

25 años de investigación público-privada PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El nitrógeno (N) desempeña un papel esencial en la agricultura y tiene gran influencia en aspectos económicos y ecológicos. Por un lado, es un nutriente esencial para las plantas que permite aumentar la producción y la calidad. Por otro lado, puede afectar negativamente a la hidrosfera (lixiviación de nitratos (NO_3^-) a aguas subterráneas) o a la atmósfera (liberación de gases de efecto invernadero, óxido nítrico o amoníaco). Se estima que alrededor del 50% del N procedente del fertilizante se pierde y no es aprovechado por los cultivos.

ÁNGEL MARESMA¹, ANTONIO VALLEJO^{2,3}, JOSÉ MARÍA ESTAVILLO⁴,
CARMEN GONZÁLEZ-MUNÚA⁴, ISRAEL CARRASCO¹

¹ Departamento de I+D de EuroChem Agro Iberia, S.L.

² Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid

³ Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM)

⁴ Universidad del País Vasco (UPV-EHU)

En el ciclo del N se producen una serie de procesos que modifican la forma en la que este nutriente se encuentra en el suelo y pueden dar lugar a pérdidas. Uno de estos procesos es la nitrificación, proceso por el cual los microorganismos

del suelo convierten los fertilizantes, orgánicos (N_{org}), ureicos ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) y amoniacales (NH_3), en nitratos (NO_3^-). Durante este proceso se produce óxido nitroso (N_2O) que se emite a la atmósfera. Además, el N resultante de este proceso se queda en forma de nitrato (NO_3^-) el cual es susceptible a

pérdidas tanto por lixiviación (NO_3^-) como por desnitrificación (N_2O).

El óxido nitroso (N_2O) es un potente gas de efecto invernadero que tiene la capacidad de absorber la radiación infrarroja. Actualmente, se estima que el óxido nitroso (N_2O) es el responsable del 6% del calentamiento global ocasionado por los gases de efecto invernadero.

Los nitratos (NO_3^-) se filtran fácilmente a aguas subterráneas y superficiales debido a la carga negativa de su molécula que hace que no se adhiera a las partículas del suelo (típicamente cargadas también negativamente) y facilita su pérdida disueltos en agua. Los nitratos están involucrados en problemáticas ambientales como la contaminación y la eutrofización de las aguas.

Dada la problemática asociada al uso de fertilizante, es importante incorporar tecnologías que contengan las pérdidas y aumenten la eficiencia del uso del N en los cultivos agrícolas. Una herramienta eficaz, disponible, y contrastada científicamente, es la tecnología de los inhibidores de la nitrificación (IN), que puede ser utilizada junto a fertilizantes nitrogenados basados en fuentes amoniacales o ureicas (Verma *et al.*, 2006). La función principal de los IN es reducir la velocidad de transformación del amonio en nitrato en el suelo a través del proceso de nitrificación. Esto reduce las pérdidas por lixiviación de nitratos, por emisión de gases de efecto invernadero (N_2O) y por emisión de óxido nítrico, contribuyendo a la mejor de la eficiencia del uso del N por parte del cultivo.

¿Qué son los inhibidores de la nitrificación?

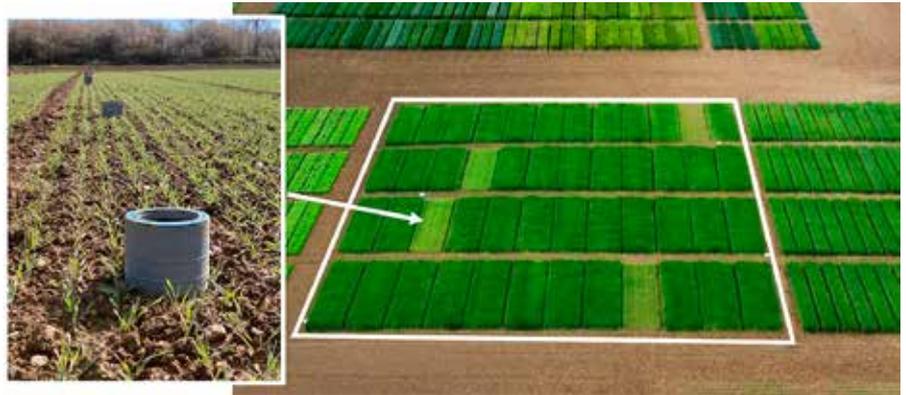
Los inhibidores de la nitrificación son compuestos que retrasan la oxidación del amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-), sin afectar la subsiguiente oxidación de nitrito a nitrato (NO_3^-), ya sea inhibiendo o interfiriendo en el metabolismo de las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas*) (Figura 1). La incorporación de un inhibidor de la nitrificación con cualquier producto nitrogenado en base amoniacal permitirá retener el

