

Nutrición nitrogenada de cereales utilizando abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP

Aplicación a maíz, trigo y cebada, en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos

En el presente artículo se efectúa una revisión de varios ensayos de fertilización efectuados por prestigiosos centros de investigación agraria sobre la utilización de fertilizantes con DMPP en cebada, trigo y maíz en diversas regiones españolas.

L. M. Muñoz-Guerra⁽¹⁾,
J. A. Díez⁽²⁾,
A. López Querol⁽³⁾,
M. A. Pérez⁽⁴⁾
y M. Sánchez⁽⁴⁾.

⁽¹⁾Departamento de Investigación y Desarrollo COMPO Agricultura.

⁽²⁾Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

⁽³⁾Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA-Lleida).

⁽⁴⁾Centro Tecnológico Agrario y Agroalimétrico de Castilla y León (Itagra.CT).

La optimización de la fertilización de los cultivos extensivos es una tarea fundamental para ajustar los costes productivos y para reducir la contaminación de origen agrario, especialmente en lo que al nitrógeno se refiere. Actualmente las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos están en constante aumento debido a la inadecuada gestión del nitrógeno en el medio agrario y ganadero. En consecuencia, tan-

to la Unión Europea como los Gobiernos nacional y autonómicos han establecido en estas zonas una serie de normas restrictivas en lo que al uso del nitrógeno en la agricultura se refiere. El estudio de las pautas óptimas de fertilización, junto con el uso de abonos ecoeficientes, permitirá un avance significativo en este campo.

Dentro de este tipo de abonos destacan aquéllos que contienen los inhibidores de la nitrifi-

cación. Estas moléculas inhiben la acción de las bacterias nitrificantes, ralentizando la transformación en el suelo del NH_4^+ en NO_2^- y, finalmente, en NO_3^- (Bañuls *et al.*, 2000; Serna *et al.*, 2000; Trenkel, 1997). Varios compuestos derivados químicamente del pirazol tienen actividad inhibitoria de la nitrificación, destacando durante los años noventa la nitrapirina y la dicianidamida o DCD (Prasad y Power, 1995). Sin embargo, ambos pre-



Vista general del ensayo realizado por el IRTA-Lleida con trigo.

sentan inconvenientes de uso: el DCD sólo es eficiente a dosis altas, lo que encarece su uso, mientras que la nitrapirina debe ser usada mediante inyección en el suelo debido a su elevada capacidad de volatilización (Zerulla *et al.*, 2001). Como alternativa se desarrolló un nuevo inhibidor, el 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP), efectivo a dosis bajas y de alta persistencia en el suelo. El DMPP se une a la enzima amonio monooxigenasa (AMO), inhabilitándola definitivamente, por lo que hasta que la bacteria no desarrolla nuevas enzimas, queda paralizada su capacidad para transformar el NH_4^+ en NO_2^- (McCarty, 1999). La duración del efecto inhibitorio depende del sistema de cultivo y de las condiciones edafoclimáticas existentes (Barth *et al.*, 2001), pudiendo oscilar entre aproximadamente dieciséis semanas en cultivos extensivos y tres o cuatro semanas en intensivos fertirrigados. Esta inhibición temporal de la nitrificación proporciona a la planta una nutrición mixta amonio-nitrato, ventajosa en aspectos energéticos, hormonales y nutricionales (Iriyoyen *et al.*, 2003; Hähndel y Zerulla, 2001), reduciéndose además las pérdidas de nitrógeno por lixiviación de nitratos y por desnitrificación (Linzmeier *et al.*, 2001) y con ello el posible impacto ambiental de la fertilización nitrogenada. Debido a este efecto positivo en el control de la contaminación nitrogenada, actualmente los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación se recomiendan en zonas con especial riesgo de pérdidas de nitrato por lixiviación, dentro de los programas de actuación para las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de Comunidades como la Andalucía, Castilla-La Mancha o Extremadura.

