

Número 29 (BIS) | Marzo 2021

Fertilizantes Estabilizados. EUN y Cuidado del Medioambiente.

REALIZACIÓN
Departamento de
Investigación y Desarrollo
PROFERTIL S.A.



INTRODUCCIÓN:

La producción de alimento de calidad y en cantidad suficiente para garantizar la seguridad alimentaria de todos los habitantes del planeta, es uno de los desafíos más importantes en la cual hoy se encuentra la sociedad. Los sistemas de producción están siendo repensados para alcanzar este objetivo, con un aumento de la productividad en forma sustentable y cuidando el medio ambiente.

Los fertilizantes nitrogenados son fundamentales para la producción de cultivos, pero si no son bien manejados pueden producir pérdidas de Nitrógeno (N) por desnitrificación, volatilización del amoníaco o lixiviación de nitratos. De esta manera, no solo se reduce la eficiencia del uso de ese N (EUN) por parte del cultivo, sino que aumenta la emisión de N_2O (óxido nitroso), uno de los **gases de efecto invernadero (GEI)**.

Argentina, desde hace ya varios años, está enfrentando el desafío de tecnologías en nutrición de cultivos, especialmente en fertilización nitrogenada. En la actualidad, las dosis aplicadas en la mayoría de los cultivos son sub-óptimas, siendo la reposición del nitrógeno promedio en las gramíneas de un 54% (*Fuente: Fertilizar 2018*), con lo cual se deberá incrementar las dosis de uso de los mismos para lograr un salto en la brecha productiva. Para que este incremento sea sustentable debería plantearse un uso eficiente del N bajo condiciones actuales y a futuro. Estas condiciones futuras implican una mayor emisión absoluta de N_2O pero una menor emisión de la misma por unidad de producto. Ej: menor emisión por tonelada de grano cosechado (*Fuente: García et al, 2013*).

Por otro lado, se podrían aplicar muchas de las tecnologías conocidas para reducir la emisión de GEI: manejo de tierras y suelos, manejo del pastoreo, restauración de suelos degradados, gestión de bio-sólidos y producción de bioenergía. La adopción de **Mejores Prácticas de Manejo (MPM)** para el uso de los fertilizantes permite generar mayores eficiencias de uso de los nutrientes disponibles y/o aplicados. Elegir la dosis adecuada aplicada con la fuente, el momento correcto y la ubicación correcta permite maximizar la producción y la eficiencia de uso de otros recursos e insumos, mantener y/o mejorar la fertilidad de los suelos. (Fuente: *García et al, 2013*).

Los procesos de nitrificación del amonio (NH_4^+) y la desnitrificación del nitrato (NO_3^-) son fuentes de óxidos nitrosos (N_2O), uno de los principales GEI, junto con el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). Si bien las emisiones de N_2O son mucho menores que las de CO_2 a nivel global, representaron el 13% en 2016 de los GEI y su potencial de calentamiento es 265 veces superior al dióxido de carbono (CO_2) (3er BUR Argentina) (Figuras 1 A y B). Su liberación a la atmósfera es un efecto colateral de los procesos microbianos de desnitrificación y nitrificación, por lo que depende de la cantidad de Nitrógeno (N) que entra anualmente a los suelos agrícolas.



Figura 1 A. Distribución sectorial de las emisiones de GEI año 2016.

