes estudiados. Valores medios de las dos campañas fueron los siguientes: NA=28.100, NSA=26.700, urea=26.900, NPK con DCD=28.100 y DMPP=25.600 kg ha⁻¹. Todo parece indicar que los abonos ensayados son equivalentes en producción de forraje, con los sistemas y momentos de aplicación empleados. Estos resultados coinciden con otros estudios realizados en España (Muñoz et al., 2007; ITGA, comunicación personal).

Los contenidos de N en planta entera durante las campañas 2006 y 2007 resultaron similares entre los abonos comparados, y acordes con los obtenidos en ensayos de la misma zona (Berenguer et al., 2008). El contenido medio de N fue de 1,17%, equivalente a un contenido medio de proteína bruta de 7,31%. No se encontraron diferencias

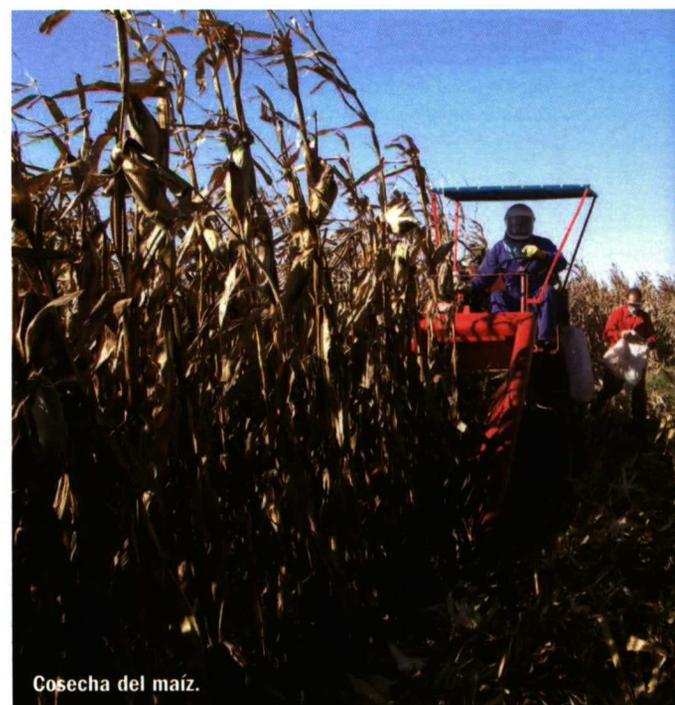
DMPP) no incrementarían el rendimiento del maíz, a pesar de poseer en su composición otros macroelementos además de N, podría deberse a que estos elementos no eran limitantes ya que se habían aportado antes de comenzar el ensayo (P=32 ppm y K=215 ppm) y a que el efecto del inhibidor no parece mejorar la asimilación de nitrógeno por parte del cultivo, al menos en las condiciones de cultivo ensayadas.

Producción de forraje, contenido de N y extracciones de N del maíz

Las máximas producciones de forraje, in-



Cultivo de maíz en prefloración.



Cosecha del maíz.

significativas de contenido de N en planta al comparar entre los cinco tipos de abono. Esto sugiere que los abonos ensayados son equivalentes en contenido de N en planta, con los sistemas y momentos de aplicación empleados.

Respecto a las extracciones de N de la planta, no se detectaron diferencias significativas entre los cinco abonos comparados. Los valores medios de las dos campañas fueron: NA = 331 kg N ha⁻¹, NSA = 318 kg N ha⁻¹, urea = 317 kg N ha⁻¹, NPK con DCD = 323 kg N ha⁻¹ y DMPP = 292 kg N ha⁻¹. Estos niveles de extracciones son semejantes a los obtenidos en ensayos de la zona (Berenguer *et al.*, 2006). Los cinco fertilizantes evaluados son equivalentes en extracciones de N, con los sistemas y momentos de aplicación empleados.

