

La aplicación conjunta de un inhibidor de la ureasa (NBPT) y de la nitrificación (DMPSA) es una herramienta eficaz para reducir las pérdidas de nitrógeno derivadas de la aplicación de urea

PROBLEMÁTICA DE LA FERTILIZACIÓN CON UREA Y DERIVADOS, ¿CÓMO PODEMOS SOLUCIONARLO?

Mario Corrochano-Monsalve¹, Israel Carrasco², Ángel Maresma²

¹Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio 'Ramón Margalef', Universidad de Alicante

²Departamento de I+D de EuroChem Agro Iberia, S.L.

El nitrógeno (N) es el nutriente que más frecuentemente limita la producción. La aplicación insuficiente de N puede tener graves consecuencias económicas para el rendimiento de muchos cultivos, mientras que una fertilización excesiva aumenta el riesgo de contaminación ambiental. Actualmente, en los sistemas de producción agrícola, se calcula que una gran parte (alrededor del 50%) del N aplicado a los cultivos se pierde al medio ambiente (*Lassaletta et al., 2014*).



INTRODUCCIÓN

La forma química en la que se aplica el N (ureica, amoniacal o nítrica) lo hace más o menos propenso a ser transformado y perdido al medioambiente por una u otra vía. Cuando aplicamos fertilizante al suelo, da lugar a formas nitrogenadas que, por su naturaleza gaseosa (como en el caso de los óxidos de N o gas amoníaco) o su baja adherencia a las partículas del suelo (como en el caso de los nitratos) se pierden al medioambiente.

Las pérdidas de N más importantes vienen determinadas por tres procesos: emisión de gases de efecto invernadero (N_2O y NO), volatilización de amoníaco (NH_3) y lixiviación de nitratos (NO_3^-). Las estimaciones globales de emisiones de gases de efecto invernadero procedente de la agricultura son de alrededor de 3,5 Mt de N_2O -N y 2,0 Mt de NO -N al año, lo que supone unas pérdidas de alrededor al 0,8% del N aplicado en las superficies cultivables. A esto, hay que sumarle pérdidas por volatilización de amoníaco tras la aplicación del fertilizante y otras pérdidas por lixiviación (19%) (Bouwman et al., 2002), que varían en función de las condiciones meteorológicas, tipos de suelo y riego.

PÉRDIDAS POR VOLATILIZACIÓN DE AMONIACO (NH_3)

A nivel global, la urea es la forma más extendida de aplicación del N en la agricultura, debido a su bajo coste y accesibilidad. Según la FAO, alrededor del 70% del total de N aplicado como fertilizante es en forma de urea. Paradójicamente, la fertilización con urea es altamente ineficiente. Esto es debido a que una gran proporción del N se pierde en forma de amoníaco (NH_3), el cual es volatilizado como consecuencia de la acción de la enzima ureasa, naturalmente presente en el suelo. En general, la volatilización del NH_3 se ve favorecida en zonas con baja precipitación (lo cual ralentiza la infiltración de la urea en el suelo) y en suelos con pH alcalino. Bajo condiciones propensas, las pérdidas por esta vía pueden superar el 30% del N aplicado (Silva et al., 2017; Cantarella et al., 2018).

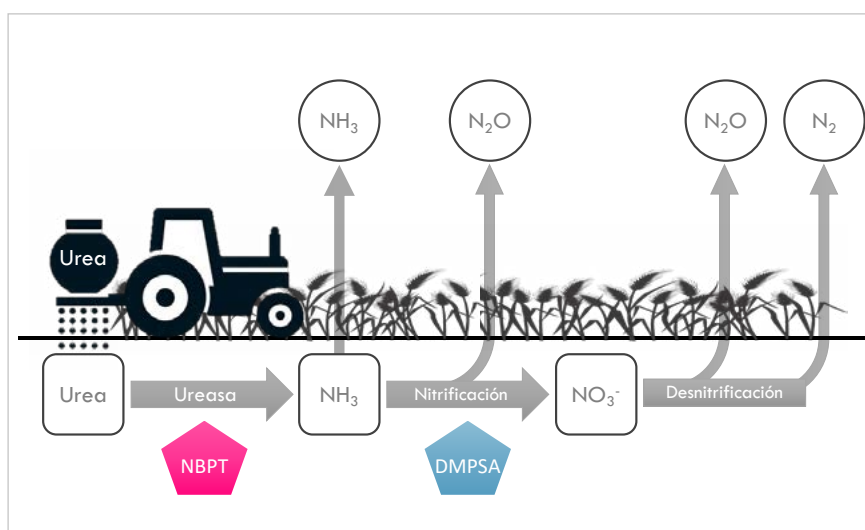
La volatilización del amoníaco no solo tiene importantes repercusiones económicas para el agricultor (por la pérdida de N), sino que también supone un coste ambiental y de salud debido a que es un precursor de moléculas contaminantes. Las cifras de este coste se estima que se encuentran entre los 16-106 mil millones de € para

