

Uso de fertilizantes con inhibidores microbianos como estrategia para mitigar la emisión de óxido nitroso en una rotación maíz-maíz-trigo

Noemí Mateo-Marín, Dolores Quílez, Mónica Guillén, Ramón Isla

Unidad de Suelos y Riegos (Unidad asociada a EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Gobierno de Aragón, Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza.

INTRODUCCIÓN

La gama de productos fertilizantes disponibles para el agricultor cada día es más amplia. Las empresas fertilizantes desarrollan nuevos productos con la máxima de incrementar la eficiencia del uso de nutrientes por parte de los cultivos, situación cada vez más demandada en el contexto actual de mayor conciencia social de los problemas asociados a la contaminación y al cambio climático. De este interés surgieron los *inhibidores microbianos* como aditivos para los fertilizantes y destinados a “mejorar la manera en que un abono libera un nutriente, ralentizando o impidiendo la actividad de grupos específicos de microorganismos o enzimas” según el nuevo Reglamento Europeo 2019/1009. Su actividad se centra en la estabilización del nitrógeno (N) en formas menos vulnerables a su pérdida. De este modo, los *inhibidores de la nitrificación* impiden temporalmente la oxidación del nitrógeno en forma de amonio a nitrito, frenando así la formación de nitrato, y los *inhibidores de la ureasa* la hidrólisis de la urea, ralentizando así la formación de amonio (Reglamento Europeo 2019/1009). Una transformación lenta del nitrógeno amoniacal a nitrato (inhibidor de la nitrificación) disminuye las emisiones de óxido nitroso (N_2O , potente gas de efecto invernadero) y el

Foto 1. Cámara estática cerrada empleada para el muestreo de gases de efecto invernadero.



- * Los inhibidores de la nitrificación impiden temporalmente la oxidación del nitrógeno (N) en forma de amonio a nitrito, frenando así la formación de nitrato, y los inhibidores de la ureasa frenan la hidrólisis de la urea
- * Una única aplicación de fertilizante con inhibidor (tanto inhibidor de la nitrificación como de la ureasa) permitió alcanzar rendimientos de maíz similares a los obtenidos tras una aplicación de urea convencional fraccionada en dos veces

riesgo de lavado de nitrato (Sanz-Cobena et al., 2017) y, consecuentemente, el de eutrofización de las aguas. Con el uso de los inhibidores de la ureasa el ob- ▶▶▶