En cuanto al contenido de N del grano, tampoco se hallaron diferencias significativas al comparar los diferentes tipos de fertilizantes. Los valores medios de las dos campañas fueron: NSA=1,42%, urea=1,40%, NA=1,39%, NPK con DCD=1,37% y DMPP=1,34%. El contenido medio de N del año 2006 fue de 1,24%, mientras que el del año 2007 fue de 1,52%. Esto equivale a un contenido medio de proteína bruta de 7,75% y 9,5% respectivamente. Estos valores son semejantes a los obtenidos por Berenguer *et al.* (2008) para la zona. De un modo similar, Lasa *et al.*, (2004) encontraron que el DMPP fue el abono que presentó menor cantidad de N en el grano.

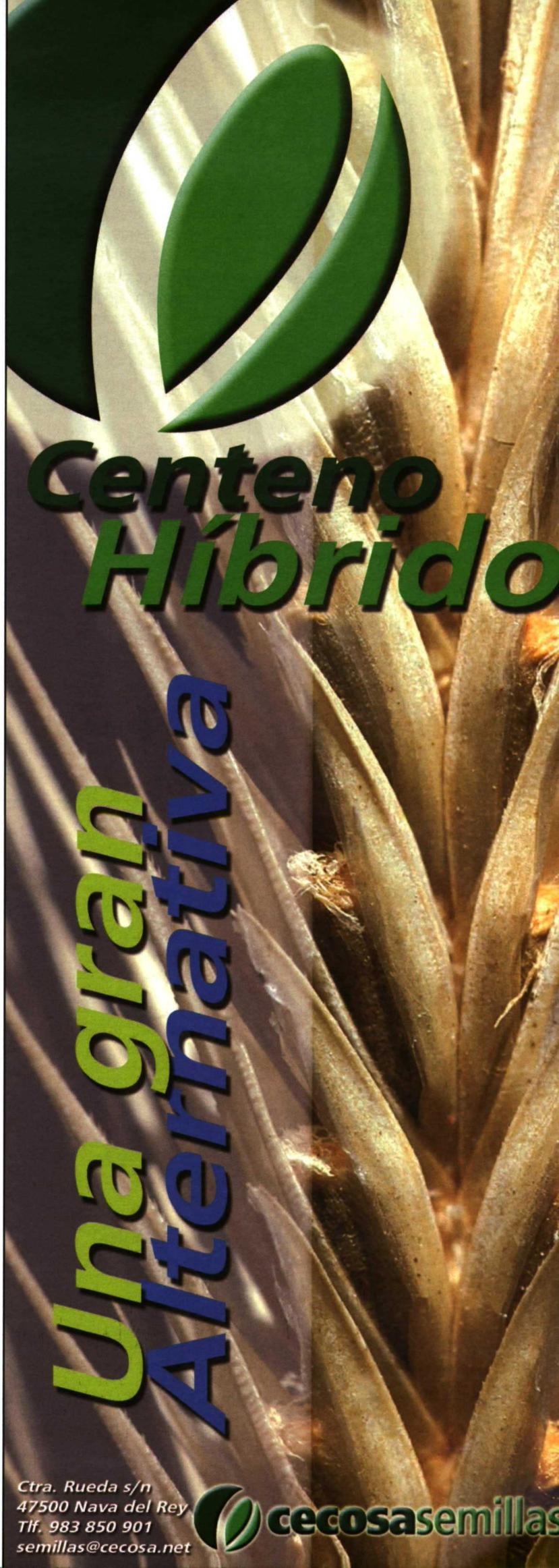
Nitrógeno residual del suelo

El cuadro III presenta el nitrógeno residual (N-NO₃) en el suelo después de la cosecha del maíz. La cantidad de N varió significativamente entre los dos años, presentando en 2007 los mayores valores. Posiblemente debido a la mayor cantidad de N en el suelo, al inicio del ensayo en este año por la mayor fertilidad de la parcela de este año. Como era de esperar, los mayores valores de N residual se observaron en las parcelas abonadas con las dosis más altas, 300 kg N ha⁻¹.