Ensayos con trigo realizados con el IRTA-Lleida

El Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de

Cataluña (IRTA) en su centro de Lleida realizó durante las campañas 2002-2003 y 2003-2004 sendos ensayos de fertilización en trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.) en las localidades de Solsona (Lleida) y Calaf (Barcelona). El ensayo constaba de siete tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento (**cuadro I**) distribuidas en bloques al azar (**figura 1**). Las parcelas experimentales tienen unas dimensiones de 3 x 10 m. La variedad del trigo fue Soisson. La siembra se realizó en la primera semana de noviembre y se recolectó en el inicio de julio. En el cultivo se controlaba la producción final, los componentes del rendimiento (espigas/m², granos/espiga y peso/hectolitro), el contenido de humedad y el de proteína.

Los ensayos realizados en trigo aportaron interesantes respuestas a los distintos tratamientos comparados. En la **figura 1a** se muestran los resultados referentes a la producción en la campaña 2002-2003. Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos en que se aplicaron los fertilizantes con el inhibidor de la nitrificación DMPP en una única dosis aplicada en fondo (T3 y T4), no observándose diferencias estadísticamente significativas entre las dos dosis comparadas. Ambos tratamientos mejoraron la producción en comparación con la fertilización con abonos convencionales (8-15-15 y urea). En esa misma campaña los tratamientos con una sola aplicación de abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP en postsiembra (T5 y T6) y el que lo fraccionaba en dos aportes (T7) produjeron rendimientos ligeramente menores, aunque en general por encima del abonado convencional. La **figura 1b** muestra los resultados obtenidos en la campaña 2003-2004 para el mismo cultivo pero en el término municipal de Calaf. En esta campaña sólo se produjeron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos abonados y el testigo. Los tratamien-

CUADRO I.

TRATAMIENTOS COMPARADOS EN EL ENSAYO REALIZADO POR EL IRTA EN SOLSONA Y CALAF.

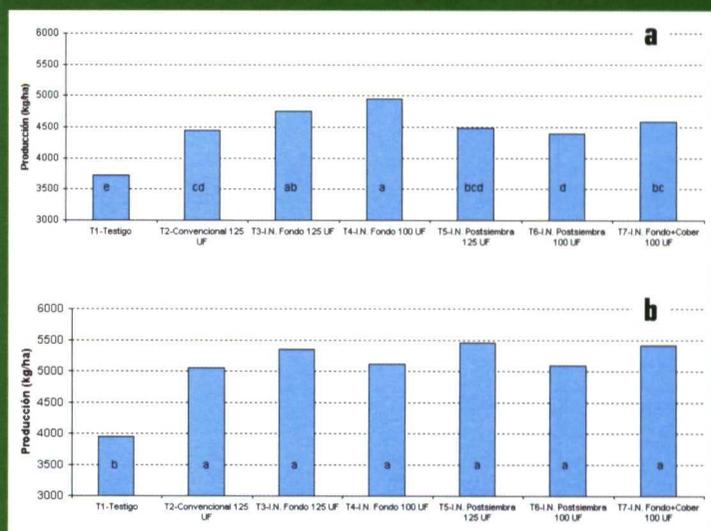
Tratamiento	Dosis de N en kg·ha ⁻¹			Tipo de Fertilizante	
	Fondo	Cobertera (2)	Total	Fórmula del fondo	Fórmula de la cobertera
T1. Testigo sin abono	-	-	-	-	-
T2. Abono NPK convencional	25	100	125	8-15-15	Urea
Tratamientos con abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP:					
T3. En fondo a dosis alta	125 (3)	-	125	18-8-13	-
T4. En fondo a dosis baja	100 (3)	-	100	18-8-13	-
T5. En postsiembra a dosis alta (1)	125 (3)	-	125	18-8-13	-
T6. En postsiembra a dosis baja (2)	100 (3)	-	100	18-8-13	-
T7. En fondo + cobertera (2)	50 (3)	50	100	18-8-13	26-0-0

(1) Aplicado antes del ahijado, cuando el cultivo presenta 2 ó 3 hojas verdaderas.
 (2) La cobertera se realiza con el cultivo con cuatro hojas, en marzo.
 (3) En la campaña 2003-2004 se utilizó el abono complejo 20-10-10 + DMPP a iguales dosis.