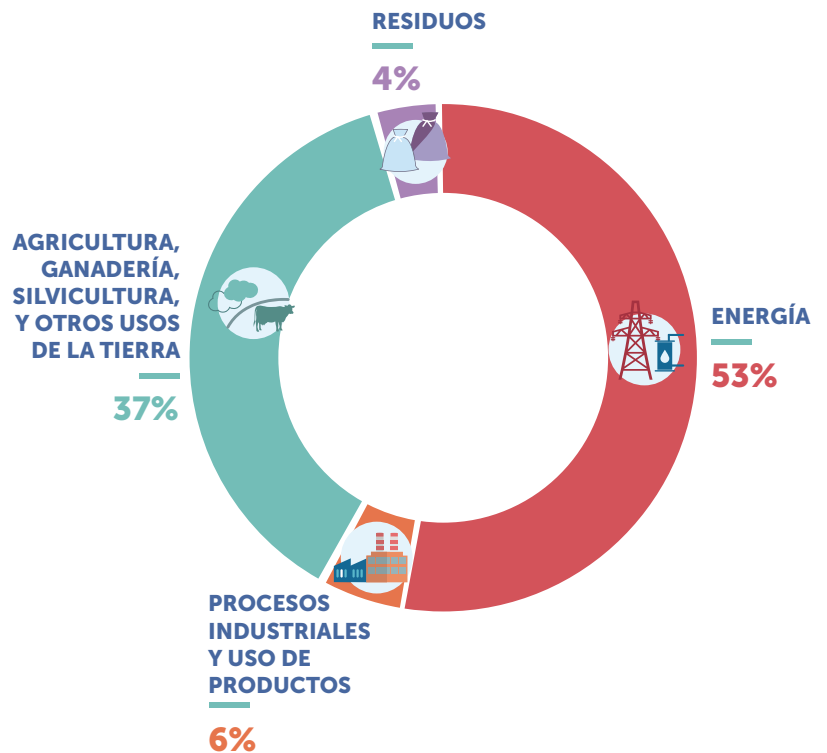
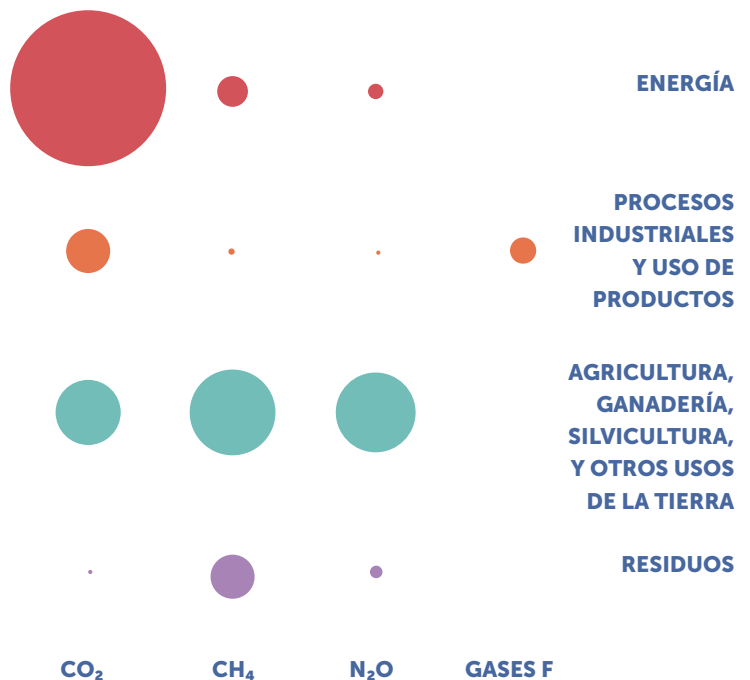


Figura 1 B. Participación de los GEI por sector al año 2016.



Fuente: 3er BUR- Argentina. Secretaria de Ambiente y Desarrollo sustentable de la Rep. Argentina. 2019

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES GEI

A) MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA (MPM).

1. Dosis de N correcta.
2. Forma y Momento de aplicación correctos.
3. Manejo por ambientes.
4. Fuentes alternativas de N. Fertilizantes Estabilizados.

B) AUMENTO DE SUMIDEROS DE CARBONO. ANALIZAR BALANCE EN TÉRMINOS DE C EQUIVALENTE (PODER DE CALENTAMIENTO DE CADA GEI).

1. Siembra Directa
2. Rotaciones de cultivos y manejo de nutrientes
3. Cultivos de cobertura
4. Integración ganadería-agricultura
5. Abonos orgánicos
6. Reforestación
7. Manejo de pastizales y pasturas

A-4) Fuentes alternativas de N. Fertilizantes Estabilizados.

De las estrategias existentes para lograr disminuir la emisión de GEI y mejorar la EUN, el manejo del momento de aplicación de los fertilizantes (o su fraccionamiento en varias aplicaciones) y de la fuente de N (incluyendo la adición de inhibidores¹ de nitrificación y/o ureasa), se consideran con alto potencial mitigador.