Al comparar los tipos de abono, se encontraron diferencias significativas de N residual después de la cosecha. El nitrato amónico (NA) y el nitrosulfato amónico (NSA) presentaron los mayores valores de N residual en las dos campañas. El NPK con DCD y la urea recubierta con ESN presentaron valores altos o bajos según la campaña, mientras que el DMPP, en cambio, presentó los valores más bajos de N residual en ambas campañas. La tendencia que se observa es que los fertilizantes aplicados de fondo en su totalidad (NPK con DCD y DMPP) mostraron bajas cantidades de N residual después de la cosecha. En cambio, los abonos aplicados en dos coberturas (NA y NSA) presentaron valores más altos de N residual que los anteriores. Como las extracciones de N de la planta fueron similares entre todos los tipos de abono, una mayor proporción de N aplicado pudo haberse perdido durante el ciclo del cultivo en el caso del NPK con DCD y DMPP. Estos resultados sugieren, como mencionan otros autores (Bundy, 1986), que el fraccionamiento del N mineral mejora la eficiencia del uso del abono y disminuye las pérdidas de N.

Respecto al contenido de amonio del suelo después de la cosecha, los valores fueron bajos (3,5 kg N-NH₄⁺ ha⁻¹ de media) y no se encontraron diferencias significativas, ni entre tipos de abono, ni entre dosis de N.

En este ensayo se optó por aplicar un tipo de fraccionamiento del N frecuente entre los agricultores, ya que los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación se aportan con una sola aplicación (en fondo, antes de la siembra) mientras que los demás se aplican también una parte en cobertura. Con los tratamientos establecidos en este ensayo,



Centeno Híbrido

Una gran
Alternativa

Ctra. Rueda s/n
47500 Nava del Rey
Tlf. 983 850 901
semillas@cecosa.net



no se puede distinguir con claridad si las mayores pérdidas de N son debidas al tipo de abono o al fraccionamiento. De todas maneras, parece quedar claro que los abonos con inhibidores de la nitrificación no disminuyeron las pérdidas de N respecto a los demás comparados. Este hecho puede deberse a que las altas temperaturas reducen mucho la efectividad tanto del DCD como del DMPP (Irigoyen *et al.*, 2003). Como el maíz es un cultivo estival, las temperaturas podrían haber influido seguramente en la baja efectividad de estos abonados con inhibidores de la nitrificación. Este hecho fue también observado por Lasa *et al.*, (2004) en Navarra.

Los resultados que aquí se presentan pueden tener dos lecturas. La primera es que los abonos con inhibidores de la nitrificación, que tienen un precio muy superior al resto de abonos ensayados, no incrementaron el rendimiento de maíz, ni disminuyeron las pérdidas de N respecto al nitrato amónico (NA) y nitrosulfato amónico (NSA). Por otra parte hay que considerar que estos abonos se aplicaron en fondo, sin necesidad de fraccionarlos, con el consiguiente ahorro de combustible y mano de obra.

Conclusiones

No se encontraron diferencias de producción de maíz (grano, biomasa, porcentaje de N en planta y grano y extracciones de N de planta) entre nitrato amónico, nitrosulfato amónico, urea recubierta con ESN, NPK con DCD y NPK con DMPP. Estos resultados sugieren que los cinco fertilizantes presentan comportamientos similares, con los sistemas y momentos de aplicación empleados. Por lo tanto, su utilización

en el cultivo del maíz depende de las ventajas e inconvenientes económicos y de manejo de cada uno de ellos.

Se encontraron diferencias significativas de nitrógeno residual en el suelo entre los tratamientos nitrogenados ensayados. El nitrato amónico (NA) y el nitrosulfato amónico (NSA) fueron los abonos que dejaron más N residual en el suelo, mientras que el DMPP presentó los menores valores y la urea recubierta con ESN y el NPK con DCD presentaron valores altos o bajos de N residual según la campaña. Estos resultados sugieren que el N residual está muy influenciado por el modo de aplicación y que la aplicación en cobertera permitiría un mejor aprovechamiento del N por parte de la planta y una disminución de las pérdidas de N. Además, como las extracciones de N por la planta fueron similares, una mayor proporción de N aplicado pudo haberse perdido durante el ciclo del cultivo en el caso del NPK con DCD y DMPP. Estos resultados sugieren que el fraccionamiento del N mineral mejora la eficiencia de uso del abono y disminuye las pérdidas de N. ■

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de un convenio de colaboración entre en Centro Universitat de Lleida (UdL) -IRTA y Fertiberia. Se agradece a P. García-Serrano, del Departamento técnico de Fertiberia, su estrecha colaboración en la realización de los ensayos. El producto comercial NPK-DMPP que ha sido utilizado en los ensayos es Entec.

