

¿Cuánto nitrógeno se pierde por volatilización de amoníaco en el cultivo de maíz en Argentina?

Gamarra, A. ¹; Melchiori, R. ¹; Reussi Calvo, N. ²; Acreche, M. ^{3,4}; Araujo, J. ^{3,8}; Biassoni, M. ⁵; Carrizo, M. ³; Chalco Vera, J. ^{3,4}; García, F. ²; Iglesias, P. ²; Kettler, B. ⁶; Lewczuk, N. ⁷; Namtz, Y. ⁶; Neiff, N. ⁶; Rodríguez, P. ²; Salvagiotti, F. ^{3,8}; Stahringer, N. ⁷; Wyngaard, N. ^{2,3}; Toribio, M. ⁹; Gregorutti, C. ¹

¹EEA INTA Paraná, Ruta 11 Km 12,5 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina gamarra.anabel@inta.gob.ar

²Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP. ³CONICET; ⁴EEA INTA Salta ⁵Facultad de Ciencias Agrarias, UNR;

⁶Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. ⁷EEA INTA Balcarce. ⁸EEA INTA Oliveros; ⁹Profertil S.A.

How much nitrogen is lost through ammonia volatilization in corn cultivation in Argentina?

Abstract

El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante para el rendimiento del maíz, su eficiencia se ve afectada por pérdidas, principalmente por volatilización de amoníaco (NH₃) desde la urea aplicada en superficie. Los inhibidores de la ureasa representan una alternativa para reducir dichas pérdidas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la dosis (0, 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹), y dos fuentes de N, urea y urea con inhibidor de la ureasa (urea-limus), sobre: a) volatilización de NH₃, b) rendimiento del maíz y c) Productividad Parcial del Factor (PPF), como indicador de EUN, en distintas regiones de Argentina. Se realizaron ocho experimentos en: Balcarce, Oliveros, Paraná y Salta, entre las campañas 2020 y 2025. La volatilización acumulada aumentó con la dosis y varió entre sitios desde 7 a 62 kg ha⁻¹. Urea-limus redujo las pérdidas entre un 50 y 69% respecto a la urea convencional, sin afectar negativamente el rendimiento, que varió entre 5,3 y 11,7 t ha⁻¹. No se observaron diferencias atribuibles a la fuente de N sobre la PPF en ninguno de los sitios. Estos resultados evidencian la necesidad de ajustar la dosis de N y el uso de inhibidores según las condiciones edafoclimáticas de cada región.

Palabras Clave: urea, pérdidas gaseosas, eficiencia del uso de nitrógeno, fertilizantes de eficiencia mejorada.

Keywords: urea, gaseous losses, nitrogen use efficiency, enhanced-efficiency fertilizers

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos extensivos más importantes de Argentina, aunque sus rendimientos actuales se sitúan, en promedio, un 40% por debajo del potencial estimado para la región (Aramburu Merlos *et al.*, 2015). La nutrición nitrogenada es uno de los factores principales para reducir esta brecha de rendimiento, ya que el nitrógeno (N) limita comúnmente la producción (Ciampitti y Vyn, 2014). Sin embargo, la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) se encuentra condicionada por diversos mecanismos de pérdida, que pueden representar más del 50 % del N aplicado. Entre estos, la volatilización de amoníaco (NH₃) se destaca como una de las principales vías de pérdida de nitrógeno (Herrera *et al.*, 2016).

Este proceso ocurre naturalmente en todos los suelos, pero se intensifica significativamente con la aplicación superficial de urea (46-0-0), la fuente nitrogenada

más utilizada en el país. Una vez aplicada en cobertura, la urea sufre un proceso de hidrólisis catalizada por la enzima ureasa, presente en los residuos de cosecha y en la superficie del suelo. Esta reacción genera un aumento del pH alrededor del gránulo de fertilizante, desplazando el equilibrio hacia la formación de NH_3 en forma gaseosa, el cual se pierde hacia la atmósfera. La magnitud de estas pérdidas depende de la interacción de factores edafoclimáticos como la temperatura, el contenido de humedad, el pH, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica, entre otros (Kissel y Cabrera 1988).

