

## Utilización de inhibidores de la nitrificación en el cultivo de maíz en suelos de alto potencial de lavado en regadíos de Aragón

Ramón Isla y Teresa González

Unidad de Suelos y Riegos. Centro de Investigación y tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Ap. 727, 50080, Zaragoza, España (risla@aragon.es)

*Trabajo presentado en el XI Simposio Ibérico sobre Nutrición mineral de las Plantas  
Pamplona 19-21 de Julio del 2006*

### Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cultivos de Aragón. Se trata de un cultivo con altas exigencias en nitrógeno, que son cubiertas principalmente mediante la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Trabajos de Isidoro (1999) y Causapé (2002) en los polígonos de riego de Violada y Bardenas respectivamente, señalan que la sobrefertilización de cultivos como el maíz y la baja eficiencia de los riegos por superficie son las principales causas de la contaminación por nitrato en las aguas superficiales de las zonas de regadío. Una parte importante de los suelos agrícolas de Aragón se encuentran sobre suelos pedregosos asociados generalmente a un horizonte petrocálcico localizado a una profundidad variable, denominados localmente como “sasos”. Estos suelos se caracterizan por su alto potencial de lavado de nitrato, debido a su textura y a su baja capacidad de retención de agua. Esta característica se acentúa cuando están asociados a sistemas de riego por inundación y a dosis altas de fertilizantes nitrogenados, debido a la baja eficiencia de estos sistemas de riego a nivel parcela. La utilización de fertilizantes con el inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP) se ha propuesto como una posible vía para reducir las pérdidas por lavado de nitrato (Zerulla et al., 2001). Los objetivos planteados en el presente estudio fueron: (1) evaluar, en condiciones controladas, el efecto del DMPP sobre la nitrificación en dos suelos típicos (saso y aluvial) de los regadíos de Aragón, y (2) comparar, en condiciones de campo de alto potencial de lavado, el efecto de la dosis y del tipo de fertilizante (con y sin inhibidor) sobre el lavado de nitrato, el estado nutricional del cultivo y el rendimiento de grano del cultivo del maíz.

### Materiales y Métodos

#### *Ensayo de Incubación*

El ensayo de incubación de suelos se realizó utilizando material de dos suelos típicos de los regadíos de Aragón: (1) suelos de alta pedregosidad, textura gruesa, baja capacidad de retención de agua y escasa profundidad denominados localmente “sasos” y (2) suelos aluviales de textura más fina y de espesor variable. Se pesaron 50 g de suelo seco que se introdujeron en botes de plástico de 250 cm<sup>3</sup>. A continuación se humedecieron con agua destilada hasta capacidad de campo (11 y 12 cm<sup>3</sup> para los suelos de saso y aluvial, respectivamente). Los tratamientos ensayados, además de los dos tipos de suelo, fueron los siguientes: (1) TC, control sin adición de fertilizante, (2) SA, adición de fertilizante sulfato amónico, y (3) SA+DMPP, adición de sulfato amónico con el inhibidor de la nitrificación DMPP. La dosis aplicada en los tratamientos 2 y 3 fue de 66 mg N kg<sup>-1</sup> de suelo. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres repeticiones. Los botes de incubación se cerraron con una tapa hermética para evitar la pérdida de humedad colocándose en cámara de incubación en oscuridad a 20°C. Cada dos días se abrían los botes de incubación para evitar procesos de desnitrificación. Se realizaron 9 muestreos a intervalos de 7 días en los que se extraían de la sala de incubación 18 botes y se guardaron inmediatamente en congelador a -15°C para posterior extracción y análisis. Una vez terminado el periodo de incubación, se extrajeron los botes del congelador y se dejaron durante 3 h a temperatura ambiente hasta la completa descongelación del suelo. Se realizó la extracción con 150 mL de solución de KCl 2N y posterior filtración para a continuación determinar las concentraciones de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por colorimetría utilizando un autoanalizador de flujo continuo segmentado (AA3 de Bran+Luebbe).