¹ Un inhibidor es un compuesto que se añade a un fertilizante con nitrógeno para reducir las pérdidas cuando se aplica al cultivo y/o suelo.

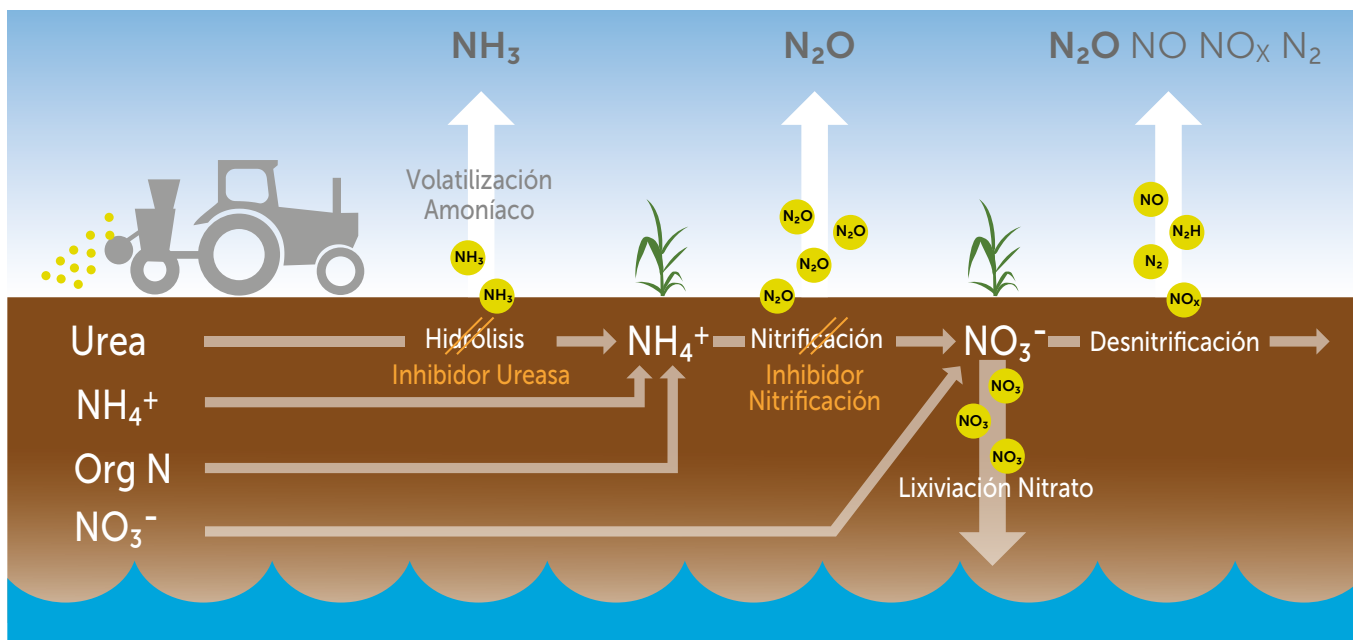
Existen en el mercado dos tipos de inhibidores que se añaden a los fertilizantes nitrogenados:

• Inhibidores de la ureasa (IU):

1. Proceso: inhiben la hidrólisis de la urea por acción sobre la enzima ureasa.
2. Acción: Permiten disminuir las pérdidas de Nitrógeno por volatilización del amoníaco (NH_3).
3. Ej: NBPT, NPPT.

• Inhibidores de la nitrificación (IN):

1. Proceso: inhiben la oxidación biológica de amonio a nitrato.
2. Acción: Permiten disminuir las pérdidas de Nitrógeno por lixiviación y desnitrificación de los nitratos (NO_3^-).
3. Ej: DMPP, DCD.



Mitigar las emisiones de GEI con el uso de **Fuentes Estabilizadas**, las cuales poseen inhibidores que disminuyen las pérdidas de Nitrógeno (N) por volatilización de amoníaco o lixiviación de nitratos, no solo disminuyen la liberación de los mismos sino también aumentan la eficiencia de uso del N por parte del cultivo, contribuyendo al desarrollo de una **Agricultura Sustentable**.