Para mitigar este problema, se han desarrollado tecnologías basadas en inhibidores de la actividad ureásica. El inhibidor Limus (compuesto por las triamidas NBPT y NPPT) es una de las alternativas más eficaces, ya que puede retrasar la hidrólisis de la urea entre 7 y 10 días (Wang et al., 2020). Al demorar este proceso, se reduce la tasa de producción de amonio en superficie y se incrementa la probabilidad de que el fertilizante sea incorporado al suelo por un evento de precipitación, mejorando la eficiencia de recuperación del nutriente.

Una mejor evaluación de la eficiencia de la fertilización nitrogenada requiere el uso de indicadores que integren tanto la respuesta productiva del cultivo como el aprovechamiento del nitrógeno aplicado. En este sentido, la productividad parcial del factor (PPF) cuantifica los kilogramos de grano producidos por unidad de N aplicada, mientras que la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) expresa el grado de aprovechamiento del nitrógeno por el sistema. Si bien ambos indicadores difieren conceptualmente, presentan una estrecha relación, por lo que su utilización conjunta permite identificar niveles de fertilización que optimicen simultáneamente la productividad y la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Debido a lo mencionado, existe una necesidad crítica de contar con datos locales que permitan mejorar las estimaciones de pérdidas y la EUN en maíz. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la dosis y la fuente de N sobre la volatilización de NH_3 , el rendimiento del cultivo de maíz y la productividad parcial del factor (PPF), empleando este último como indicador del nivel de eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) alcanzado bajo diferentes condiciones de producción en regiones maiceras de Argentina.

Materiales y Métodos

Se realizaron ocho experimentos en el cultivo de maíz en cuatro regiones agrícolas de Argentina: tres campañas en Balcarce (Sudeste Bonaerense, 2020/21-2023/24), dos en Oliveros (Sur de Santa Fe, 2020/21-2021/22), dos en Paraná (Oeste de Entre Ríos, 2024/25-2025/26) y una en Salta (NOA, 2023/24). En cada sitio, se utilizó un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Se emplearon híbridos de maíz adaptados a cada zona y la siembra se realizó en las fechas óptimas para cada región bajo siembra directa. Las características edáficas de los sitios experimentales se describen en detalle en Biassoni *et al.* (2026). Los tratamientos consistieron en dos fuentes nitrogenadas: urea granulada (46-0-0) y urea con inhibidor de la ureasa (Limus), el cual está compuesto por un 75% de triamida N-(n-butil) tiofosfórica y un 25% de triamida N-(n-propil) tiofosfórica. Se evaluaron cuatro dosis de nitrógeno (N): 0 (testigo), 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹. La aplicación de los fertilizantes se

realizó al voleo en superficie cuando el cultivo se encontraba entre los estadios de 4 y 6 hojas desarrolladas (V₄-V₆) (Ritchie y Hanway, 1982).

Para la determinación de la volatilización de NH₃, se utilizó el método de sistema estático semiabierto (Miola *et al.*, 2015). La cuantificación del N-NH₃ se realizó mediante el método de microdestilación (Bremner y Keeney 1965). Las mediciones se iniciaron inmediatamente después de la fertilización y continuaron hasta que las pérdidas en los tratamientos fertilizados fueron insignificantes e igualaron al testigo, o hasta la ocurrencia de un evento de precipitación mayor a 10 mm, considerado suficiente para incorporar el fertilizante al suelo, a partir de lo cual las pérdidas por volatilización de amoníaco pueden ser despreciables.

A partir de los valores diarios, se calculó la volatilización acumulada y la volatilización neta acumulada, esta última restando la emisión del testigo a los tratamientos fertilizados. Se calculó la Productividad Parcial del Factor (PPF) como el cociente entre el rendimiento del tratamiento fertilizado y el N aplicado (Dobermann 2007) y la EUN % se interpretó a partir de los valores de la PPF, usando los rangos de referencia del EU Nitrogen Expert Panel (2015): valores menores a 60 % de EUN reflejan riesgos de pérdida de nutrientes al medioambiente y valores mayores a 90 % reflejan prácticas de extracción de nutrientes que reducen la fertilidad del suelo. Asimismo, se obtuvo la intensidad de volatilización (Huang *et al.* 2016) como la relación entre la volatilización acumulada y las toneladas de grano de maíz.

