

¿PUEDE EL SORGO REGULAR LAS EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO?

Chalco Vera J.^{1,2,*}; Vassallo G.³; Carrizo M.³; Zarate M.³; Acreche M.^{1,2}

¹ Estación Experimental Agropecuaria Salta, INTA, Ruta Nacional 68, km 172, (4403) Cerrillos, Salta, Argentina

² CONICET, Buenos Aires, Argentina

³ Facultad de Ciencias Naturales-UNSa, Salta, Argentina

E-mails: *chalcovera.jorge@inta.gob.ar; gianivassallo@gmail.com; manuelcarrizo0493@gmail.com; zaratemariano22@gmail.com; acreche.martin@inta.gob.ar

COULD SORGHUM REGULATE NITROUS OXIDE EMISSIONS?

Abstract

In Argentina, agriculture contributes significantly to greenhouse gas emissions, mainly as nitrous oxide (N₂O) from synthetic nitrogen (N) use. Efforts to reduce emissions include managing nitrification with crops such as sorghum, which inhibits nitrification through root exudates. This study aimed to determine the impact of sorghum associated as a service crop with a high N-demand crop on N₂O emissions and yield. Emissions measurements were made using the static chamber method and cash crop yield was estimated from manual biomass sampling. The sorghum treatment tended to show lower cumulative N₂O emissions than traditional fertilization treatments in full and sub-doses of N and, in turn, improved the cash crop yield by 14%. This study highlights the necessity of carrying out complementary studies with a better frequency of N₂O measurements and in environments that better represent the commercial production of the cash crop.

Keywords: Climate change; Mitigation; Nitrification; Service crop; Smart agriculture

Palabras Clave: Agricultura inteligente; Cambio climático; Cultivo de servicio; Nitrificación; Mitigación

Introducción

En Argentina, la agricultura es uno de los principales sectores que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (MAYDS, 2021). La mayor parte de su contribución se asocia a la emisión de óxido nitroso (N₂O), un gas con un poder de calentamiento global 298 veces mayor al dióxido de carbono (CO₂) y degradador del ozono (O₃) estratosférico (IPCC, 2023). La emisión de este gas es intensificada principalmente por la aplicación de nitrógeno (N) sintético a los sistemas productivos. En el suelo, el N aplicado es convertido por microorganismos nitrificantes a la forma de nitrato (NO₃⁻) liberando además N₂O. Además, el NO₃⁻ es susceptible de perderse por lixiviación y escorrentía. Por este motivo, se han propuesto estrategias de manejo para maximizar la proporción de N absorbido por la planta y reducir sus pérdidas al medio ambiente como ser sincronizar los métodos de aplicación de fertilizantes con los patrones de crecimiento de las plantas y/o usar inhibidores sintéticos de la nitrificación (Di & Cameron, 2002). Sin embargo, la adopción masiva de estos inhibidores se ha restringido tempranamente debido a problemas relacionados con dificultades de aplicación, costo, degradación y contaminación de alimentos (Akiyama et al., 2010; Subbarao, Ito, et al., 2006). Por todas estas razones, los intentos de comprender y mitigar la nitrificación en la agricultura se han convertido recientemente en el foco de intensas iniciativas de investigación.

En este sentido, la inhibición biológica de la nitrificación (IBN), acción atribuible a fitoquímicos exudados por las raíces de las plantas que bloquean la nitrificación, ha adquirido especial atención de los investigadores (Fillery, 2007;

Subbarao, Ishikawa, et al., 2006). Desde entonces, los esfuerzos para identificar rasgos IBN en los cultivos han incrementado (Zhang et al., 2022). Dentro de las pocas especies, pero más reconocidas por su capacidad de inhibición se encuentra el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Subbarao et al., 2009; Tesfamariam et al., 2014). Esta especie libera sorgoleone, una benzoquinona lipídica de los exudados de su raíz que restringe los procesos de nitrificación (Alsaadawi et al., 1986; Dayan et al., 2010; Subbarao et al., 2013). En Argentina, recientemente se ha reportado una variedad de sorgo con potencial de inhibición de la nitrificación (Vassallo et al., 2024). Sin embargo, casi no existe información sobre su efecto sobre las emisiones de N_2O ni evaluaciones que contemplen su potencial uso como cultivo de servicio integrado a cultivos de rentas con importantes demandas de N. Por todo esto, es necesario suplir la escasez de información del efecto del sorgo sobre las emisiones de N_2O con mediciones directas en un experimento de campo.