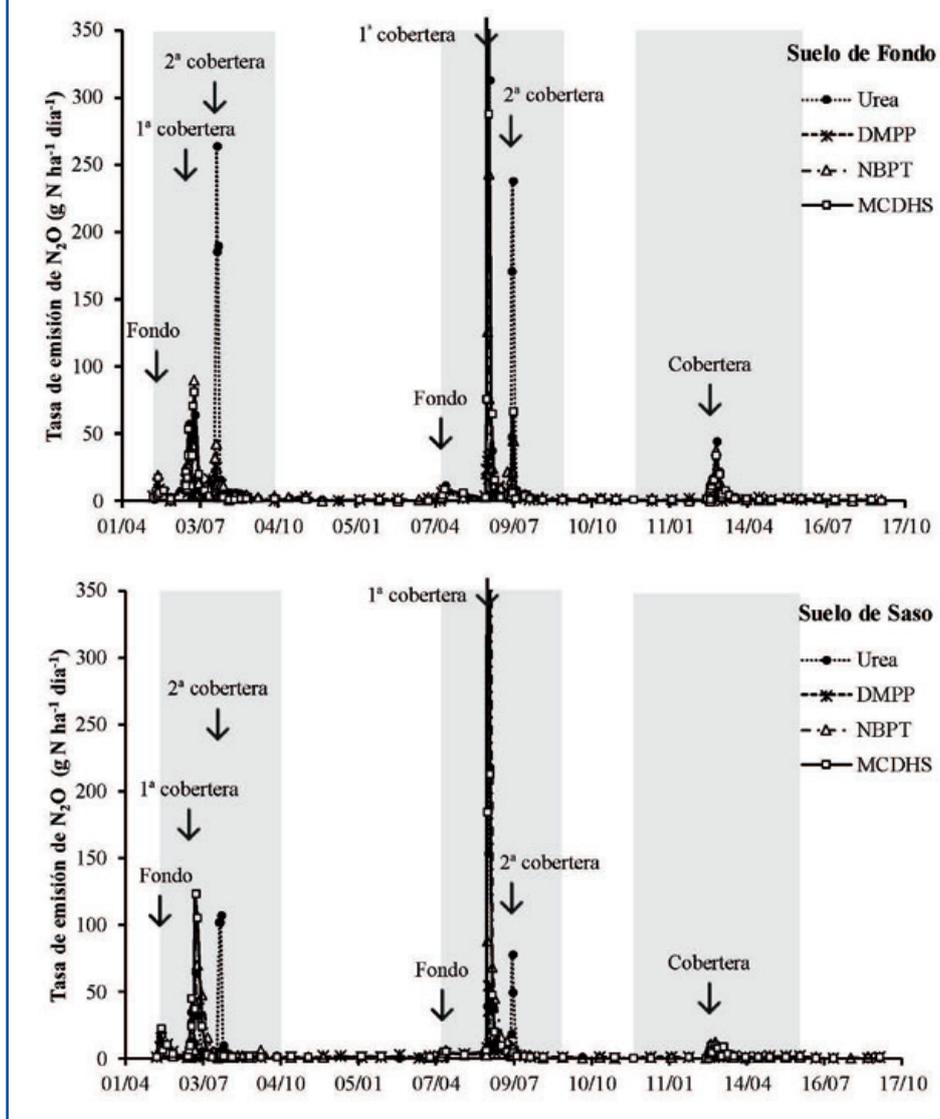
jetivo es reducir las emisiones de amoníaco, pues dicho gas se asocia a la acidificación y eutrofización de ecosistemas acuáticos, a emisiones indirectas de óxido nítrico (Sanz-Cobena et al., 2017), además de ser precursor de materia particulada de pequeño tamaño (menor de $2,5 \mu\text{m}$) muy dañina para el sistema respiratorio. En resumen, la ralentización del ciclo del nitrógeno por parte de los inhibidores busca sincronizar la transformación del nitrógeno de los abonos a la forma de nitrato (asimilable por las plantas) a las necesidades temporales de nitrógeno de los cultivos para evitar la pérdida de este nutriente al medio ambiente y conseguir así un uso más eficiente.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres inhibidores aplicados junto a urea en una rotación maíz-maíz-trigo en la reducción de las emisiones de óxido nítrico y en el rendimiento de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la estación lisimétrica de drenaje de la finca experimental del CITA (Montañana, Zaragoza) desde 2015 hasta 2017 en una rotación maíz-maíz-trigo. Se dispuso de 24 lisímetros de 5 m^2 con dos tipos de suelo propios de la zona. 12 lisímetros con un suelo poco profundo (50 cm) y pedregoso denominado como suelo de *saso*, y 12 lisímetros con un suelo profundo (120 cm) con baja pedregosidad denominado como suelo de *fondo*. Así, el suelo de *saso* tenía escasa capacidad de retención de agua disponible (64 mm) mientras que la capacidad de retención de agua del suelo de *fondo* era mucho mayor (223 mm). Las necesidades de riego de los cultivos se establecieron de acuerdo a la evapotranspiración de referencia Penman-Monteith y los coeficientes de cultivo ajustados para la zona de estudio.

Figura 1. Tasa de emisión de óxido nítrico ($\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) para cada tratamiento fertilizante, durante las tres campañas agrícolas y para los dos tipos de suelo. Las zonas sombreadas muestran el periodo comprendido entre siembra y cosecha. Las flechas muestran las aplicaciones de fertilizante.