FIGURA 1.

Rendimiento del cultivo. Resultados del ensayo de fertilización en trigo realizado en Solsona y Calaf por el UdL-IRTA.

a) Campaña 2002-2003. b) Campaña 2003-2004.



Diferentes letras indican diferencias significativas con p ≤ 0,05.

tos con DMPP con mayor dosis de nitrógeno (T3 y T5) produjeron los mejores rendimientos. Del análisis de estos dos años de ensayos se concluye que el aporte en fondo o postsiembra de los abonos con DMPP originó un nitrógeno inicial valioso para el cultivo, suministrando además todo el nitrógeno necesario durante el resto del ciclo del cereal, con una mayor efectividad que el abonado convencional,

entendiendo ésta como la relación entre el N aportado y el rendimiento obtenido. La diferente respuesta de los dos años al abonado en fondo o en postsiembra es posible atribuirla a las diferencias en el nitrógeno mineral del suelo contenido al iniciar el cultivo y a las diferentes condiciones climáticas existentes.

El contenido de proteína en el grano es uno de los parámetros

CUADRO II.

CONTENIDO DE PROTEÍNA EN GRANO EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS COMPARADOS EN EL ENSAYO DE TRIGO REALIZADO POR EL CENTRO UDL-IRTA DE LLEIDA.

Tratamiento	Contenido de proteína en grano (%)	
	2002/03	2003/04
T1. Testigo sin abono	10,9 e	11,1 b
T2. Tradicional	11,5 d	12,0 b
Tratamientos con abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP:		
T3. En fondo a dosis alta	13,0 ab	12,0 b
T4. En fondo a dosis baja	12,6 bc	10,9 b
T5. En postsiembra a dosis alta ⁽¹⁾	13,2 a	13,9 a
T6. En postsiembra a dosis baja ⁽²⁾	12,8 abc	12,0 b
T7. En fondo + cobertera ⁽²⁾	12,5 c	12,2 b

Diferentes letras indican diferencias significativas con $p \leq 0,05$.

⁽¹⁾ Aplicado antes del ahijado, cuando el cultivo presenta 2 ó 3 hojas verdaderas.
⁽²⁾ La cobertera se realiza con el cultivo con cuatro hojas, en marzo.

CUADRO III.

TRATAMIENTOS COMPARADOS EN EL ENSAYO REALIZADO POR EL ITAGRA EN TORQUEMADA (PALENCIA) DURANTE LA CAMPAÑA 2002-2003 Y EN VALORIA LA BUENA (VALLADOLID) EN LA CAMPAÑA 2003-2004.

Tratamiento	Dosis de N en kg·ha ⁻¹			Tipo de Fertilizante	
	Fondo	1ª cobertera	Total	Fertilizante fondo	Fertilización cobertera
T1. Testigo sin abono	-	-	-	-	-
T2. Tradicional D1	24	81	105	8-15-15	NAC 27
T3. Tradicional D2	32	95	127	8-15-15	NAC 27
Tratamientos con abonos con el inhibidor de la nitrificación DMPP:					
T4. En fondo a dosis baja	80	-	80	20-10-10	-
T5. En fondo a dosis alta	100	-	100	20-10-10	-
T6. Un mes tras siembra en dosis baja	80 ⁽¹⁾	-	80	20-10-10	-
T7. Un mes tras siembra en dosis alta	100 ⁽¹⁾	-	100	20-10-10	-
T8. Dos meses tras siembra en dosis baja	80 ⁽²⁾	-	80	20-10-10	-
T9. Dos meses tras siembra en dosis alta	100 ⁽²⁾	-	100	20-10-10	-