Los objetivos de este trabajo fueron: i) determinar el efecto de la inclusión del sorgo como cultivo de servicio, en un cultivo de renta con alta demanda de N, sobre las emisiones de N_2O del sistema, y ii) evaluar el impacto en el rendimiento del cultivo de renta debido a la utilización de sorgo como cultivo de servicio.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio y experimento

Se realizó un experimento en condiciones semi-controladas en invernadero en la EEA Salta del INTA utilizando un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Como cultivo de renta con alta demanda de N se utilizó caña de azúcar (variedad TUCCP 77-42). Cada unidad experimental constó de una parcela con tres surcos de 3 m de largo y distanciados a 1,2 m entre sí. Se evaluaron cuatro tratamientos: caña de azúcar con fertilización tradicional (urea sólida granulada, incorporada en la banda de cada surco con una dosis de 120 kgN ha^{-1}) e inclusión de sorgo (U1+S); caña de azúcar con fertilización tradicional sin inclusión de sorgo (U1); caña de azúcar con fertilización con media dosis comercial (60 kg N ha^{-1}) sin inclusión de sorgo ($U_{1/2}$); caña de azúcar sin fertilización tradicional y sin inclusión de sorgo (control). Se sembró sorgo forrajero comercial (ADV 2701 ULTRA) en las bandas de los surcos con una densidad de 20 semillas m lineal^{-1} al comienzo del macollaje de la caña de azúcar para evitar competencia. A los 34 días después de su siembra, las plantas de sorgo con 2-4 hojas expandidas se incorporaron al suelo con el laboreo de la fertilización nitrogenada de la caña. Se aplicó riego por goteo en todas las parcelas con el fin de evitar limitaciones en la disponibilidad de agua para el cultivo. El ensayo recibió tratamientos de prevención de plagas y malezas.

Muestreo y cuantificación de las emisiones de N_2O

Los flujos de N_2O se determinaron por el método de cámaras estáticas ventiladas (de Klein et al., 2020). Se instaló una cámara por parcela. Cada cámara consta de una cabeza rectangular de PVC (32,5 cm de largo \times 22 cm de ancho \times 15 cm de alto). Durante cada muestreo, esta cabeza de cámara se acopló a una base/marco de hierro insertado en el suelo a 8 cm de profundidad. Se recolectaron tres muestras de aire del interior de cada cámara en los minutos 0, 12 y 24 usando bombas de vacío entre las 9:00 am y las 12:30 pm y se almacenaron en viales evacuados de 10 mL. De las muestras se analizaron las concentraciones N_2O mediante cromatografía de gases (GC 7890 A con auto-muestreador 7697 A, Agilent Technologies, EE. UU). Los flujos de N_2O se calcularon a partir de la tasa de cambio de su concentración en la cámara ajustando un modelo de regresión lineal

entre la concentración de N₂O y el tiempo de muestreo (0, 12 y 24 min) (Venterea et al., 2020). Los flujos calculados fueron corregidos por el método de sesgo de cámara (Venterea, 2010). Se analizaron las emisiones de N₂O de los muestreos realizados los días 1, 2, 3, 6, 13, 29, 52, 86 y 220 post-fertilización. Para estimar las emisiones acumuladas en términos de kg N₂O-N por hectárea, interpolamos e integramos los flujos mensuales promedio a lo largo del tiempo multiplicando el flujo promedio de dos muestreos consecutivos por la duración entre estos muestreos.