En los sitios evaluados durante más de una campaña agrícola, los datos de volatilización diaria de NH₃, volatilización acumulada de NH₃, intensidad de volatilización y rendimiento de grano se promediaron entre campañas para cada tratamiento, utilizando estos valores para los gráficos.

El efecto de los tratamientos se evaluó mediante análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020). Las diferencias entre medias fueron comparadas mediante pruebas de significancia usando el test de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados

Volatilización de N-NH₃

La dinámica de volatilización de NH₃, expresada en kg N ha⁻¹, (Figura 1) mostró un patrón con un pulso temprano seguido de una declinación gradual en los cuatro sitios, aunque con marcadas diferencias en la magnitud del pico según el ambiente y la dosis. Balcarce presentó la dinámica más intensa, con un pico en el tratamiento de urea 200 kg N ha⁻¹ que alcanzó 22,5 kg N ha⁻¹ día⁻¹ entre los días 3 y 4 luego de la fertilización, muy por encima del resto de los tratamientos y sitios, mientras que urea-limus 200 kg N ha⁻¹ redujo ese pico a 5,2 kg ha⁻¹ día⁻¹. En Salta se observó un comportamiento similar pero más concentrado en el tiempo, con el pico de urea 200 kg N ha⁻¹ ocurriendo en el día 2 (17,2 kg ha⁻¹ día⁻¹) y descendiendo hacia el día cinco. Paraná mostró un pico también temprano (día 2) pero de menor magnitud que Balcarce y Salta (9 kg ha⁻¹ día⁻¹ en promedio con urea 200 kg N ha⁻¹), con la particularidad de que los tratamientos con urea-limus presentaron una segunda elevación hacia los días 6-7, aunque con valores muy bajos. Oliveros, en cambio, exhibió las menores pérdidas de los cuatro sitios, con picos máximos que no superaron los 3 kg ha⁻¹ día⁻¹ incluso en el tratamiento de mayor dosis. En todos los sitios, los tratamientos con urea-limus mostraron picos más bajos y,



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

en varios de ellos, levemente desplazados en el tiempo respecto a la urea convencional, mientras que el testigo se mantuvo con valores diarios mínimos y estables (siempre por debajo de $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a lo largo de todo el período de medición en los cuatro sitios.