Se evaluaron cuatro tratamientos fertilizantes: i) urea (Urea), ii) urea con inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP), iii) urea con inhibidor de la ureasa triamida N-(n-butyl) trifosfórica (NBPT), y iv) urea con inhibidor de la ureasa monocarbamida dihidrogenosulfato (MCDHS). En el maíz, el tratamiento Urea fue fraccionado en dos coberteras cuando las plantas tenían 6 y 13 hojas, mientras que los 3 tratamientos con inhibidores fueron aplicados en una única aplicación cuando el maíz tenía 6 hojas. En el trigo, todos los tratamientos fueron aplicados del mismo modo: una única aplicación al final del ahijado. Adicionalmente, en presiembra se aplicaron ▶▶▶

Suelo arcilloso

DKC6980

95.000 plantas/ha

Suelo arenoso

DKC6980

88.000 plantas/ha

DENSIDAD CAMPO A CAMPO
PRECISIÓN PARA CONSEGUIR HASTA 1 TONELADA* MÁS

Esa es la diferencia DEKALB®



www.dekalb.es

#LaDiferenciaDEKALB



DEKALB España



@DEKALB_ES



@DEKALB_Iberia



DEKALB España

*Fuente: DEKALB Technology Centers. Datos Internos de Bayer en Europa, 2018

Toda la información relativa a los productos es ofrecida de buena fe, pero no debe tomarse como una garantía de producción o sostenibilidad de esos productos, que pueden verse afectados por las condiciones climáticas locales y otros factores. Estos datos no deben formar parte de ningún contrato en el que Bayer actúe como parte, a no ser que se referencie específicamente.

DEKALB® es una marca registrada del Grupo Bayer.



50-100-150 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O en maíz y 0-229-154 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O en trigo. Las dosis totales de nitrógeno a aplicar fueron calculadas para unos requerimientos de 250 kg N ha⁻¹ en el maíz (Isla et al., 2006) y 200 kg N ha⁻¹ en el trigo (López-Bellido, 2010), de los que se descontó el nitrógeno mineral disponible en el suelo antes de siembra.

El experimento fue diseñado en bloques al azar con tres repeticiones por cada tipo de suelo.

Se muestrearon dos gases de efecto invernadero: el óxido nítrico y el metano mediante el método de las cámaras estáticas cerradas. Las cámaras estaban compuestas por una base cilíndrica clavada en el suelo 10 cm y una parte superior que actuaba como tapa hermética, creando en el interior un volumen de 14 L donde se acumulaban los gases durante una hora. A los tiempos 0, 30 y 60 minutos del cierre de la cámara se extraía una muestra de gas de 15 mL, para su posterior análisis por cromatografía de gases. De esta forma se pueden estimar los flujos de emisión de los gases a lo largo del tiempo. Se muestrearon los gases durante las tres campañas y el periodo entre las mismas, intensificando la frecuencia de medida después de la fertilización con el objetivo de detectar los picos de emisión asociados a este momento.

Se realizó la cosecha manual de los cultivos y se determinó el rendimiento de grano que se expresó en base al 14% de humedad para el maíz y el 12% para el trigo.

Las “emisiones de óxido nítrico ajustadas al rendimiento” se calcularon como el cociente entre las emisiones acumuladas de óxido nítrico y el rendimiento, e indican la cantidad de óxido nítrico emitido por tonelada de grano producido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tasas de emisión de óxido nítrico son muy bajas

Tabla 1. Emisión acumulada de óxido nítrico (kg N-N₂O ha⁻¹) en función de la campaña, tipo de suelo y tratamiento fertilizante. Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (test de Tukey) para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento fertilizante	Maíz 1	Maíz 2	Trigo	Maíz 1+2	Rotación completa
Fondo	Urea	2,20 a	3,32	0,59 a	5,53 a	6,15 a
	DMPP	0,84 b	0,52	0,28 b	1,36 b	1,65 b
	NBPT	1,51 ab	1,51	0,56 a	3,04 ab	3,63 ab
	MCDHS	1,24 ab	2,68	0,57 a	3,91 ab	4,50 ab
		*	n.s.	**	*	*
Saso	Urea	1,13 ab	1,56 a	0,22	2,69 ab	2,92
	DMPP	0,48 b	0,49 b	0,19	0,98 b	1,18
	NBPT	1,02 ab	4,12 a	0,18	5,14 a	5,33
	MCDHS	1,30 a	2,41 a	0,23	3,71 ab	3,94
		*	**	n.s.	*	n.s.

n.s.: no significativo; * significativo a p<0,05; ** significativo a p<0,01.