### *Ensayo de campo*

El ensayo se realizó en una parcela de cultivo localizada dentro de la Comunidad de regantes nºV del polígono de riegos de Bardenas (Zaragoza, Aragón), regada por inundación. El suelo de la misma denominado de “saso”, caracterizado por su escasa profundidad (no más de 60 cm), y elevada proporción de elementos gruesos. Las parcelas elementales eran bandas de una anchura de 10 m, coincidiendo con la anchura de banda de distribución de la abonadora convencional utilizada para la distribución de fertilizante, y de unos 200 m de longitud. El abonado de fondo se aplicó el 15 de mayo, y la cobertera el 24 de junio cuando el maíz tenía 10-12 hojas. Los tratamientos de nitrógeno establecidos se presentan en la Tabla 1. El resto de los nutrientes (P y K) se aplicaron igual en todos los tratamientos.

Tabla 1. Esquema de los tratamientos de fertilizante aplicados en el ensayo de campo

Tratamiento	Dosis Total kg N ha <sup>-1</sup>	Tipo <sup>1</sup>	Dosis Fondo kg N ha <sup>-1</sup>	Dosis Cobertera kg N ha <sup>-1</sup>
U500-2A	480	Urea	115	365
U300-2A	296	Urea	46	250
E300-2A	300	SA+DMPP	50	250
E300-1A	300	SA+DMPP	300	0

<sup>1</sup> SA+DMPP: sulfato amónico + DMPP

Se realizaron cuatro muestreos de suelo en cada parcela (13/04, 24/06, 5/08, y 4/11) para el análisis de amonio y nitrato, siendo el primer muestreo antes de la siembra y el último justo antes de la cosecha. También se realizaron medidas indirectas de clorofila en hoja en 5 fechas, utilizando un medidor SPAD Minolta 502 (Spectrum Technologies Inc.). El 16 de noviembre se cosecharon las parcelas y se midió la humedad del grano. Asimismo, en cada parcela elemental se tomaron cuatro plantas enteras para estimar la biomasa obtenida y la cantidad de nitrógeno extraído por el cultivo. Las muestras vegetales se secaron en estufa a 65°C hasta peso constante, se molieron y se determinó el contenido de nitrógeno total por combustión (LECO FP-528). El N extraído por el cultivo se obtuvo multiplicando la concentración de nitrógeno en cada una de las partes de la planta por la materia seca producida. Se estimó que el porcentaje de maíz contenido en las raíces era un 12,5% del N total extraído por el cultivo.

## **Resultados y Discusión**

### *Ensayo de incubación*

La Figura 1 muestra la evolución de las concentraciones de amonio y nitrato para los suelos de saso y aluvial y para los tres tratamientos fertilizantes ensayados. Se observó que para ambos tipos de suelo se produjo una nitrificación muy rápida en el tratamiento de SA, si bien el proceso parece ser algo más lento en el suelo aluvial frente al suelo de saso (7 frente a 14 días para un 100% de nitrificación del fertilizante amoniacal). Las condiciones en la incubación son óptimas para la descomposición microbiana, con una humedad del suelo a capacidad de campo y una temperatura suficientemente alta (20°). Dichas condiciones de temperatura de suelo en los suelos de los regadíos del valle Medio del Ebro se dan frecuentemente a partir del mes de mayo en la capa más superficial del suelo, donde se aplican los fertilizantes, lo que corrobora la idea comúnmente aceptada de que los fertilizantes amoniacales son de acción muy rápida aplicados al final de primavera o verano. La figura muestra un efecto muy marcado del tratamiento SA+DMPP, retrasando de forma muy significativa la nitrificación en comparación con el tratamiento SA en ambos tipos de suelo (saso y aluvial). Parece existir un efecto más acusado del DMPP en el suelo de aluvial frente al suelo de saso, aunque después de 42 días de incubación, todo el nitrógeno amoniacal procedente del fertilizante se había nitrificado. Las tasas de mineralización neta de ambos suelos (0,163 y 0,138 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) se obtuvieron a partir de la pendiente de la recta entre las concentraciones de nitrato entre los días 21 y 56 de la incubación, en el tratamiento control.

