

## MANEJO DEL NITRÓGENO Y EMISIONES DE GEI.



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 el 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, cuidando el medio ambiente.

El productor agropecuario argentino enfrenta el desafío de mejorar la reposición de nutrientes para lograr un salto en la brecha productiva y, a su vez, que este incremento sea sustentable con un uso eficiente de los mismos.

El maíz es uno de los cultivos de mayor

importancia en la Argentina. El área nacional sembrada en la campaña 2023/24 fue de 7,2 millones de ha (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2024), con un rinde promedio nacional estimado de 65,5 qq/ha (producción estimada de 46,5 millones de t), siendo el nitrógeno (N) el principal nutriente que limita la producción del cultivo. Por este motivo es fundamental trabajar con estrategias de nutrición que integren las **Mejores Prácticas de Manejo (MPM)** para la fertilización. Éstas consideran la definición de la **dosis** adecuada basada en herramientas de diagnóstico como el análisis de suelo, **momento** y forma de **aplicación** correcta y **fuentes** que aseguren una fertilización balanceada y la eficiencia de uso del nutriente.

Elegir trabajar con las MPM permite, no solo **mayores eficiencias de uso de los nutrientes aplicados**, sino también maximizar la producción y la eficiencia de uso de otros recursos e insumos, mantener y mejorar la fertilidad de los suelos y cuidar el ambiente, ya que ayuda a una **mayor adaptabilidad** al cambio climático, a **disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)** y **aumentar el secuestro de carbono de los suelos**. Estudios del IFA (International Fertilizer Association) comprobaron que con el uso de las MPM se puede reducir entre el **7 y 14%** las emisiones de GEI.

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 óxido nitroso ( $N_2O$ ), uno de los gases de efecto invernadero (GEI) junto con el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y el metano ( $CH_4$ ).

Los procesos de nitrificación del amonio ( $NH_4^+$ ) y la desnitrificación del nitrato ( $NO_3^-$ ) son fuentes de óxidos nitrosos ( $N_2O$ ). Si bien las emisiones de  $N_2O$  son mucho menores que las de  $CO_2$  a nivel global, su potencial de calentamiento es 265 veces superior al dióxido de carbono ( $CO_2$ ). 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 N que entra anualmente a los suelos agrícolas.

La utilización de inhibidores de la actividad ureásica y de la nitrificación se ha propuesto como una alternativa para mejorar la sincronización entre los momentos de mayor oferta y de demanda de N, aumentando el rendimiento (Drury *et al.*, 2017), la EUN y limitando la emisión de gases (Wang *et al.*,

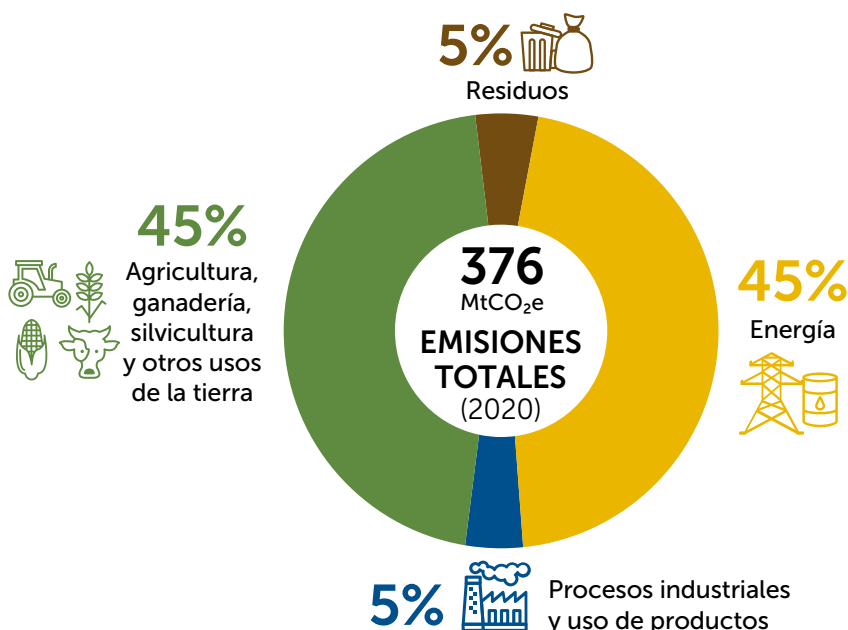


2020). Profertil comercializa **eNeTOTAL PLUS** (46% N), que contiene en su composición un inhibidor de la actividad ureásica (Limus).