⁽¹⁾ Aplicado un mes después de la siembra.
⁽²⁾ Aplicado dos meses después de la siembra.

de calidad más relevantes y está muy condicionado por la dosis y el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada realizada. En las dos campañas y localizaciones la utilización de abonos estabilizados con DMPP incrementó este índice de calidad, tanto cuando se aplicó en postsiembra (T5 y T6) como cuando se hizo en fondo (T3 y T4), obteniéndose siempre mejoras estadísticamente significativas respecto al abonado convencional (**cuadro II**). El contenido de proteína en el trigo está muy influido por la disponibilidad de nitrógeno en el último tramo de su ciclo

de cultivo. En los tratamientos con fertilizantes con DMPP de fondo (aun haciéndose una única aplicación al inicio del cultivo) la disponibilidad en la fase final del nitrógeno fue suficiente como para dar una mayor producción con un mayor contenido de proteína que el tratamiento fertilizado con abonos convencionales, pese a que en este último en marzo se aportaba una cobertera de 100 UF de nitrógeno. Dentro de los tratamientos con DNP, en todos los casos al incrementar el N aplicado, se produjo un aumento de la proteína en grano.

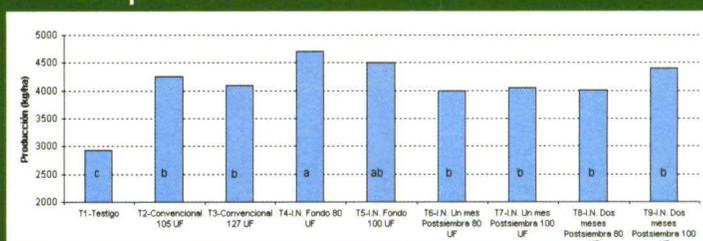
Ensayos con cebada y trigo del Itagra en Palencia y Valladolid

En la localidad de Torquemada (Palencia), el Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario de Castilla y León (Itagra.CT) realizó en la campaña 2002-2003 un ensayo para la optimización de la fertilización nitrogenada en cebada (*Hordeum vulgare* L.) cv Graphic y trigo (*Triticum aestivum* L.) cv Tigre. Se trata de un diseño de bloques al azar, con nueve tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. La parcela elemental fue de 1,20 m de anchura por 15 de largo, con una densidad de siembra de aproximadamente 150 kg de semilla·ha⁻¹. El ensayo se repitió durante la campaña 2003-2004 en la localidad de Valoria la Buena (Valladolid), con idénticos tratamientos. Los trata-

mientos comparados se detallan en el **cuadro III**. En ambos ensayos se midió la producción de cada una de las parcelas, el peso específico de la cebada y del trigo y su contenido de humedad y proteína.

Los distintos fertilizantes comparados causaron diferencias importantes en el rendimiento de la cebada (**figura 2**). Desde un punto de vista productivo, los tratamientos más interesantes fueron aquéllos que aplicaban en fondo un abono que incorporaba el inhibidor de la nitrificación DMPP (T4 y T5), con incrementos estadísticamente significativos de más del 11% respecto al convencional, incluso aplicando menor cantidad global de nitrógeno. Los aportes en postsiembra, aun con contribuciones de N menores, mantuvieron similares rendimientos a la fertilización convencio-

FIGURA 2. Resultados del ensayo de fertilización en cebada, realizado en Torquemada (Palencia) por el Itagra en la campaña 2002-2003.



Diferentes letras indican diferencias significativas con $p \leq 0,01$.

FIGURA 3. Concentración de nitrato en la disolución del suelo a 140 cm de profundidad. Ensayo de maíz realizado por el CSIC en la finca La Poveda (Arganda del Rey, Madrid) durante los años 2002 y 2003.