INHIBIDORES DE LA UREASA (IU)

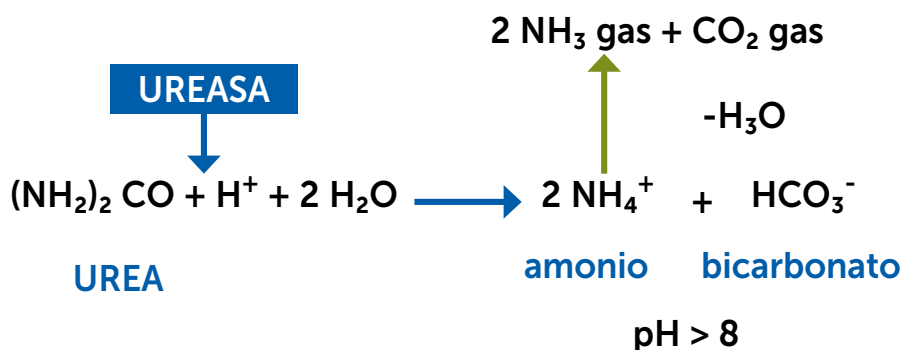
La urea es el fertilizante nitrogenado con mayor concentración de N y el más usado a nivel global. Al tener alto contenido en N, los costos de transporte y almacenamiento por unidad de nitrógeno son bajos.

Los cultivos no absorben nitrógeno en forma ureica, por lo que tiene que ser transformado en amonio (NH_4^+) y en nitrato (NO_3^-).

Cuando fuentes amoniacales toman contacto con el suelo, por efecto de temperatura, humedad y microorganismos, comienza el proceso de

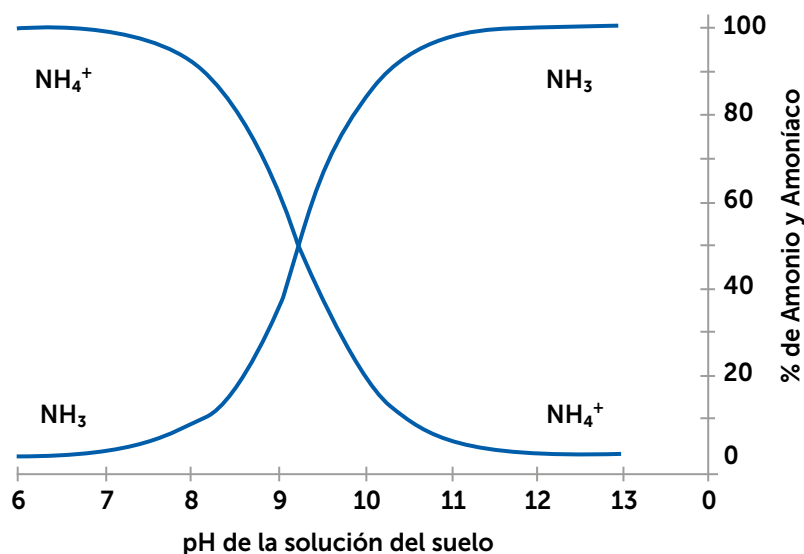
hidrólisis y transformación a nitratos, forma en que mayormente lo utiliza la planta. Durante el mismo, pueden suceder procesos de pérdidas de Nitrógeno (N) por volatilización, el cual depende de las condiciones del medio (altas temperatura, humedad edáfica, textura arenosa, baja MO, etc.), lo que lleva a una disminución de la Eficiencia de Uso del N.

La urea está sujeta a hidrólisis catalizada por la enzima ureasa, de amplia difusión en el suelo, y que responde a la siguiente ecuación:



El pH del suelo determina la transformación del amoníaco resultante en amonio. La reacción de la ureasa crea una zona alcalina alrededor del gránulo de urea que provoca un aumento importante de pH e invierte el equilibrio de la reacción hacia la formación de amoníaco y, en consecuencia, se produce un aumento de las emisiones (Figura 2).