Tabla 2. Rendimiento de grano (Mg ha⁻¹) en función de la campaña, tipo de suelo y tratamiento fertilizante. Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (test de Tukey) para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento fertilizante	Maíz 1	Maíz 2	Trigo	Maíz 1+2
Fondo	Urea	20,9	17,2	8,7	38,1
	DMPP	20,7	16,3	8,9	36,9
	NBPT	21,1	18,0	8,8	39,1
	MCDHS	20,1	16,4	8,5	36,3
		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Saso	Urea	17,5	14,6	6,7 a	32,1 ab
	DMPP	18,8	14,4	6,0 b	33,0 ab
	NBPT	19,6	15,4	6,3 ab	34,8 a
	MCDHS	17,3	12,4	6,2 ab	29,7 b
		n.s.	n.s.	*	*

n.s.: no significativo; * significativo a p<0,05; ** significativo a p<0,01.

en la mayor parte del ciclo del cultivo. Únicamente se observan picos de emisión tras las aplicaciones de los fertilizantes nitrogenados (Figura 1).

El comportamiento de las emisiones no permitió romper el eje para mostrar completamente los picos de emisión. Urea y MCDHS alcanzaron 656 y 756 g N ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente, en suelo de fondo. NBPT y MCDHS alcanzaron 1014 y 596 g N ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente, en suelo de saso.

La emisión acumulada de óxido nítrico puso de manifiesto diferencias entre los tratamientos fertilizantes (Tabla 1). Comparando el tratamiento convencional (Urea) con los tratamientos con inhibidores, se observa que se dan diferencias en las emisiones de óxido nítrico con respecto al tratamiento con inhibidor de

la nitrificación (DMPP), puesto que, en general, las emisiones de óxido nitroso fueron menores al utilizar dicho inhibidor. En el suelo de fondo hay diferencias para la primera campaña de maíz, la campaña de trigo, la suma de las dos campañas de maíz y la rotación completa. En el suelo de saso únicamente se encuentran diferencias en la segunda campaña de maíz. Así, considerando la rotación completa, el tratamiento DMPP mostró menores emisiones acumuladas de óxido nitroso (73% y 60% menores que el tratamiento Urea en los suelos de fondo y saso, respectivamente). Por otro lado, nunca se observan diferencias entre el tratamiento Urea y los tratamientos con inhibidores de la ureasa (NBPT y MCDHS).

También se midieron las emisiones de metano, aunque estas fueron muy bajas incluso con una cierta tendencia de los suelos a capturar metano y no se observaron diferencias entre tratamientos fertilizantes ni ningún tipo de tendencia reseñable. No parece que en las condiciones del ensayo (regadío por aspersión en cultivos de maíz y trigo) las emisiones de metano del suelo supongan una contribución relevante al calentamiento global.

Los rendimientos de grano no mostraron una reducción al hacer una única aplicación de urea con inhibidores en vez de una doble aplicación de urea convencional en maíz (Tabla 2). Los tratamientos con inhibidores tampoco aumentaron el rendimiento respecto al tratamiento Urea, tal y como podría esperarse si se produce la teórica menor pérdida de nitrógeno y aumento en la eficiencia de su uso. De hecho, se observa lo contrario, en el suelo de saso para la campaña de trigo, se

observó una reducción significativa del rendimiento de 700 kg ha⁻¹ al aplicar DMPP en comparación con el tratamiento Urea. Una posible explicación podría ser la pérdida de nitrógeno disponible por un aumento en la volatilización del amoníaco ya que algunos estudios han descrito mayores pérdidas de nitrógeno por volatilización al utilizar inhibidores de la nitrificación.

Aunque los inhibidores de la ureasa (NBPT y MCDHS) no fueron eficaces para reducir las emisiones acumuladas de óxido nitroso (Tabla 1), sí que lo fueron cuando las emisiones se relativizan a la producción de grano, en el caso del suelo de fondo (Tabla 3).