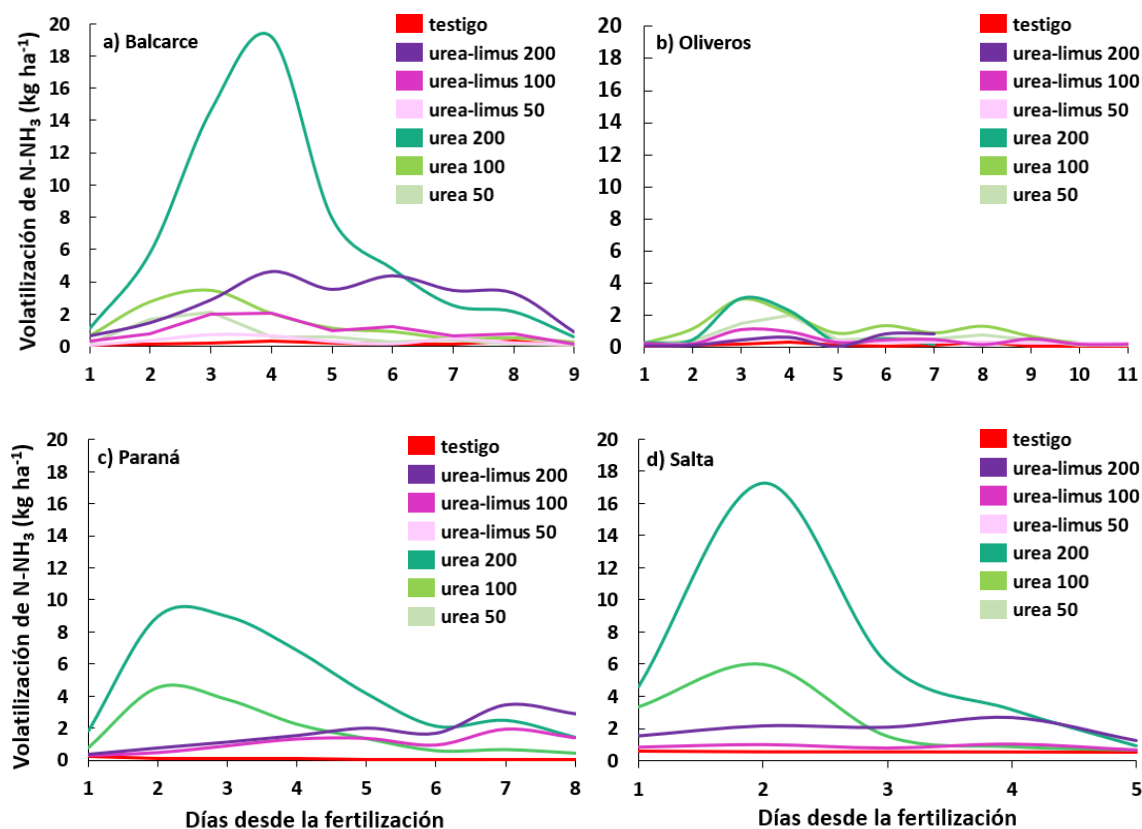


Figura 1. Dinámica de la volatilización de N-NH_3 luego de la fertilización en los sitios de a) Balcarce, b) Oliveros, c) Paraná y d) Salta. Se comparan un tratamiento testigo (sin N), tres dosis de N (50, 100 y 200 kg N ha^{-1}) y dos fuentes: urea y urea tratada con limus. La volatilización de NH_3 se expresa como $\text{kg N-NH}_3 \text{ ha}^{-1}$ y se presenta en función de los días transcurridos desde la fertilización.

Volatilización acumulada de N-NH_3

La volatilización acumulada de N-NH_3 (Figura 2a) mostró un patrón consistente en los cuatro sitios, incrementándose con la dosis de N aplicada (Huang *et al.*, 2016) y siendo menor con urea-limus respecto a la urea convencional en todas las combinaciones de sitio y dosis, similar a lo reportado por Barbieri *et al.* (2010). La dosis de 200 kg N ha^{-1} con urea registró las mayores pérdidas en todos los sitios, alcanzando su máximo en Balcarce (62 kg ha^{-1}), seguido por Salta (32 kg ha^{-1}), Paraná (30 kg ha^{-1}) y más bajo en Oliveros (7 kg ha^{-1}), diferenciándose Balcarce del resto con pérdidas entre 2 y 9 veces superiores, lo que sugiere una mayor susceptibilidad ambiental a la volatilización en esa localidad, mientras que Oliveros mostró el comportamiento más conservador incluso a dosis altas. Esta mayor pérdida en Balcarce podría explicarse por las condiciones térmicas registradas durante el período de evaluación, donde se alcanzaron las temperaturas máximas más elevadas de los cuatro sitios ($34,5^\circ \text{C}$), favoreciendo la actividad de la ureasa y la consecuente volatilización de NH_3 . El uso de urea-limus permitió reducir la volatilización acumulada entre un 50% y un 69% respecto a la urea convencional según el sitio y la dosis. Las parcelas testigo, sin fertilizar, registraron pérdidas mínimas y similares entre sitios ($0,5$ a $2,8 \text{ kg ha}^{-1}$), confirmando que

la volatilización medida en los tratamientos fertilizados es atribuible mayormente al fertilizante nitrogenado aplicado.