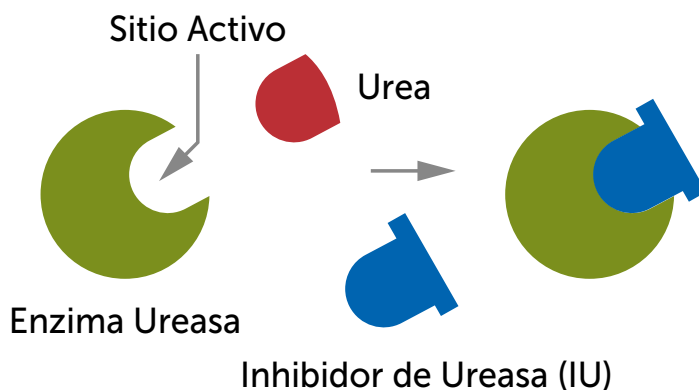
Figura 2. Variación de la proporción de amonio y amoníaco en el suelo según el pH de la solución del suelo



Fuente: John L. Havlin y otros. 1999

Las pérdidas de amoníaco por volatilización se reducen significativamente si la urea se incorpora inmediatamente al suelo tras su aplicación, bien por acción de maquinarias (sembradoras, incorporadoras), de las precipitaciones o por riego. No obstante, bajo muchas circunstancias

esto no es posible. En ese caso, para reducir las emisiones de amoníaco los fertilizantes a base de urea se tratan con inhibidores de la ureasa (IU). Estos regulan la velocidad de conversión de la urea a amonio, reduciendo así, la concentración de amoníaco y la pérdida de éste por volatilización.



INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN (IN)

El nitrógeno amónico, presente en la urea y en los nitratos amónicos es transformado rápidamente en nitrato tras su aplicación a través del proceso de nitrificación. La utilización de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación (IN) reduce considerablemente el riesgo de lixiviación de nitratos.

Los IN retrasan la transformación del nitrógeno amónico en nitrógeno nítrico, bloquean temporalmente la acción de la enzima mono-oxigenasa de amonio en las bacterias *Nitrosomonas ssp*, responsables del primer paso del proceso de nitrificación (conversión de amonio a nitrito).

El tiempo de inhibición de la nitrificación depende principalmente de la temperatura. A bajas temperaturas, el período es bastante largo, mientras que es relativamente corto a temperaturas más altas; aun así, dura varias semanas.



La lixiviación de nitratos puede ocurrir bajo determinadas condiciones, tales como en suelos arenosos, con altos aportes de agua o si se trata de cultivos de raíces poco profundas. El intercambio catiónico incompleto durante la formación de los coloides del suelo hace que el suelo presente cargas negativas. En presencia de altas precipitaciones o riegos excesivos, el ion nitrato puede ser lavado o lixiviado (*Fuente: Fertilizers Europe, 2016*).

MITIGACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Está comprobado que el uso de Fertilizantes Estabilizados pueden reducir las emisiones de N_2O y mejorar la Eficiencia de uso del N (EUN) en la producción de cereales. De acuerdo a la Asociación Oficial del control de alimentos de América (2013), los fertilizantes estabilizados están definidos como "fertilizantes con características que permiten incrementar la eficiencia del cultivo y reducir la pérdida potencial de nutrientes al medio ambiente (ej. Pérdidas gaseosas, lixiviación, o escorrentía) comparado a un producto común".

Hay muchos estudios que avalan la eficiencia de los fertilizantes estabilizados en reducir las emisiones de N_2O , las cuales dependen de su modo de acción, características del suelo, condiciones ambientales y factores de manejo. Por ejemplo, en algunos estudios estos fertilizantes redujeron la emisión del N_2O entre 14 a 61% vs fertilizantes convencionales (*Halvorson et al 2014*), mientras otros no mostraron efecto (*Dell et al 2014; Parkin*

and Harfield, 2014; Sistami et al 2011; Venterea et al 2011).