el conjunto de la Unión Europea (Van Grinsven et al., 2013). De hecho, España va a limitar el uso de la urea (y sus derivados), mediante el Real Decreto de Nutrición Sostenible, para reducir los problemas medioambientales y de salud.

PÉRDIDAS POR EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N_2O)

Los fertilizantes con base ureica también liberan N al medio en forma de otros gases nitrogenados. Estos gases nitrogenados son subproductos de la actividad de microorganismos del suelo (arqueas, bacterias y hongos) que son los responsables del ciclado del N. Tras la hidrólisis de la urea, el N es convertido desde su forma amoniacal (NH_4^+) hasta nitrato (NO_3^-) por la acción de las bacterias y arqueas nitrificantes. Posteriormente, este nitrato es transformado por bacterias y hongos desnitrificantes hasta diferentes compuestos gaseosos, siendo el óxido nitroso (N_2O) el producto resultante más relevante desde un punto de vista medioambiental. Es de destacar, además, que el óxido nitroso puede formarse también como subproducto de la nitrificación. Agrosistemas con baja humedad favorecen la acción de la población nitrificante, mientras que suelos húmedos promueven la actividad desnitrificante.

PÉRDIDAS DE NITRÓGENO TRAS LA APLICACIÓN DE UREA



Si bien la magnitud de estas emisiones de óxido nitroso es mucho menos relevante en cuanto a la cantidad de N perdida (comparado con las pérdidas en forma de amoníaco), la pérdida de N en forma de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso tiene graves consecuencias ambientales.

Figura 1. Esquema simplificado del ciclo del nitrógeno tras la aplicación de urea en un suelo agrícola y emisiones de gases nitrogenados derivados de las reacciones enzimáticas que transforman el nitrógeno. NH_3 : Amoníaco; N_2O : Óxido nitroso; NO_3^- : Nitrato; N_2 : Nitrógeno molecular; NBPT: Inhibidor de la ureasa; DMPSA: Inhibidor de la nitrificación.

La razón de este impacto ambiental se debe a que el óxido nitroso (N_2O) es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento casi 300 veces mayor que el del dióxido de carbono (CO_2).

PÉRDIDAS POR LAVADO DE NITRATOS (NO_3^-)

La pérdida en forma de lixiviados de nitratos es más probable cuando se acumulan en el suelo tras el proceso de nitrificación (transformación de N amoniacal a N nítrico) y se dan riegos o precipitaciones de cierta magnitud. La carga negativa de la molécula de nitrato (NO_3^-) hace que no se adhiera a las partículas del suelo (típicamente cargadas también negativamente) y facilita su pérdida disuelta en agua. Estas pérdidas, más allá de la cantidad de N que es liberado, suponen un gran problema ambiental porque producen contaminación de las aguas.

¿CÓMO SE PUEDE MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES UREICOS?

La forma más sencilla de reducir la volatilización del amoníaco (NH_3) es mediante la incorporación de la urea al suelo, pero las condiciones del cultivo lo imposibilitan en muchas ocasiones.

TRATAMIENTO	DOSIS (kg N/ha)	
	INICIO AHIJADO	INFLORESCENCIAS SECUNDARIAS
Urea	100	50
Urea + NBPT	100	50
Urea + DMPSA	100	50
Urea + NBPT + DMPSA	100	50

Tabla 1. Tratamientos aplicados, dosis de fertilizante y momento de aplicación. Los tratamientos se aplicaron en condiciones de laboreo convencional y en siembra directa. NBPT: Inhibidor de la ureasa; DMPSA: Inhibidor de la nitrificación.

Como alternativa, es posible reducir la volatilización aplicando compuestos denominados inhibidores de la ureasa (compuestos que ralentizan la transformación de N ureico a N amoniacal), pudiendo llegar a reducir las pérdidas por volatilización de amoníaco incluso en un 50% (Abalos *et al.*, 2012; Lam *et al.*, 2019). Sin embargo, esta práctica no evita la posible lixiviación de nitratos, ni las emisiones de óxido nitroso, ya que los microorganismos nitrificantes y desnitrificantes no se ven directamente afectados, por lo que pueden seguir transformando el N en sus diferentes formas.