Las pérdidas de N por volatilización de NH_3 (Figura 2b), expresadas como porcentaje de la dosis aplicada oscilaron entre 3,5 y 30,8%. Resultados similares fueron reportados por Said *et al.* (2023), quienes determinaron valores entre 0 y 33,6 % para Argentina. Dichas pérdidas mostraron diferencias marcadas entre sitios y un patrón distinto al observado en los valores absolutos, ya que en términos relativos el efecto de la dosis no fue uniforme entre localidades: en Balcarce, Paraná y Salta las pérdidas porcentuales aumentaron con la dosis (alcanzando con urea 200 kg N ha^{-1} el 30,8; 17,4 y 16 % del N aplicado, respectivamente), mientras que en Oliveros se observó el patrón inverso, con la mayor pérdida relativa en la dosis más baja (12,6% con urea 50 kg N ha^{-1}) y una marcada disminución hacia la dosis de 200 kg N ha^{-1} (3,5%). Balcarce volvió a destacarse por presentar las mayores pérdidas porcentuales en la dosis más alta, duplicando o triplicando los valores de los demás sitios. En cuanto al efecto del inhibidor de ureasa, urea-limus redujo las pérdidas relativas de NH_3 entre un 50% y un 69% respecto a la urea convencional para todos los sitios, con una reducción mayor con la dosis de 200 kg N ha^{-1} (60% en Balcarce, 61% en Oliveros, 69% para Paraná y Salta), confirmando de manera consistente con los valores absolutos que el uso del inhibidor disminuye proporcionalmente la fracción de N perdida por volatilización independientemente del sitio o la dosis evaluada. En promedio, las pérdidas por volatilización de urea para todos los sitios, fue del 14,1%, valor levemente inferior al propuesto por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019).

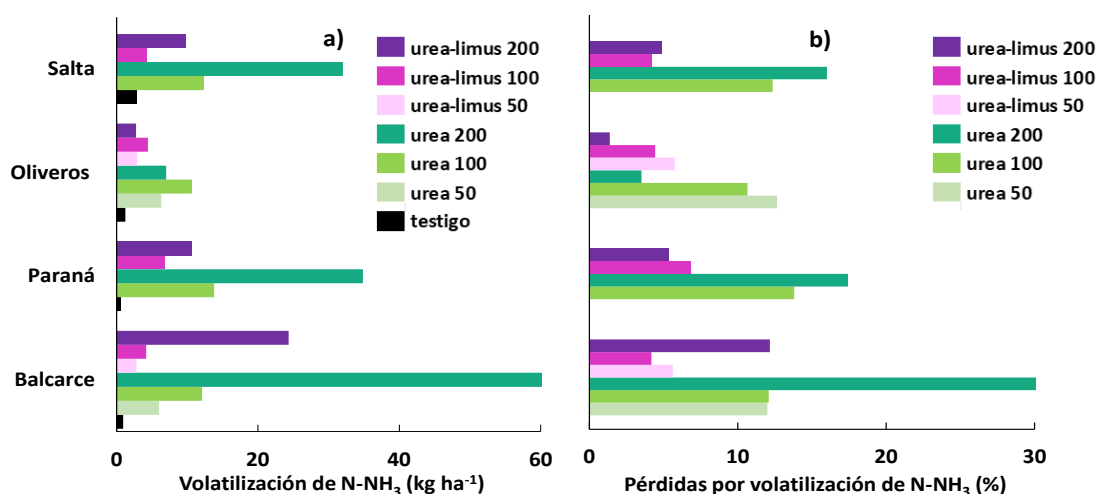


Figura 2. Volatilización acumulada de N-NH_3 expresada en kg ha^{-1} (a) y pérdidas de N por volatilización de N-NH_3 , expresadas como porcentaje del N aplicado (b) en los cuatro sitios evaluados (Balcarce, Oliveros, Paraná y Salta). Los tratamientos fueron: testigo, urea y urea con inhibidor de ureasa (limus) aplicados a 50, 100 y 200 kg N ha^{-1} .