En un meta-análisis realizado por Thapa *et al* 2016, se observó que el uso de fertilizantes estabilizados con inhibidor de la ureasa (IU) redujo significativamente las emisiones de N_2O si lo comparamos con fertilizantes nitrogenados convencionales, siendo el mismo de un 36% en promedio en el cultivo de maíz (variando entre 17 y 55%). Similarmente hubo reducción de emisiones de N_2O con fertilizantes con IU en suelos de textura gruesa (promedio 28%, variando entre 4 y 55%) y bajo condiciones de riego (promedio 19%, variando entre 23 y 40%). El autor señala que se necesitan más estudios para validar los mismos.

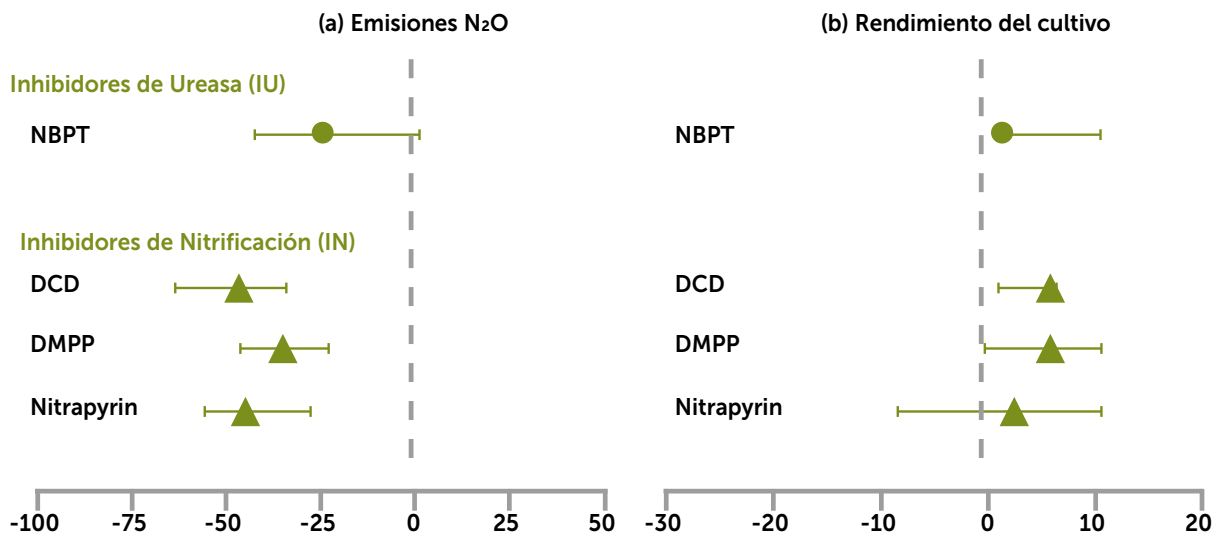
En cuanto a la efectividad de los inhibidores de la nitrificación (IN), Thapa en su conclusión señala que la misma varía según el tipo de cereal. En el meta-análisis que realizó se evaluaron 3 cultivos

(maíz, trigo y arroz), de los 3 en el cultivo de maíz fue donde se encontraron las mayores eficiencias, con una reducción en las emisiones del N₂O del 51% en promedio (variando entre 42 y 61%), luego el trigo (promedio: 30%, 24 a 36%) y por último el arroz (promedio: 27%. 18 a 37%). Esto indica que los IN pueden reducir las emisiones de N₂O más efectivamente en aquellos sistemas de cultivos que demandan más N.

También en este estudio se observó que la eficacia de los inhibidores variaba con el principio activo. Entre los más comunmente usados esta el dicyandiamide

(DCD) y 3,4 dimethylpyrazol phosphate (DMPP), los cuales reducen las emisiones de N₂O e incrementan el rendimiento cuando se comparan con los fertilizantes convencionales. Por otro lado, Nitrapyrin reduce la emisión de N₂O por 43% (27 a 54%) pero no hubo efecto en el rendimiento del cultivo (promedio 3,2%; 7,9 a 11%). Finalmente se concluyó que el DMPP es el inhibidor de la nitrificación que más efectividad tuvo, el cual puede deberse a que tiene una movilidad similar al NH₄ en el suelo (*Pasda et al 2001*). En contraste, la movilidad del DCD es más alta y la del Nitrapyrin es más baja (*Figura 3*).