Actualmente, Argentina presenta sus estimaciones de emisiones de GEI agropecuarias ante la Convención Marco de Cambio Climático de Naciones Unidas, a través de los reportes bianuales de inventarios nacionales de GEI (BUR) elaborados a partir de factores de emisión (FE) de Tier 1 que son propuestos, por defecto, por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Sin embargo, existen evidencias que indican que los inventarios podrían estar sobrestimando las emisiones reales de uso de fertilizantes como la urea de nuestro país (Said *et al.*, 2023). Según el 5<sup>to</sup> BUR de Argentina, el 45% de las emisiones totales pertenecen al sector Agricultura, ganadería, silvicultura y otros usos de la tierra (*Figura 1*) y de ellos un 26% corresponde a Agricultura de los cuales un 25% a fertilizantes. O sea, un 3% del total.

FIGURA 1: *Distribución sectorial de las emisiones de GEI del año 2020.*

Fuente: 5<sup>to</sup> informe bienal (BUR) de actualización de la Rep. Arg. a la CMNUCC. MAyDS 2023.



A raíz de esto, surge la necesidad de contar con datos locales y conocer el efecto de distintas fuentes de N (urea y urea con inhibidores de la ureasa) sobre las pérdidas por volatilización de NH<sub>3</sub> (consideradas emisiones indirectas) y emisiones directas de N<sub>2</sub>O en maíz. Esta información permitirá contribuir con el cálculo de FE locales (Tier 2) para distintas regiones de Argentina, mejorando el inventario de GEI y la estimación de la huella de carbono para los diferentes fertilizantes nitrogenados.

Para ello en el año 2020 comenzamos una red de ensayos de maíz en distintas localidades (Balcarce y Oliveros) que continúa extendiéndose en la actualidad y cuyos objetivos son:

- 1-** Evaluar el efecto de diferentes fuentes de N y dosis sobre la intensidad de emisión de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O.
- 2-** Evaluar el efecto de diferentes fuentes de N y dosis sobre el rendimiento en grano y sus componentes.
- 3-** Estimar la huella de carbono para diferentes fuentes utilizando factores locales de emisión (Tier 2) y compararla con la utilización de factores del IPCC de Tier 1.

En todos los sitios se evaluaron distintas dosis y dos fuentes de N: **Urea y eNeTOTAL PLUS (urea + Limus)**. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Estos ensayos son parte de tesis de doctorados que se están llevando a cabo. Durante el ciclo del cultivo, para cada una de las fuentes de N, se determinó la volatilización de N-NH<sub>3</sub> utilizando

un sistema estático semiabierto y la emisión de N<sub>2</sub>O con cámaras estáticas rectangulares móviles.

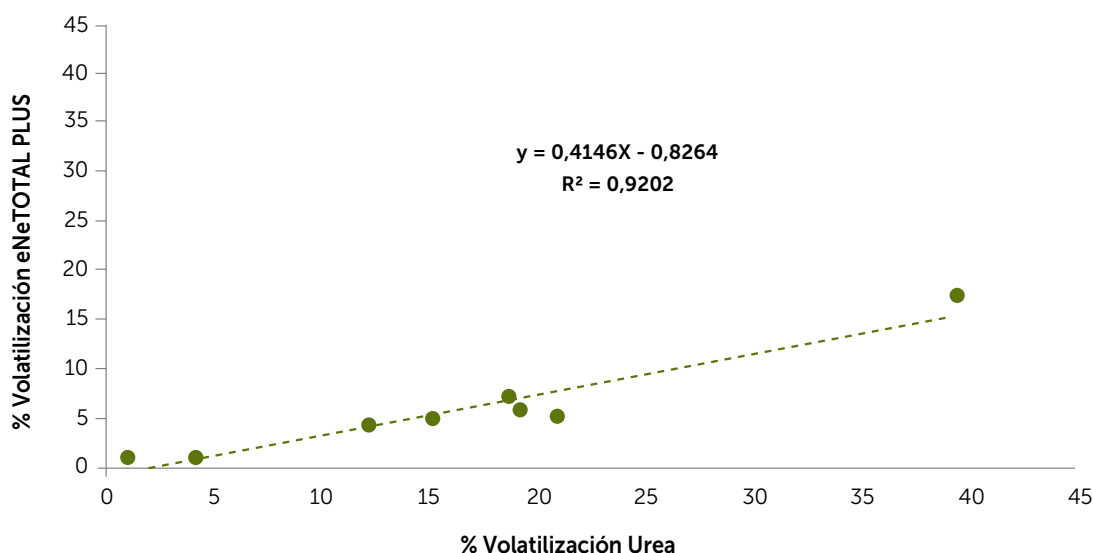
En la *Tabla 1* se pueden ver los resultados de rendimiento (kg/ha) y volatilización acumulada neta (%) para cada uno de los tratamientos en diferentes sitios y años.