Lovit®

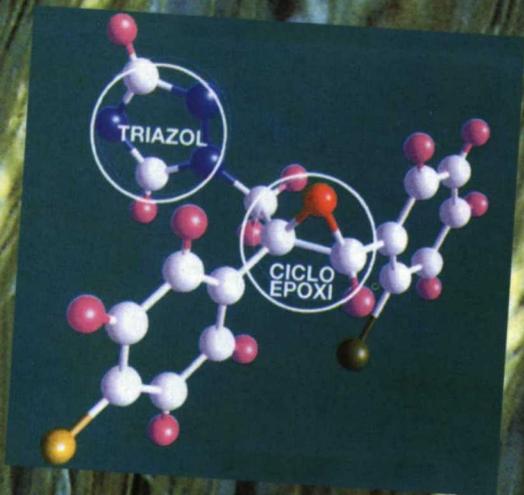
Protege a su cereal de enfermedades fúngicas, incrementando su rendimiento.

Fungicida líder en Europa.

Agricultural Products

 **BASF**
The Chemical Company

BASF Española S.A.
Can Rabia, 3-5
08017 Barcelona
Tel. Dpto. Técnico: 95 428 16 60
mail: basfagro.basfesa@basf.com
www.agro.basf.es



CUADRO IV.

TRATAMIENTOS COMPARADOS EN EL ENSAYO REALIZADO POR EL CCMA-CSIC EN MAÍZ. EN TODOS LOS TRATAMIENTOS LA UREA SE APLICÓ EN COBERTERA A PRIMEROS DE JUNIO DE AMBAS CAMPAÑAS.

Tratamiento	Dosis de N (kg·ha ⁻¹)
T1. Control	0
T2. Urea dosis óptima	130
T3. Urea dosis óptima + DMPP	130 + DMPP (1%)
T4. Urea dosis alta	170
T5. Urea dosis alta + DMPP	170 + DMPP (1%)

nal. Los resultados parecen indicar que el aporte en fondo de nitrógeno fue importante para el posterior desarrollo del cultivo, especialmente cuando este nitrógeno se aportó como amonio estabilizado con DMPP (T4 y T5). En este ensayo el contenido de proteína se vio poco afectado por los distintos tratamientos comparados. En el ensayo realizado en trigo los resultados de producción siguieron tendencias similares a los obtenidos en el cultivo de cebada.

En la campaña 2003-2004 los resultados discreparon respecto a la anterior, debido posiblemente a que las condiciones edafoclimáticas y varietales fueron distintas. Los ensayos se llevaron a cabo en otra ubicación, Valoria la Buena (Valladolid), y las variedades fueron Soissons en trigo y Garbo en cebada. En esta segunda campaña de ensayos la variabilidad de resultados dentro de un mismo tratamiento fue muy alta; tanto en el ensayo de cebada como en el de trigo los coeficientes de variación estaban próximos al 14%, por lo que ni el tipo de abono, ni la dosis, ni la época de aplicación resultaron determinantes, no apareciendo diferencias estadísticamente significativas. Únicamente se detectó el aumento de la proteína total al incrementar el aporte de nitrógeno.

Ensayo con maíz del CSIC-Madrid

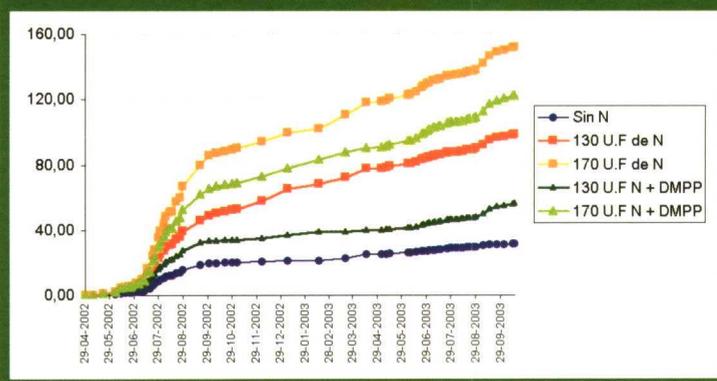
El último de los ensayos presentados fue realizado por el Centro de Ciencias Medioambientales del CSIC sobre un cul-