Figura 3. Efecto individual (%) de la eficiencia de uso de los fertilizantes estabilizados vs los convencionales, sobre a) las emisiones de N₂O y b) la producción relativa de diferentes tipos de cultivos bajo distintos tipos de suelo y condiciones de manejo. Fuente: Thapa et al 2016.



NUTRICIÓN PARCIAL CON AMONIO

Además del nitrato, el amonio también puede ser fuente directa de nitrógeno para los cultivos. Sin embargo, a diferencia del nitrato, se trasloca poco en la rizosfera, lo que impide su rápida absorción por los sistemas radicales de las plantas. Los inhibidores de la nitrificación favorecen parcialmente la nutrición amónica de las plantas.

Un efecto secundario de la nutrición del cultivo con amonio es una mejora en la absorción de fósforo. Cuando las raíces de las plantas absorben iones de amonio, se emiten protones

(H⁺) para mantener el equilibrio de carga en las raíces. Como consecuencia de ello, el pH de la rizosfera disminuye hasta dos unidades, lo que favorece la movilización de fósforo en el suelo (*Curl y Truelove, 1986*). De igual manera, se potencia la movilidad y la absorción de algunos micronutrientes como el Mn (*Marschner, 1986*).

La movilización del fósforo y de los demás micronutrientes se intensifica con la adición de los inhibidores de la nitrificación, que alargan la fase de absorción de amonio. Sin embargo, los

nutrientes con carga positiva (por ej. Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) son tomados por la planta en presencia de nitrato por la sinergia con los aniones de nitrato (NO_3^-) (Fuente: *Fertilizers Europe, 2016*).

El amonio, que tiene carga positiva, es mucho menos móvil y es retenido en los coloides del suelo. Los inhibidores de la nitrificación actúan reduciendo el ritmo de conversión del amonio en nitrato y, por lo tanto, reduciendo el potencial de lixiviación.

Desde el punto de vista de los cultivos, la posibilidad de tener en el suelo mayor proporción de NH_4^+ disponible para las plantas, cuando se utilizan fertilizantes con inhibidores de nitrificación generará innumerables condiciones como mayor eficiencia de recuperación de N, mayor proporción de $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ en la solución suelo, mayor absorción de NH_4^+ , acidificación de la rizosfera, el aumento de P y micronutrientes solubles y disponibles, y con ello mayor absorción de estos elementos.

CONSIDERACIONES FINALES

- El manejo eficiente de los nutrientes a través de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) permite mejorar la adaptación al cambio climático, aumentar el secuestro de carbono de los suelos agrícolas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente de N_2O .
- La Fertilización nitrogenada es una de las herramientas claves en los sistemas productivos sustentables.
- El uso de los fertilizantes estabilizados nos ayudan a reducir las emisiones y aumentar la eficiencia de uso del N.
- **Difícilmente la Agricultura no emita... lo que debemos lograr es ser más eficientes, emitiendo menos por kg de grano o materia verde producida y así lograr una producción agrícola más sustentable.**

BIBLIOGRAFÍA:

- Ardell D. Halvorson, Clifford S. Snyder, Alan D. Blaylock, and Stephen J. Del Grosso. "Enhanced-efficiency Nitrogen fertilizers: Potential Role in Nitrous oxide emission mitigation". 2014.
- García F.; M. Taboada; M. F. San Juan y L. Picone. "El nitrógeno en la agricultura argentina. Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de grano y mitigar la emisiones de óxidos nitrosos". 2013. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1210>.
- Fertilizers Europe. Infinite nutrient stewardship. Fertilización nitrogenada: Inhibidores. 2016.
- Jimena de Dios P. C. "efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre la emisión de gases de efecto invernadero, rendimiento y la calidad panadera de un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*, L.). Universidad Politécnica de Madrid. 2018.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable. "3er Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la convención marco de la naciones unidas sobre el cambio climático". 2019.
- Thapa Resham. "Effect of enhanced efficiency fertilizer on Nitrous Oxide emissions and crop yields: A Meta-analysis". 2016.