Bibliografía

- ANFFE. 2008. Desarrollo del Mercado de los Fertilizantes en España. Quinquenio 2003-2007. Asociación Nacional de Fertilizantes. Madrid.
- Barth, G., von Tucher, S., Schmidhalter, U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. *Biol Fertil Soils* 34:98-102
- Berenguer, P., Santiveri, F., Boixadera, J., Lloveras, J. 2008. Fertilisation of Irrigated Maize with Pig Slurry combined with Mineral Nitrogen. *European Journal of Agronomy* 28: 635-645.
- Bundy, L.G. 1986. Review. Timing nitrogen applications to maximize fertilizer efficiency and crop response in conventional corn production. *J. Fert. Issues* 3:99-106.
- Irigoyen, I., Muro, J., Azpilikueta, M., Aparicio-Tejo, P., Lamsfus, C. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at various temperatures. *Australian Journal of Soil Research*. 41:1177-1183.
- Lasa, B., Irañeta, I., Irigoyen, I., Galarza, R., Aparicio-Tejo, P., Lamfus, C. 2004. Effect of urea and of others N-sources on yield, nitrate leaching and grain 15N isotopic composition in a corn crop. En: *nutrição mineral: causas e consequências da dependencia da fertilização*. Martins-Louçao, MA y Cruz, C. Eds. Faculdade de Ciências da Universidades de Lisboa pp 87-91.
- Maturano, M. 2006. La gestión integral del N en la agricultura: aplicación del método del balance nitrogenado para la recomendación de la fertilización. En: *Symposium: los retos a la agricultura del siglo XXI. 7 y 8 de noviembre de 2006*. Albacete.
- Motavalli, P., Nelson, K., Anderson, S., Sadler, J. 2006. Use of Slow-Release N Fertilizer to Control Nitrogen Losses Due to Spatial and Climatic Differences in Soil Moisture Conditions and Drainage. *Agronomy Miscellaneous Publ.* 06-01. University of Missouri. pp 28-35.
- Muñoz Guerra, L.M., Díez, J.A., López Querol, A., Pérez, M.A., Sánchez, M. 2007. Fertilización nitrogenada de cultivos extensivos con abonos estabilizados con el inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP). *Tierras de Castilla y León* 139:84-90.
- Perez-Berges, M. 2007. No solo es importante saber cuánto hay que abonar, sino también cuándo hay que aportarlo y qué producto utilizar. *Tierras de Castilla y León* 139:62-78.
- Sisquella, M., Lloveras, J., Álvaro, J., Santiveri, P., Cantero, C. 2004. Técnicas de cultivo para la producción de trigo, maíz y alfalfa en los regadíos del valle del Ebro. *Fundación Catalana de Cooperació*. Lleida, 105 pp.

BIO Córdoba 2008



**XIII feria de alimentación ecológica
25-27 de Septiembre**

Pabellón Cajasur · Parque de Joyeros
Carretera Palma del Río, km 3

Secretaría Técnica

tel 955 059 808 · fax 955 059 911

www.biocordoba.com · info@biocordoba.com

La feria nacional del sector ecológico para profesionales

El próximo mes de septiembre abre sus puertas la única feria nacional para profesionales de la agricultura ecológica: **BioCórdoba 2008**. Una oportunidad excelente para tomar el pulso a un sector cada vez más dinámico, que evoluciona impulsado por una creciente demanda de mercado. Productores, distribuidores, especialistas y consumidores, representados por diversas asociaciones, se darán cita en los más de 12.000 m² de exhibición destinados para la feria.

**Te esperamos en el mayor centro
neurálgico del sector ecológico nacional**