CONCLUSIONES

Una única aplicación de fertilizante con inhibidor (tanto inhibidor de la nitrificación como de la ureasa) permitió alcanzar rendimientos de maíz similares >>>

ACCELERON
SEED APPLIED SOLUTIONS

FUNGICIDA E INSECTICIDA, QUE PROTEGEN FRENTE A ENFERMEDADES E INSECTOS

NUEVA COBERTURA DE SEMILLA, QUE MEJORA EL PASO POR EL TUBO DE SIEMBRA

BIOESTIMULANTE, QUE AUMENTA LA CAPTACIÓN DE AGUA Y NUTRIENTES DEL SUELO

MAXIMIZA TU PRODUCCIÓN DESDE EL INICIO
BLINDA TU MAÍZ CON TODO EL PODER DE ACCELERON®

Esa es la diferencia DEKALB®

DEKALB
SEED YOUR SUCCESS®

www.dekalb.es #LaDiferenciaDEKALB

Facebook: @DEKALB_ES, Instagram: @DEKALB_Espana, YouTube: DEKALB España

LEA SIEMPRE Y CUMPLA CON LAS INDICACIONES ESCRITAS SOBRE TRATAMIENTO EN LA BOLSA DE SEMILLAS. Acceleron® y DEKALB® son marcas registradas del Grupo Bayer. El resto de marcas pertenecen a sus respectivos propietarios. 2019 Grupo Bayer. Todos los derechos reservados.

BAYER

a los obtenidos tras una aplicación de urea convencional fraccionada en dos veces. Ante una misma estrategia fertilizante en trigo (única aplicación a final de ahijado), ningún tratamiento de urea con inhibidor incrementó el rendimiento de grano. Es importante señalar que se ha llevado a cabo un manejo del riego óptimo, con un buen ajuste del calendario y dosis de riego, minimizando las pérdidas de nitratos por lavado.

El inhibidor de la nitrificación DMPP fue el único eficaz reduciendo las emisiones de óxido nitroso, aunque su efecto varió en función del tipo de suelo y el cultivo. Los inhibidores de la ureasa (NBPT y MCDHS) también redujeron las emisiones de óxido nitroso para la rotación completa, aunque solamente cuando éstas fueron referidas a kilogramo de grano producido y en el suelo de fondo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (proyecto AGL2013-49062-C4-3-R). N. Mateo-Marín cuenta con un contrato predoctoral FPI-INIA-2015. Los fertilizantes con inhibidores fueron proporcionados por Compo Expert S.L., EuroChem Agro Iberia S.L. y Fertinagro Biotech S.L. Gracias al personal de campo y de laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos del CITA.

REFERENCIAS

REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de junio de 2019 por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE)

Tabla 3. Emisión de óxido nitroso ajustada al rendimiento de grano (g N-N₂O Mg⁻¹) en función de la campaña, tipo de suelo y tratamiento fertilizante. Diferentes letras en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (test de Tukey) para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento fertilizante	Maíz 1	Maíz 2	Trigo	Maíz 1+2	Rotación completa
Fondo	Urea	106 a	192 a	69 a	145 a	131 a
	DMPP	40 b	33 b	31 b	37 b	36 b
	NBPT	71 ab	84 ab	63 a	78 b	76 b
	MCDHS	62 ab	89 ab	67 a	68 b	68 b
		*	*	*	**	**
Saso	Urea	64	108 a	33	84 ab	76 ab
	DMPP	28	34 b	31	31 b	31 b
	NBPT	60	257 a	29	188 a	164 a
	MCDHS	75	198 a	37	126 a	110 ab
		n.s.	**	n.s.	*	*

n.s.: no significativo; * significativo a p<0,05; ** significativo a p<0,01.

Foto 2. Cultivo de maíz en lisímetros de drenaje.



n.o 1069/2009 y (CE) n.o 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) n.o 2003/2003. Diario Oficial de la Unión Europea, L-170, 25 de junio de 2019, pp. 1-114.

Sanz-Cobena, A., Lassaletta, L., Aguilera, E., Prado, A. del, Garnier, J., Billen, G., Iglesias, A., Sánchez, B., Guardia, G., Abalos, D., Plaza-Bonilla, D., Puigdueta-Bartolomé, I., Moral, R., Galán, E., Arriaga, H., Merino, P., Infante-Amate, J., Mejjide, A., Pardo, G., Álvaro-Fuentes, J., Gilsanz, C., Báez, D., Doltra, J., González-Ubierna, S., Cayuela, M.L., Menéndez, S., Díaz-Pinés, E., Le-Noë, J., Quemada, M., Estellés, F., Calvet, S., van Grinsven, H.J.M., Westhoek, H., Sanz, M.J., Gimeno, B.S., Vallejo, A., Smith, P., 2017. Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 238, 5–24. doi:10.1016/j.agee.2016.09.038.