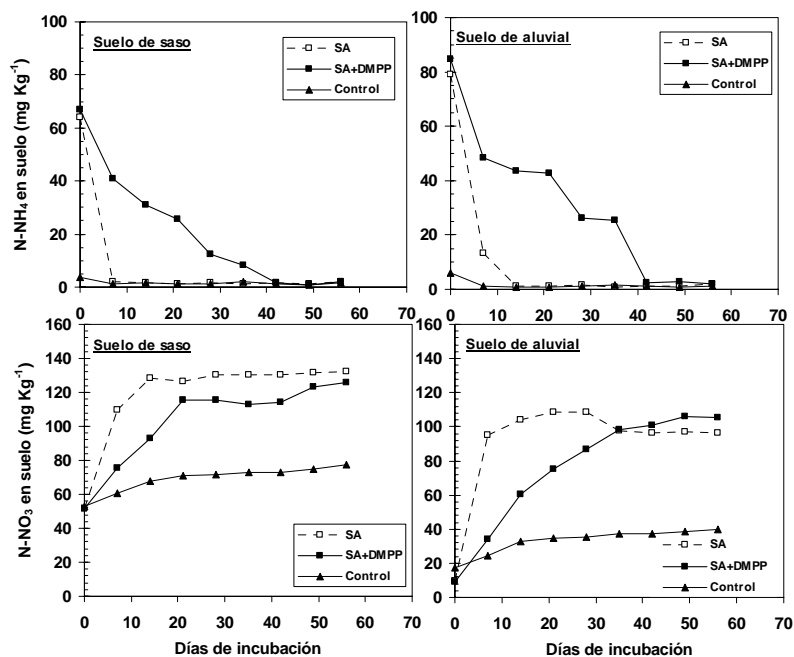


Figura 1. Evolución de las concentraciones de amonio ( $N-NH_4^+$ ) y nitrato ( $N-NO_3^-$ ) en el ensayo de incubación para los distintos tratamientos.

La escasa diferencia en la tasa de mineralización de ambos tipos de suelo es atribuible a similar contenido en materia orgánica (1,46 y 1,61% para saso y aluvial, respectivamente).

#### Ensayo de campo

La Figura 2A muestra la evolución de las lecturas de SPAD a lo largo de las 5 fechas de muestreo y para los cuatro tratamientos de fertilizante ensayados. En los dos primeros muestreos no existieron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en los valores de SPAD entre los distintos tratamientos fertilizantes. Sin embargo, a partir del tercer muestreo (14 jul, 88 días desde siembra) se encontraron diferencias significativas en las lecturas de SPAD, siendo el tratamiento E300-1A significativamente ( $P < 0,05$ ) más bajo que el resto de los tratamientos fertilizantes.

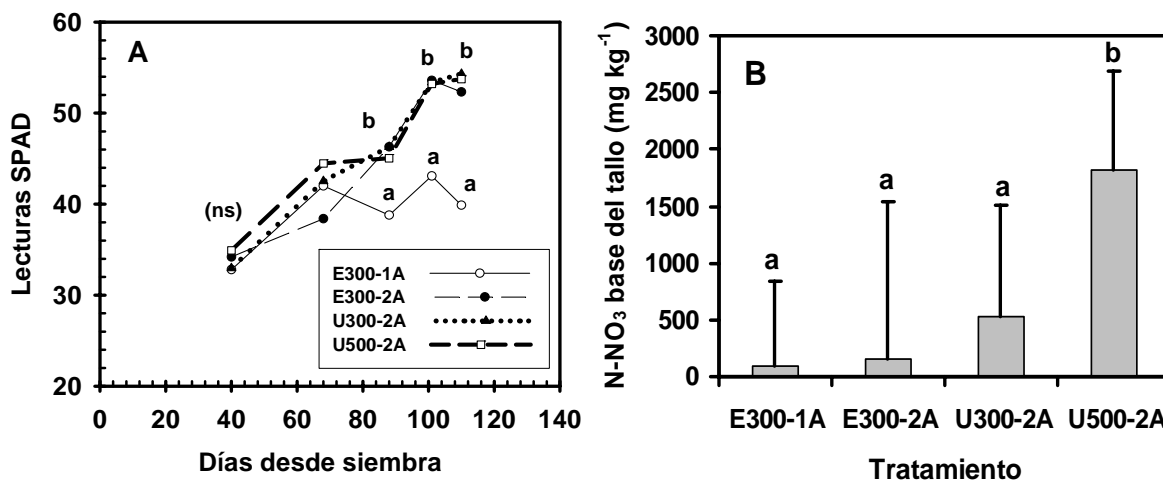


Figura 2. Evolución de las lecturas de SPAD (A) y concentraciones de nitrato ( $N-NO_3^-$ , mg Kg<sup>-1</sup>) en la base del tallo (B) en los distintos tratamientos establecidos.