Existen otros compuestos que sí son capaces de reducir el riesgo de pér-

didas por lixiviación y la emisión de óxido nitroso (N_2O): son los llamados inhibidores de la nitrificación. Estos compuestos son capaces de ralentizar la conversión del N amoniacal a N nítrico en el suelo, aumentando la probabilidad de que el cultivo absorba el N en vez de perderse al medio. Estudios recientes, muestran cómo los inhibidores DMPP/DMPSA (presentes en la gama de fertilizantes ENTEC®) pueden llegar a evitar por completo las emisiones de óxido nitroso derivadas de la aplicación del fertilizante, reduciendo la huella de carbono de los cultivos (Corrochano-Monsalve *et al.*, 2020; Recio *et al.*, 2020). Sin embargo, al contrario que los inhibidores de la ureasa, estos compuestos no evitan la volatilización en forma de amoníaco.

Para intentar lograr un efecto conjunto y minimizar el riesgo de fugas de N, que conlleva importantes consecuencias económicas, ambientales y de salud, EuroChem, junto a la Universidad del País Vasco (EHU), evaluaron la posibilidad de incorporar ambos tipos de inhibidores (de la ureasa y de la nitrificación) para reducir las pérdidas de N al medioambiente derivadas de la aplicación de urea. El estudio se desarrolló en un ensayo de colza situado en Arkaute (Vitoria). El área experimental se dividió en dos manejos, laboreo convencional y siembra directa, con el fin de estudiar el efecto de diferentes prácticas en las pérdidas de N y la eficiencia de los inhibidores para evitarlas. El fertilizante ureico fue aplicado en



TRATAMIENTO	REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR	
	AMONÍACO (NH ₃)	ÓXIDO NITROSO (N ₂ O)
Urea	-	-
Urea + NBPT	- 61%	0%
Urea + DMPSA	0%	- 42%
Urea + NBPT + DMPSA	- 64%	- 34%

forma granulada, combinado con el inhibidor de la nitrificación NBPT y con el inhibidor de la nitrificación, DMPSA (Tabla 1). Tras la fertilización, se realizaron mediciones de volatilización de amoníaco (NH₃), emisiones de óxido nitroso (N₂O) y contenidos de N mineral en el suelo, entre otros.

RESULTADOS

En el sistema de laboreo convencional, más del 30% del N aplicado en forma de urea se perdió por volatilizaron a

la atmósfera en forma de amoníaco (51 kg N/ha), mientras que en siembra directa la pérdida alcanzó el 36% (55 kg N/ha). La mayor volatilización de urea en el sistema de siembra directa podría explicarse por la mayor compactación del suelo (lo que dificulta la infiltración de la urea en el suelo) y los residuos vegetales dejados en la superficie tras la campaña anterior (los cuales suelen presentar alta presencia de enzima ureasa, *Malhi et al.*, 2001).

Tabla 2. Reducción de las pérdidas de N por volatilización de amoníaco (NH₃) y emisiones de óxido nitroso (N₂O) promedio de ambos manejos (laboreo y siembra directa). NBPT: Inhibidor de la ureasa; DMPSA: Inhibidor de la nitrificación.

La aplicación de urea junto con inhibidor de la ureasa (NBPT) fue capaz de reducir las pérdidas del 34% al 13% en el laboreo convencional, y del 36% al 18% en el sistema de siembra directa (Tabla 2). Es decir, las pérdidas por volatilización de amoníaco se redujeron a menos de la mitad. Tal y como se esperaba, este inhibidor, sin embargo, no tuvo ningún efecto en las pérdidas de óxido nitroso (N₂O). Por el contrario, la aplicación del inhibidor de la nitrificación (DMPSA), junto con la urea, no redujo las pérdidas por volatilización de amoníaco, pero sí fue capaz de reducir

SERVICIOS DE TRANSFORMACIÓN INTEGRAL

AGRICULTURA MODERNA, RENTABLE Y SOSTENIBLE.

BALAM.ES



BALAM
| AGRICULTURE |

CONOCE NUESTROS PROYECTOS

SULTANA
sultana.balam.es

CULTIVA CARBONO
cultivacarbono.es

las emisiones de N_2O en un 36% y 47% en los sistemas de laboreo convencional y de siembra directa, respectivamente (Tabla 2). Dichas emisiones están altamente relacionadas con la nitrificación, por lo que la cantidad de nitratos en suelo también se pudo ver reducida, generando un beneficio medioambiental al reducir el riesgo de lavado de nitratos.