Rendimiento e intensidad de volatilización

En todos los sitios evaluados, la fertilización nitrogenada incrementó el rendimiento respecto al testigo (Figura 3a), aunque la magnitud de la respuesta dependió del ambiente. En Balcarce, los tratamientos con mayor rendimiento fueron los de 200 kg N ha^{-1} (para ambas fuentes), que difirieron significativamente del testigo, mientras que el resto de los tratamientos fertilizados presentaron valores intermedios, sin diferencias entre fuentes (urea y urea-limus) para una misma dosis. En Paraná y

Oliveros no hubo diferencias estadísticamente significativas entre dosis ni entre fuentes de N. En Salta, los tratamientos fertilizados alcanzaron rendimientos significativamente superiores al testigo, sin diferencias entre las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ ni entre las fuentes de N, excepto el tratamiento de urea con 50 kg N ha⁻¹ no se diferenció estadísticamente del testigo.

En conjunto, el efecto de la dosis de N fue estadísticamente significativo en Balcarce y Salta, donde la fertilización incrementó el rendimiento respecto al testigo, mientras que en Paraná y Oliveros no se detectó respuesta significativa a la fertilización. En ninguno de los cuatro sitios se observaron diferencias significativas entre fuentes de N (urea vs. urea-limus) para una misma dosis, lo que indica que el uso del inhibidor de la ureasa (limus) no modificó de forma consistente el rendimiento de maíz.

La intensidad de volatilización, (Figura 3b) que expresa las pérdidas de N-NH₃ con relación al rendimiento obtenido, mostró diferencias marcadas entre sitios y tratamientos. Balcarce registró los valores más elevados, con urea 200 kg N ha⁻¹ alcanzando 5,5 kg t⁻¹. Este valor fue considerablemente superior al observado para el resto de los sitios y tratamientos, lo que indica que en esta localidad las pérdidas por volatilización representaron una proporción mayor por kg de grano producido. Paraná ocupó el segundo lugar con 5 kg t⁻¹ con el tratamiento de urea 200 kg N ha⁻¹, seguido por Salta (2,7 kg t⁻¹) y Oliveros, que mostró la menor intensidad entre dosis (entre 0,7 y 1,1 kg t⁻¹ para urea), reflejando su menor volatilización absoluta con relación a los rendimientos obtenidos.

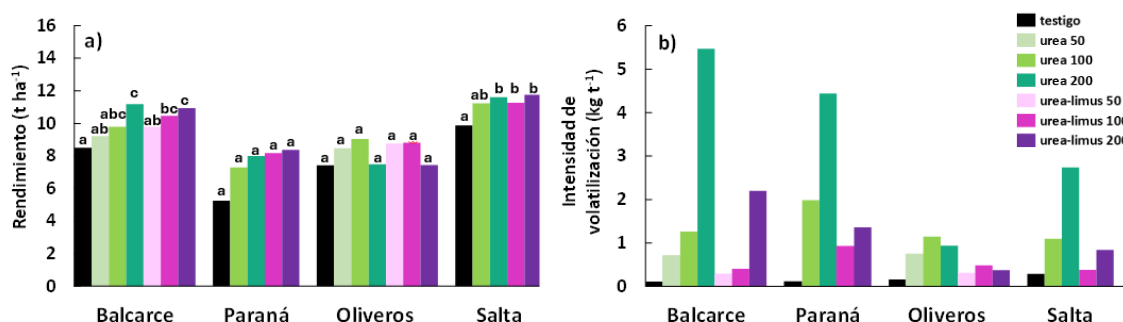


Figura 3. Rendimiento de maíz expresado como t ha⁻¹ (a), e Intensidad de volatilización expresada en kg N-NH₃ t grano⁻¹ (b), en los cuatro sitios evaluados (Balcarce, Oliveros, Paraná y Salta). Los tratamientos fueron: testigo, urea y urea con inhibidor de ureasa (limus) aplicados a 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹.