No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre el resto de los tratamientos, lo que parece indicar un similar estado nutricional entre los tratamientos con y sin DMPP para una

misma dosis y fraccionamiento de fertilizante nitrogenado. Hay que destacar que las dosis más reducidas de fertilizante nitrogenado (300 kg N ha<sup>-1</sup>), no presentaron menores valores de clorofila en hoja que el tratamiento más elevado y equivalente a las dosis utilizadas frecuentemente por los productores de maíz de la zona donde se llevó a cabo el ensayo. Las menores lecturas de SPAD en el tratamiento E300-1A son consistentes con el menor valor de nitrato en la base del tallo (Fig. 2B) para dicho tratamiento (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=99 mg kg<sup>-1</sup>). Según el trabajo de Binford et al., (1992) los valores óptimos de N en tallo se encuentran entre 250 y 2000 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la base del tallo. No se encontraron diferencias significativas (P>0,05) en las concentraciones de amonio de los suelos entre los distintos tratamientos ensayados y en ninguna de las tres fechas de muestreo (datos no mostrados).

Tabla 2. Balance de N para el ensayo de 2004 hasta una profundidad de 60 cm.

Periodo: 13 abril – 4 noviembre	E300-1A	E300-2A	U300-2A	U500-2A
Nmin presiembra 2004	148	148	148	148
N mineralizado anual	71	71	71	71
N aportado riego + lluvia	2.2	2.2	2.2	2.2
Naplicado fertilizantes	300	300	300	500
<b>N TOTAL ENTRADAS (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>521</b>	<b>521</b>	<b>521</b>	<b>721</b>
N extraído cultivo	107±3	157±7	158±5	154±14
Nmin postcosecha 2004	49±11	67±9	100±3	136±53
<b>N LAVADO (kg N ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>365±7 B</b>	<b>297±11 A</b>	<b>263±8 A</b>	<b>432±40 C</b>
Rendimiento(kg ha <sup>-1</sup> )	6861±61 A	9425 ± 431 B	9003 ± 228 B	8208 ± 794 B

La realización del balance (Tabla 2) permite estimar las pérdidas de nitrógeno por lavado, obteniéndose las mayores pérdidas para los tratamientos U500-2A y E300-1A. Hay que señalar que las “pérdidas” por volatilización, desnitrificación y/o inmovilización se hayan incluidas en dicha estimación, por lo que pueden sobreestimar los valores reales. No se encontraron diferencias significativas en las pérdidas por lavado entre el tratamiento con urea y con fertilizante con DMPP, para una misma dosis total aplicada. El tratamiento con una única aplicación de fertilizante presentó un rendimiento de grano significativamente (P<0,05) menor, no existiendo diferencias significativas entre el resto de los tratamientos.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que los fertilizantes con DMPP, a pesar de su demostrado efecto sobre la nitrificación, no permiten reducir las pérdidas por lavado de nitratos en el cultivo del maíz en suelos de alto potencial de lavado como los ensayados en el presente estudio. Asimismo, el fraccionamiento y la reducción de la dosis total se plantean como herramientas válidas para reducir dichas pérdidas.

### Agradecimientos

A todo el personal de campo y laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos (CITA, Gobierno de Aragón). El trabajo fue financiado por el Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón.

### Bibliografía citada

Binford GD, Blackmer AM, and Meese BG. 1992. Optimal concentrations of nitrate in corstalks at maturity. *Agron. J.* 84: 881-887.

Causapé J. 2002. Repercusiones medioambientales de la agricultura sobre los recursos hídricos de la Comunidad de Regantes nº V de Bardenas (Zaragoza). Tesis Doctoral, Facultad de Geológicas, Universidad de Zaragoza.

Isidoro D., 1999. Impacto del regadío sobre la calidad de las aguas del Barranco de La Violada (Huesca): salinidad y nitratos. Tesis doctoral, Universitat de Lleida, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agraria, 267 p.

Zerulla W, Barth T, Dressel J, Erhardt K, Horchler von Locquenghien K, Pasda G, Rädle M, Wissemeyer AH. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils* 34: 79-84.