TABLA 1.: Rendimiento (kg/ha) y pérdidas de N por volatilización de NH<sub>3</sub> neta (%) en el cultivo de maíz bajo distintas fuentes de N.  
Localidades: Balcarce y Oliveros. Campaña 2020-24. Dres. N. Reussi Calvo y F. Salvagiotti.

Campaña	Localidad	Fuente	Dosis (kg N/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Volatilización acumulada neta (%)
2020/21	Balcarce	Urea	100	10160	1,1
		eNeTOTAL PLUS	100	10570	1,2
	Oliveros	Urea	100	10044	12,2
		eNeTOTAL PLUS	100	10348	4,5
2021/22	Balcarce	Urea	200	6480	39,4
		eNeTOTAL PLUS	200	7147	17,3
	Oliveros	Urea	200	6931	4,2
		eNeTOTAL PLUS	200	7512	1,1
2022/23	Balcarce riego	Urea	200	17768	21
		eNeTOTAL PLUS	200	18617	5,2
	Balcarce seco	Urea	200	11205	19,2
		eNeTOTAL PLUS	200	11034	6,1
2023/244	Balcarce riego	Urea	200	15417	15,2
		eNeTOTAL PLUS	200	14321	5
	Balcarce seco	Urea	200	12418	18,7
		eNeTOTAL PLUS	200	12817	7,3

En el *Figura 2* se observa que el porcentaje de pérdida de NH<sub>3</sub> se redujo en un **70%** cuando se utilizó la fuente **eNeTOTAL PLUS**. Indicando que por cada 1 % de pérdida de N por volatilización con urea, solo se pierde 0,33 % si se emplea **eNeTOTAL PLUS**. Varios trabajos han reportado que el uso de inhibidores de la ureasa reduce en un 50 a 70% las pérdidas de N por volatilización del amoníaco del fertilizante (Silva et al. (2017), Toribio et al. (2023)).

FIGURA 2: Relación entre el porcentaje de pérdidas de N por volatilización de dos fuentes nitrogenadas (Urea y eNeTOTAL PLUS). Campañas 2020-24. Localidades Balcarce y Oliveros.

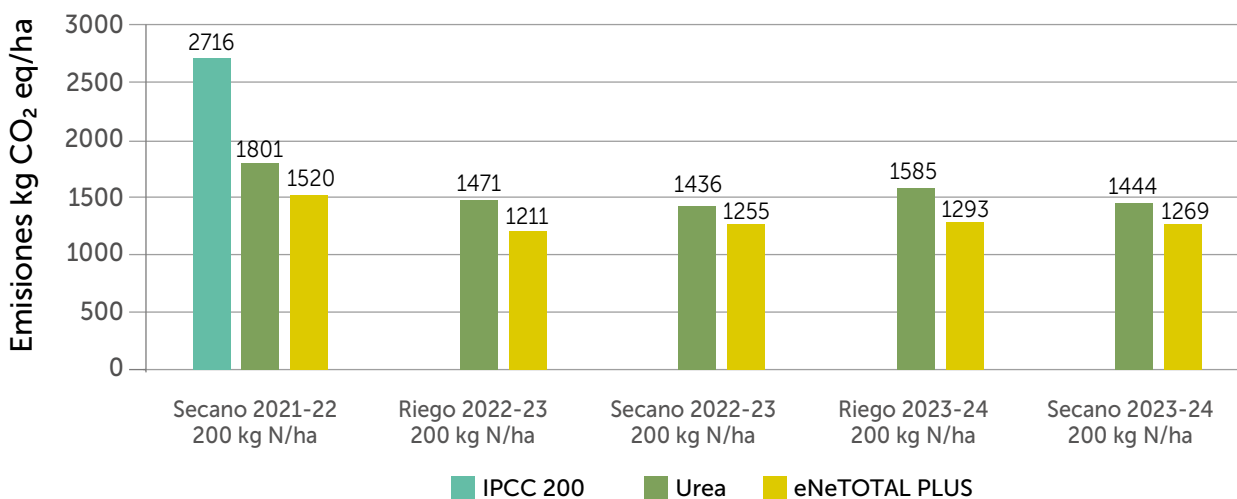
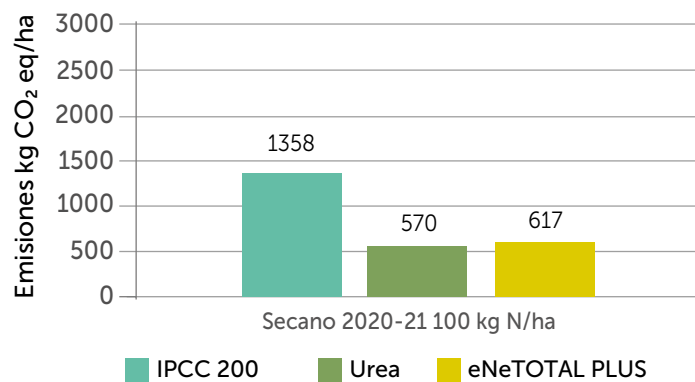