Eficiencia de Uso de Nitrógeno y Productividad Parcial del Factor

La Figura 4 presenta el rendimiento de grano de maíz en relación con la dosis de N aplicada, comparado con tres niveles de referencia de EUN (30, 60 y 90%), equivalentes a valores de Productividad Parcial del Factor (PPF) de 25, 50 y 80 kg de grano por kg de N aplicado, respectivamente. El rango de EUN entre 60 y 90% se considera la zona "ideal": valores superiores al 90% indican un mayor riesgo de degradación del suelo (extracción de N del suelo por sobre el aportado por fertilización), mientras que valores inferiores al 60% implican un mayor riesgo de pérdidas de nitrógeno al ambiente.

Con la dosis de 100 kg N ha⁻¹, tanto Salta como Balcarce superaron ampliamente la línea de EUN = 90% con ambas fuentes de N (urea y urea-limus), ubicándose en la zona de riesgo de degradación del suelo. Esto indica que, a esa dosis, el suelo estaría aportando una fracción importante del N absorbido por el cultivo por encima de lo suministrado por el fertilizante, es decir, la dosis aplicada resultó insuficiente en relación

con la demanda del cultivo y la oferta de N del suelo. Con 200 kg N ha^{-1} , ambos sitios se desplazaron hacia la zona ideal de EUN con las dos fuentes evaluadas.

En los sitios de Oliveros y Paraná, en cambio, la aplicación de 200 kg N ha^{-1} resultó en valores de EUN inferiores al 60%, ubicándolos en la zona de mayor riesgo de pérdida de nitrógeno al ambiente.

En cuanto al efecto del inhibidor, el uso de urea-limus no modificó sustancialmente la zona de EUN en la que se ubicaron los puntos respecto de la urea convencional, para ninguno de los sitios ni dosis evaluadas.

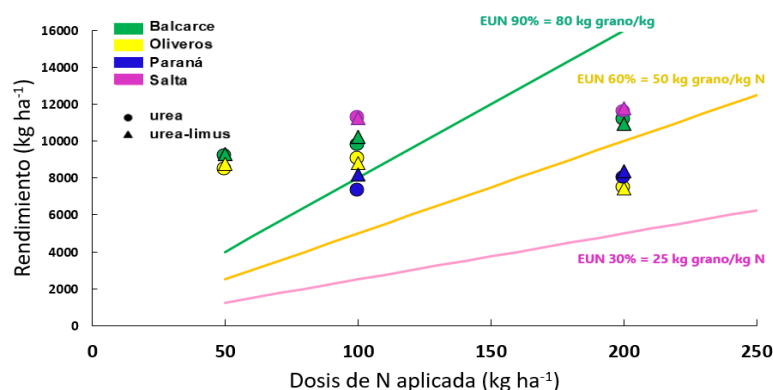


Figura 4. Relación entre la dosis de N aplicada y el rendimiento de grano en los cuatro sitios evaluados. Los colores identifican los sitios experimentales y los símbolos la fuente de N (círculos: urea; triángulos: urea-limus). Las líneas diagonales corresponden a EUN = 90, 60 y 30% equivalentes respectivamente a 80, 50 y 25 kg de grano kg de N^{-1} .

CONCLUSIONES

La dinámica de volatilización de N-NH_3 mostró picos entre los días 2 y 4 desde la fertilización con urea, siendo Balcarce y Salta los sitios con los picos más altos en la dosis de 200 kg N ha^{-1} . La volatilización acumulada aumentó significativamente con la dosis de 200 kg N ha^{-1} , con un incremento marcado en la dosis más alta. Sin embargo, las pérdidas relativas al N aplicado no respondieron de manera uniforme entre sitios. En términos de intensidad, Balcarce y Paraná registraron los valores más altos, indicando que en estos sitios las pérdidas gaseosas representaron una proporción mayor del rendimiento obtenido.

Respecto a la fuente, urea-limus redujo de manera significativa las pérdidas de N-NH_3 frente a la urea convencional, independientemente de la dosis aplicada.

El rendimiento de maíz, por su parte, aumentó con la dosis de N en Balcarce y Salta, sin respuesta significativa en Paraná y Oliveros, y sin diferencias consistentes entre fuentes, aunque urea-limus tendió a igualar o superar levemente a la urea convencional.