tivo de maíz. Se ubicó en la finca La Poveda (Arganda del Rey, Madrid), sobre un suelo franco arenoso, clasificado como *Typic Xerofluvent* (Soil Survey Staff, 1998). El ensayo duró dos años y en ambos se sembró el 16 de abril y se recolectó en noviembre con el grano ya maduro. La variedad elegida fue Dracma, ciclo 700, a una densidad de 90.000 plantas·ha⁻¹. Antes de la siembra se adicionan 100 kg·ha⁻¹ de sulfato potásico y 277 kg·ha⁻¹ de superfosfato 18%. Los tratamientos se especifican en el **cuadro IV**. En el ensayo se determinó la biomasa en la parte aérea, el índice de cosecha, la producción, la distribución del N en distintas zonas de la planta y la cantidad de nitrato lixiviado. Para esto último se usaron dos cañas de vacío por parcela (situadas a 140 cm de profundidad) y se dispuso de una instalación de Enviroscan para evaluar los contenidos de humedad, con sensores a 20, 40, 70, 120 y 150 cm de profundidad.

El maíz es un cultivo en el que habitualmente se realizan elevados aportes de abonos nitrogenados que, junto con el abundante riego aportado, suponen un riesgo elevado de pérdidas de nitrógeno y contaminación del medio. Para evitarlo, en este ensayo se estableció una dosis óptima de nitrógeno (considerando el N mineral y el mineralizado del suelo) de 130 kg·ha⁻¹ y una dosis alta de 170 kg·ha⁻¹. Además de ajustar al máximo el aporte de nitrógeno en dos de los tratamientos (T3 y T5), se adicionó a la urea el inhibidor de

FIGURA 4.

Nitrógeno lixiviado (en forma de NO₃⁻) acumulado a lo largo de los dos ciclos de cultivo para cada uno de los distintos tratamientos comparados en el ensayo del CSIC en Arganda del Rey (Madrid) con un cultivo de maíz.



la nitrificación DMPP.

Los análisis de suelo y de la disolución de drenaje demostraron que aun con una dosis optimizada de nitrógeno, se perdían importantes cantidades de este nutriente, en parte también facilitado por la textura arenosa del suelo. En la **figura 3** se muestra la concentración de nitratos en la disolución del suelo a una profundidad de 140 cm, donde éste ya no puede ser absorbido por el cultivo. Las concentraciones detectadas guardan relación directa con los aportes debidos a la fertilización; el testigo mantiene un nivel estable en torno a los 50 mg/l, mientras que los valores máximos los produce el tratamiento con elevado aporte de urea (T4) con valores alrededor de los 200 mg/l. Los tratamientos con DMPP reducen significativamente los nitratos en horizontes profundos del suelo y simultáneamente incrementan las concentraciones de amonio (datos no mostrados), debido a la ralentización temporal de la nitrificación del suelo. El uso del DMPP mantuvo el nitrógeno disponible para el cultivo de manera amoniacal, forma molecular con igual capacidad nutricional pero con mucho menor riesgo de pérdida por lixiviación en el suelo.

El nitrógeno lixiviado (**figura 4**) guardó relación directa con la

fertilización aportada y con la concentración de nitrato medida en zonas no accesibles para el cultivo (**figura 3**). La dosis óptima de urea (T2) disminuyó en un 40% las pérdidas de nitrato en comparación con la dosis alta (T4). Al incorporar además el DMPP a la urea, se produjeron reducciones de entre un 20% y un 40% en las pérdidas de N-NO₃⁻ para las dosis alta y baja respectivamente.