N en el suelo en la forma amoniacal durante más tiempo. De este modo, se reduce la concentración de nitratos durante un periodo de tiempo, minimizando las pérdidas potenciales de N por desnitrificación y/o lixiviación. En las últimas décadas, se han hecho grandes avances en el desarrollo de inhibidores de la nitrificación. Especialmente, en la comprensión de su modo de acción y del papel que desempeñan en la reducción de las pérdidas de N a la atmósfera en forma de gases de efecto invernadero y a las aguas subterráneas por lixiviación. Debido a que estas pérdidas disminuyen la eficiencia del uso de N, también tienen un efecto económico en el sector agrícola. El uso de diferentes inhibidores de la nitrificación en combinación con fertilizantes con N nitrificable (amoniacal o ureico) permite aumentar la eficiencia del uso del N, lo mejora las cosechas y encuentra una solución a los problemas ambientales (calentamiento global y eutrofización de aguas) al contener la emisión de óxido nitroso (N_2O) y la lixiviación de nitratos (NO_3^-).

Investigación público-privada para desarrollar fertilizantes más eficientes

En las últimas décadas se han hecho grandes esfuerzos por parte de empresas y organismos públicos para poder dar solución a la problemática asociada a la fertilización, especialmente la nitrogenada. El desarrollo de fertilizantes que incorporan inhibidores de la nitrificación ha sido ampliamente evaluado en condiciones mediterráneas, y más concretamente en la península Ibérica, gracias a la colaboración público-privada entre EuroChem y universidades y centros de investigación.

La investigación comenzó hace más de 25 años con la evaluación del inhibidor de la nitrificación DCD (diciandamida). Posteriormente, se desarrolló el inhibidor de la nitrificación DMPP (dimetil pirazol fosfato) y en la última década, se ha hecho especial énfasis en la evaluación del nuevo inhibidor de la nitrificación DMPSA (dimetil pirazol fosfato ácido succí-



Ensayo experimental para la determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en cebada

nico). En estos años, se ha trabajado para conocer más sobre el modo de acción, así como en la efectividad de los inhibidores de la nitrificación en mantener el N en forma amoniacal en el suelo y reducir las pérdidas de este nutriente al medioambiente. Durante este periodo de tiempo, se ha visto como la evolución de los inhibidores de la nitrificación conseguía mejorar sus propiedades para aportar mayores beneficios agronómicos y medioambientales.

Dentro del proyecto de investigación para el desarrollo de los inhibidores de la nitrificación incluidos en los fertilizantes de la gama ENTEC® destacan las colaboraciones con la Universidad del País Vasco (UPV-

EHU) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En estos centros se ha evaluado especialmente el efecto de los inhibidores de la nitrificación en las poblaciones microbianas de suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero y la lixiviación de nitratos. Por otro lado, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Universitat de Lleida (UdL), el Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), el Insitituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) y el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), han sido piezas clave del proyecto



FIGURA 1 Efecto de los inhibidores de la nitrificación en la transformación del nitrógeno en el suelo.



Ensayo experimental de fertirrigación y determinación de lixiviación de nitratos en lechuga



Ensayo experimental en cultivos extensivos (cebada, trigo, colza, patata y maíz)

para evaluar agrónomicamente las características de los inhibidores de la nitrificación en diversas condiciones agroclimáticas, con diferentes suelos, cultivos, sistemas de producción y estrategias de fertilización.

Resultados obtenidos en el proyecto

Los inhibidores de la nitrificación evaluados en el proyecto de desarrollo de ENTEC® han mejorado las propiedades de los fertilizantes nitrogenados debido a la ralentización de la transformación del N amoniacal a nítrico en el suelo. Los inhibidores de la nitrificación basados en DMP

(dimetil pirazol) han demostrado ser más eficientes que la diciandamida (DCD), y concretamente, el DMPSA ha obtenido resultados prometedores tanto en la reducción de emisión de óxido nitroso (N_2O) como en la reducción de la lixiviación de nitratos (NO_3^-) en diferentes condiciones edafoclimáticas. Además, esta reducción de pérdidas de N se ha visto traducida en una mayor eficiencia en el uso del N (NUE) y en una tendencia a incrementar las producciones agrícolas. La literatura científica cuantifica el efecto de los inhibidores de la nitrificación en una reducción de un 47% en la lixiviación de nitratos (NO_3^-) y de

un 44% en la emisión de óxido nitroso (N_2O) (Qiao *et al.*, 2015). Nuestros resultados muestran efectividades similares en el caso de la reducción de la lixiviación de nitratos (NO_3^-), pero son superiores en la reducción de la emisión de óxido nitroso (N_2O). En 43 ensayos de campo realizados con medición de gases de efecto invernadero utilizando inhibidores de la nitrificación basados en DMP desde 2010, la reducción de emisión de óxido nitroso (N_2O) ha sido de un 63% (Figura 2) [57% para DMPP y 67% para el DMPSA], llegando en algunos casos a reducir casi al 100% las emisiones de este potente gas de efecto invernadero.