En cuanto a la eficiencia de uso de nitrógeno, evaluada a través de la PPF, los valores se ubicaron dentro del rango ideal de EUN (60-90%) con la dosis de 200 kg N ha^{-1} en Balcarce y Salta, mientras que en Oliveros y Paraná esa misma dosis resultó en valores de EUN inferiores al 60%, reflejando un mayor riesgo de pérdida de N al ambiente. No se observaron diferencias atribuibles a la fuente de N sobre la PPF/EUN en ninguno de los sitios evaluados.

En conjunto, los resultados demuestran que el empleo de inhibidores de la ureasa constituye una estrategia eficaz para disminuir las pérdidas de N por volatilización sin comprometer la productividad del cultivo. No obstante, la magnitud de esta respuesta

depende de las condiciones ambientales de cada sitio, lo que resalta la necesidad de ajustar las estrategias de manejo del nitrógeno a las particularidades de cada ambiente, con el fin de maximizar la eficiencia del fertilizante y reducir su impacto ambiental

APOYO FINANCIERO

Los autores agradecen a la empresa Profertil S.A. por el apoyo financiero brindado para el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Aramburu Merlos, F.; Monzon, J.P.; Mercu, J.L.; Taboada, M.; Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*. **184**: 145–154.
- Barbieri, P.A.; Echeverría, H.E.; Saínz Rozas, H.R.; Maringolo, M. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del Suelo*. **28**(1): 57–66.
- Biassoni, M.; Gamarra, A.; Iglesias, P.; Kettler, B.; Acreche, M.; Araujo, J.; Carrizo, M.; Chalco Vera, J.; García, F.; Gregorutti, C.; Lewczuk, N.; Melchiori, R.; Namtz, Y.; Neiff, N.; Rodríguez, P.; Salvaggiotti, F.; Stahringer, N.; Wyngaard, N.; Toribio, M.; Reussi Calvo, N. 2026. ¿El uso de inhibidores de la ureasa mejora la eficiencia de uso de nitrógeno en maíz? *XXX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Bariloche, Río Negro, Argentina.
- Bremner, J.M.; Keeney, D.R. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*. **32**: 485–495.
- Ciampitti, I.A.; Vyn, T.J. 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agronomy Journal*. **106**(6): 2107–2117.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency: measurement and management. En: *Proceedings of the International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices*. Brussels. 1–28.
- EU Nitrogen Expert Panel. 2015. *Nitrogen Use Efficiency (NUE): An indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems*. Wageningen University, Alterra. Wageningen, Países Bajos.
- Herrera, J.M.; Rubio, G.; Haner, L.L.; Delgado, J.A.; Lucho-Constantino, C.A.; Islas-Valdez, S.; Pellet, D. 2016. Emerging and established technologies to increase nitrogen use efficiency of cereals. *Agronomy*. **6**(2): 1–19.
- Huang, S.; Lv, W.; Bloszies, S.; Shi, Q.; Pan, X.; Zeng, Y. 2016. Effects of fertilizer management practices on yield-scaled ammonia emissions from croplands in China: a meta-analysis. *Field Crops Research*. **192**: 118–125.
- IPCC. 2019. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*.
- Kissel, D.E.; Cabrera, M.L. 1988. Factors affecting urea hydrolysis. En: Bock, B.R.; Kissel, D.E. (Eds.). *Ammonia Volatilization from Urea Fertilizers*. National Fertilizer Development Center, TVA. Muscle Shoals. 53–66.
- Miola, E.C.; Aita, C.; Rochette, P.; Chantigny, M.H.; Angers, D.A.; Bertrand, N.; Gasser, M.O. 2015. Static chamber measurements of ammonia volatilization from manured soils: impact of deployment duration and manure characteristics. *Soil Science Society of America Journal*. **79**(1): 305–313.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. 1982. *How a Corn Plant Develops*. Special Report Nº 48. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, EE.UU. 24 p.
- Said, A.; Posse, G.; Vangeli, S.; Popper, A. 2023. ¿Podemos mejorar las estimaciones de las emisiones de N₂O en Argentina? *Ciencia del Suelo*. **41**(1): 99–115.
- 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.