La aplicación de urea con un solo tipo de inhibidor fue capaz de atajar parte del problema de la pérdida del N, pero no completamente. El inhibidor de la ureasa (NBPT) fue altamente eficaz para reducir la volatilización de amoníaco, pero no para evitar la emisión de óxido nitroso. Por el contrario, el inhibidor de la nitrificación (DMPSA) fue capaz de reducir la emisión de óxido nitroso, pero no evitó las pérdidas de volatilización de amoníaco. Sin embargo, la aplicación de un doble inhibidor (NBPT + DMPSA), sí se mostró como una herramienta eficaz para conseguir una reducción de las pérdidas de N derivadas de la fertilización. El doble inhibidor (NBPT + DMPSA) redujo las pérdidas de N a menos de la mitad en ambos sistemas de manejo del suelo, y disminuyó la emisión de N_2O entre un 22% y un 45%.

CONCLUSIÓN

La fertilización con urea puede dar lugar a pérdidas de N muy elevadas, que implican importantes daños ambientales, de salud y económicos. En este ensayo, más del 30% del N se perdió en forma de amoníaco (NH_3) volatilizado y por emisiones de óxido nitroso (N_2O). La aplicación de inhibidores de ureasa (NBPT) o de la nitrificación (DMPSA) de forma individual solo evitó parte del problema. Sin embargo, la utilización de un doble inhibidor (NBPT + DMPSA) fue capaz de alcanzar una mitigación más completa, ralentizando la actividad ureasa y la nitrificación, y presentándose como una solución de futuro para avanzar hacia una fertilización nitrogenada más eficiente. ■

Para más información, puede consultarse el artículo científico publicado por Corrochano-Monsalve et al. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125701>



BIBLIOGRAFÍA

- Abalos, D., Sanz-Cobena, A., Misselbrook, T., Vallejo, A., 2012. Effectiveness of urease inhibition on the abatement of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide emissions in a non-irrigated Mediterranean barley field. *Chemosphere* 89 (3), 310e318. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.043>
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M. and Batjes, N.H., 2002. Modeling global annual N_2O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*, 16 (4), pp. 28-1.
- Cantarella, H., Otto, R., Soares, J.R., Silva, A.G. de B., 2018. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: a review. *J. Adv. Res.* 13, 19e27. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>
- Corrochano-Monsalve, M., Huérfano, X., Menéndez, S., Torralbo, F., Fuertes-Mendizábal, T., Estavillo, J.M., González-Murua, C., 2020. Relationship between tillage management and DMPSA nitrification inhibitor efficiency. *Sci. Total Environ.* 718 (134748) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134748>
- FAO. 2004. Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH_3 , NO y NO_2 provenientes de las tierras agrícolas. Primera versión.
- Lam, S.K., Suter, H., Bai, M., Walker, C., Mosier, A.R., van Grinsven, H., Chen, D., 2019. Decreasing ammonia loss from an Australian pasture with the use of enhanced efficiency fertilizers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 283. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.012>
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., Garnier, J., 2014. 50 Year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environ. Res. Lett.* 9, 105011.
- Recio, J., Montoya, M., Ginles, C., Sanz-Cobena, A., Vallejo, A., Alvarez, J.M., 2020. Joint mitigation of NH_3 and N_2O emissions by using two synthetic inhibitors in an irrigated cropping soil. *Geoderma* 373 (114423). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114423>
- Silva, A.G., de B., Sequeira, C.H., Sermarini, R.A., Otto, R., 2017. Urea-se inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. *Agron. J.* 109 (1), 1e13. <https://doi.org/10.2134/agnonj2016.04.0200>
- Van Grinsven, H.J., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M.A., Jaap Willems, W., 2013. Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environ. Sci. Technol.* 47 (8), 3571e3579. <https://doi.org/10.1021/es303804g>

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia e Innovación por la ayuda Juan de la Cierva (JDC2022-048845-1) concedida al Dr. Mario Corrochano-Monsalve, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR, y la ayuda Torres de Quevedo PTQ2020-011271/AEI/10.13039/501100011033, recibida por Dr. Ángel Maresma.



Interempresas

Con 13M de lectores en más de 80 revistas y 120 canales sectoriales online, Interempresas lidera la información profesional y B2B para España, Portugal y LATAM.

www.interempresas.net