En base a la información generada (medición de las pérdidas de N por volatilización de amoníaco, medición de la emisión neta de N<sub>2</sub>O y estimación de la pérdida de N por lixiviación de NO<sub>3</sub>), se calculó la huella de carbono (kg CO<sub>2</sub>eq/ha) por uso de las distintas fuentes nitrogenadas según 1) las directrices del IPCC y, como alternativa, 2) utilizando los datos generados en estos ensayos de emisiones directas N<sub>2</sub>O e indirectas vía volatilización de NH<sub>3</sub> y lixiviación de nitratos (Figuras 3 y 4). Además, para completar este cálculo se consideró la emisión que se genera

durante la producción de la urea (Brentrup et al. (2008)).

Como resultado, se observó que en todos los casos, los valores de emisión directa de N<sub>2</sub>O fueron inferiores al 1% del N aplicado, valor propuesto por el IPCC. En general, las estimaciones del IPCC sobrestiman las emisiones de CO<sub>2</sub>eq/ha, lo cual se explicaría por el empleo de factores de emisión no ajustados localmente.

FIGURA 3. Emisiones de CO<sub>2</sub>eq/ha durante el cultivo de maíz bajo distintas fuentes y dosis de N:100 kg N/ha (arriba) y 200 kg N/ha (abajo). Campañas (2020-24). Localidad de Balcarce.

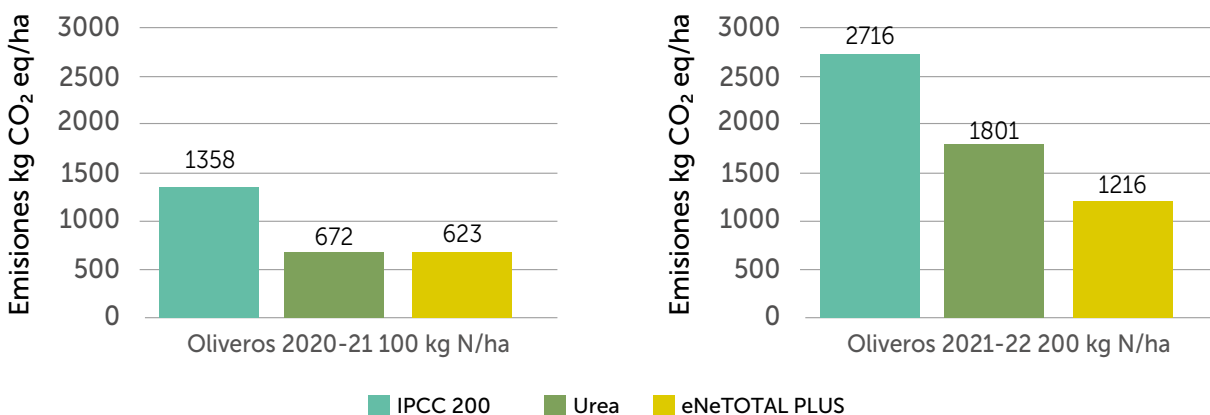




En Balcarce (*Figura 3*) se encontró que la huella de C (kg CO<sub>2</sub>eq/ha) es un 60 y 50% menor que la obtenida con factores de Tier 1 del IPCC, para las dosis de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente. Además, el empleo del **eNeTOTAL PLUS** redujo las emisiones en promedio el 14% con respecto a la urea con la dosis más alta (200 kg N/ha).