Es importante destacar que en un 74% de los estudios evaluados los porcentajes de reducción de la emisión de óxido nitroso (N_2O) han sido superiores a lo que se determina en la literatura científica. Esto se debe a que no en todas las condiciones agroclimáticas se dan las mismas emisiones. En los estudios realizados en la península ibérica, los inhibidores de la nitrificación DMPP y DMPSA han mostrado un mayor efecto en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que las condiciones climáticas favorecen la nitrificación. Además, es importante remarcar que los estudios científicos se han llevado a cabo en condiciones climáticas diferentes a nivel nacional, y los inhibidores de la nitrificación

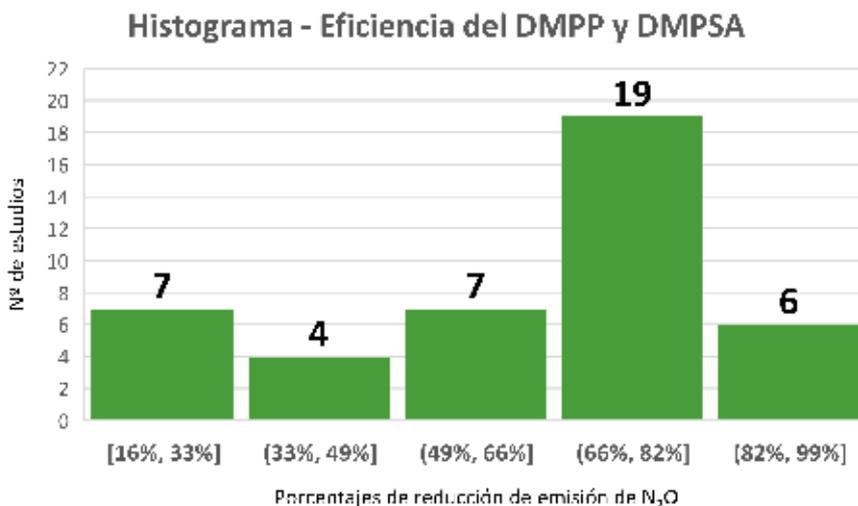


FIGURA 2 Histograma de la efectividad de los inhibidores de la nitrificación DMPP y DMPSA en reducir las emisiones de óxido nitroso (N_2O).



Ensayo experimental de fertirrigación en olivar superintensivo

DMPP y DMPSA han reducido notablemente las emisiones de óxido nitroso (N_2O). Por tanto, resultan evidentes las mejoras ambientales que pueden proporcionar los inhibidores de la nitrificación DMPP y DMPSA. La mayoría de estos resultados han sido publicados en revistas científicas SCI (más 50 artículos) y muestran el potencial que tienen los inhibidores

de la nitrificación DMPP y DMPSA para reducir el impacto ambiental asociado a la fertilización nitrogenada.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por la ayuda Torres de Quevedo PTQ2020-011271/AEI/10.13039/501100011033, recibida por el Dr. Ángel Maresma.

Bibliografía

- Qiao, C., Liu, L., Hu, S., Compton, J., Greaver, T., Li, Q. 2015. *How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. Global Change Biology*, 21, 1249-1257.
- Verma, A., L. Tyagi, S. Yadav, and S. N. Singh. 2006. *Temporal Changes in N_2O Efflux from Cropped and Fallow Agricultural Fields. Agricultural Ecosystems and Environment* 116:209-216.

A MODO DE CONCLUSIÓN

La incorporación de los inhibidores de la nitrificación DMPP y DMPSA ha demostrado ser una herramienta eficaz para dar respuesta a la problemática asociada a la fertilización nitrogenada. En nuestras condiciones, se puede reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar las pérdidas de lixiviación por nitratos, a la vez que se mejoran las condiciones de producción para nuestra agricultura.

La colaboración público-privada ha sido fundamental para alcanzar el objetivo de mejorar la sostenibilidad de la agricultura española vía el desarrollo de tecnología de los inhibidores de la nitrificación DMPP y DMPSA (presentes en los fertilizantes ENTEC®).