Además de los parámetros ambientales ya comentados, también se hizo un seguimiento detallado del crecimiento y producción del cultivo. No se encontraron diferencias importantes entre los distintos tratamientos; sin embargo se observa una tendencia similar en todos los datos: el aumento de la dosis de nitrógeno aportado y la inclusión del DMPP en el abonado incrementan ligeramente el nitrógeno exportado, la biomasa del cultivo y el rendimiento final, no observándose en ningún caso diferencias estadísticamente significativas.

Conclusiones

A la hora de proponer nuevas técnicas de fertilización, es necesario tener en cuenta tanto su viabilidad económica como su impacto sobre el medio ambien-

te. Los ensayos presentados muestran que la utilización de fertilizantes con el inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) en trigo y cebada ha incrementado significativamente la eficiencia de la fertilización nitrogenada, y en algunos casos también el contenido de proteína del grano. Los resultados en el maíz han sido similares, con una reducción de las pérdidas por lixiviación de entre un 20 y un 40%, manteniéndose similares los rendimientos en-

tre los tratamientos testados.

De estos resultados se puede concluir que la utilización de los inhibidores de la nitrificación incrementa la eficacia en el uso del nitrógeno en la fertilización, lo que permite reducir los aportes de nitrógeno y disminuir el potencial riesgo de contaminación debida a los nitratos. Ambas cuestiones hacen que el uso de este tipo de abonos sea muy interesante en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos. ■

Bibliografía

Bañuls J, Martín B, Monfort P y Legaz F 2000 mejora de la fertilización nitrogenada en el cultivo del tomate. *Agrícola Vergel*, octubre, 664-667.

Barth G, Tucher S y Schmidhalter U 2001 Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. *Biol Fert Soils* 34, 98-102.

Bruning-Fann C y Kaneene F 1993 The effects of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds on human health: a review. *Vet Human Toxicology* 35, 521-538.

Hähndel R y Zerulla W 2001 Effects of ammonium-stabilized N-Fertilizers on yield and quality of vegetables. *Acta Hort* 563, 81-86.

Irigoyen I, Muro J, Azpilikueta M, Aparicio P y Lamsfus C. 2003 Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMPP at different temperatures. *Australian Journal of Soil Research* 41, 1177-1183.

Kross B, Hallberg G, Brumer K, Cherryholmes K y Jonson J 1993 The nitrate contamination of private well water in Iowa. *Am J Public Health* 83, 270-272.

Linzmeier W, Gutser R y Schmidhalter U 2001 The new nitrification inhibitor DMPP (ENTEC®) allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies. In *Plant nutrition - Food security and sustainability of agroecosystems*. Ed W.J. Horst et al. 760-761. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

McCarty G.W. 1999. Models of action of nitrification inhibitors. *Biol. Fert. Soils* 29, 1-9.

Prasad R, Power J 1995 Nitrification inhibitors for agriculture, health and the environment. *Advances in Agronomy* 54, 233-281.

Serna M, Bañuls J, Quiñones A, Primo-Millo E y Legaz F 2000 Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus-cultivated soil. *Biol. Fert. Soils* 32, 41-46.

Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th edition. United States Department of Agriculture.

Trenkel M 1997 *Controlled Release and Stabilized Fertilizers*. International Fertilizer Industry Association, Paris, 106 pp.

Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, Horchler K, Pasda G, Rädle M y Wissemeyer A 2001 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol. Fert. Soils* 34, 79-84.



22 hectáreas de novedades y encuentros



■ Más de 1.375 expositores de 44 países

■ 200.000 visitantes esperados de 108 países

■ 2 espacios privilegiados

- Espacio Prácticas Adecuadas
- Espacio Agua / Riego

SIMA

SIMAGENA - SIMAVIP

MUNDIAL DE LOS PROVEEDORES DE LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA

Del 4 al 8 de marzo de 2007
Paris-Nord Villepinte - Francia

www.simaonline.com