En Oliveros (*Figura 4*) se observó una reducción del 50% de las emisiones calculadas para la dosis de 100 kg/ha y de 34% para la dosis de 200 kg/ha de urea con respecto a las estimaciones realizadas con factores de Tier 1 del IPCC. Además, se observó una disminución de emisiones del 8% para la dosis de 100 kg N/ha y del 32% para la dosis de 200 kg N/ha, con el uso del **eNeTOTAL PLUS**.

FIGURA 4. *Emisiones en kg CO<sub>2</sub>eq/ha durante el cultivo de maíz bajo distintas fuentes y dosis de N:100 kg N/ha (izquierda) y 200 kg N/ha (derecha) en 2 campañas (2020-22). Localidad de Oliveros.*



## CONCLUSIONES

- El uso de **eNeTOTAL PLUS** disminuyó la pérdida de N por volatilización del amoníaco en un **70%**.
- En el **75%** de los ensayos se encontraron **aumentos de rendimiento** cuando se aplicó **eNeTOTAL PLUS**, los cuales variaron entre **300 y 800 kg/ha** con respecto a la misma dosis con urea.
- En todos los casos los valores de emisión directa de NO<sub>2</sub> fueron **inferiores al 1% del N** aplicado propuesto por el IPCC.
- El análisis de la huella de carbono (CO<sub>2</sub>eq/ha) indica que la misma **es un 50% y un 56% menor** cuando se usan factores locales (Tier 2) con respecto a los factores del IPCC (Tier 1), para la urea y el **eNeTOTAL PLUS** respectivamente.
- El empleo de **eNeTOTAL PLUS** sería una estrategia promisorio para **reducir las emisiones** que se generan durante el uso de la urea ya que disminuyó las emisiones en un **14%** en Balcarce y **20%** en Oliveros en promedio.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Brentrup, F., & Palliere, C. 2008. "GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use". Obtenido de Proc. International Fertiliser Society, December 11, York, UK.
- Drury, C., Yang, X., Reynolds, D., Calder, W., Oloya, T. O., & Woodley, A. L. 2017. Combining Urease and Nitrification Inhibitors with Incorporation Reduces Ammonia and Nitrous Oxide Emissions and Increases Corn Yields. *J. Environ. Qual.* 46, 939-949.
- Iglesias, P., Wyngaard, N., Sainz Rozas, H., Lewczuck, N., Carciochi, W., Toribio, M., Tovar, S., García, F., Reussi Calvo, N. 2023. "Estrategias de manejo de nitrógeno para reducir las pérdidas por volatilización en maíz bajo condiciones de riego y seco". *Actas Simposio Fertilidad 2023*.
- Iglesias, P., Wyngaard, N., Sainz Rozas, H., Lewczuck, N., Tovar Hernández, S., Toribio, M., Ricciuto, D., García, F., Reussi Calvo, N. 2024. "Manejo de Nitrógeno para reducir la emisión de óxido nitroso en maíz bajo riego y seco". *Actas XXIX Congreso de la AACs. Catamarca 2024*.
- Said, A., Posse, G., Vangeli, S. Y Popper, A. 2023. ¿Podemos mejorar las estimaciones de las emisiones de N<sub>2</sub>O en Argentina? *Ciencia del Suelo*, 41(1), 99-115.
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo sustentable. "5to Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático". 2023.
- Silva, A. G. B., Sequeira, C. H., Sermarini, R. A. & Otto, R. 2017. Urease Inhibitor NBPT on Ammonia Volatilization and Crop Productivity: A Meta-Analysis. *Review & Interpretation. Agron. J.* 109: 1-13.
- Toribio, M., Iglesias, P., Correndo, A., Wyngaard, N., Reussi Calvo, N. "Factores determinantes de la volatilización de amoníaco y su efecto sobre el rendimiento del maíz". *Revista Cienc. Suelo* 41 (2): 193-205, 2023.
- Tovar Hernández, S., Salvagiotti, F., Carciochi, W., Lewczuck, N., Hernández, K., Biassoni, M., Kehoe, E., Avila, O., García, G., Toribio, M., Wyngaard, N., García, F., Sainz Rozas, H., Reussi Calvo, N. 2022. "Pérdidas gaseosas de nitrógeno según fuente y dosis de fertilizante en el cultivo de maíz". *Actas XXVIII Congreso de la AACs. Buenos Aires 2022*.
- Wang, H., Köbke, S., Dittert, K. 2020. Use of urease and nitrification inhibitors to reduce gaseous nitrogen emissions from fertilizers containing ammonium nitrate and urea. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00933. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e00933.