Rendimiento del cultivo

El rendimiento del cultivo por tratamiento se estimó a partir del producto entre el número promedio de tallos por metro lineal, el peso medio de tallo (kg) y un factor de conversión de unidades a t ha⁻¹ (6,2), que tiene en cuenta que comercialmente en una hectárea se cultivan 62 surcos de caña de 100m de longitud. Para ello, al final del ciclo del cultivo, se contaron los tallos de los surcos centrales de cada parcela para determinar el número promedio de tallos por metro lineal de plantas. Luego, se cosecho manualmente (cortado, pelado y despuntado) 10 tallos de la parte central de estos surcos, los que fueron pesados para determinar el peso promedio de tallo.

Análisis estadístico

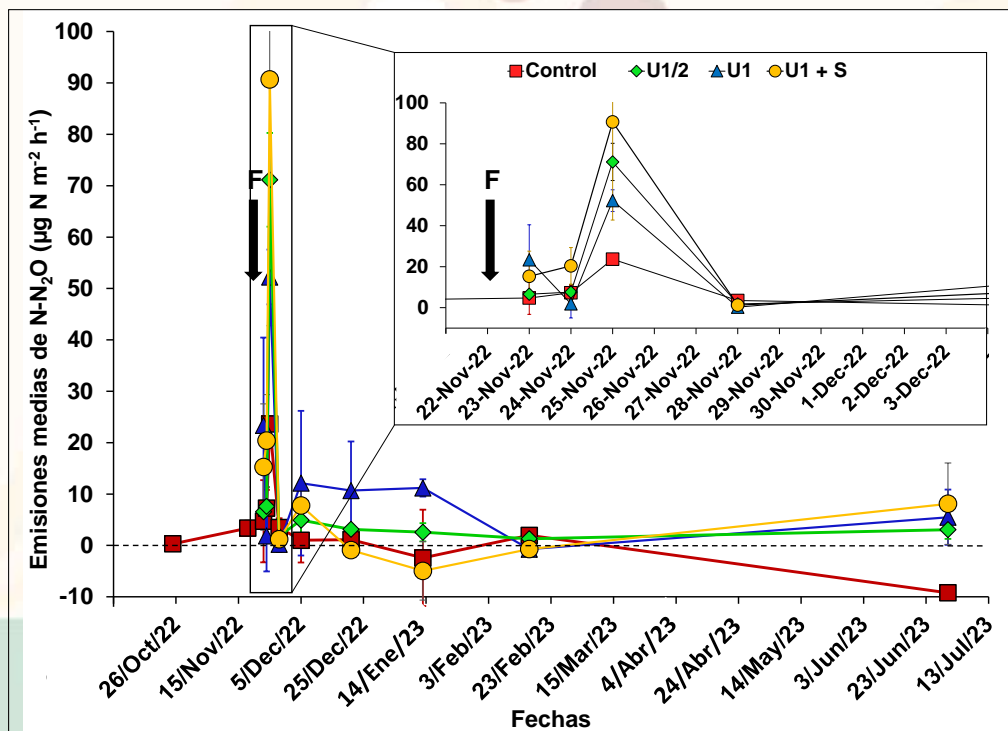
Los resultados del experimento fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA) mediante el ajuste de modelos mixtos. Se utilizó el software InfoStat.

Resultados y Discusión

En general, los tratamientos presentaron emisiones de N₂O bajas (< 25 µg m⁻² h⁻¹). Sin embargo, los tratamientos con fertilizante, independientemente de la dosis y de la presencia o no del sorgo, presentaron picos máximos (> 50 µg m⁻² h⁻¹) en el tercer día post-fertilización (Figura 1). Estos flujos mostraron coeficientes de variación mayor al 100% por lo cual no tuvieron diferencias significativas. Luego del día seis y hasta los dos meses post-fertilización, el tratamiento con fertilización tradicional (U1) mostró emisiones significativamente mayores al resto de los tratamientos (Figura 1). Es importante destacar que en dicho periodo los tratamientos Control y U1+S mostraron flujos negativos. Estos resultados coinciden con estudios previos mostrando picos de emisión de N₂O al tercer día post-fertilización (Chalco Vera et al., 2022) y flujos negativos de N₂O asociados a la baja disponibilidad de N (Chalco Vera et al., 2017; Chapuis-Lardy et al., 2006).

— SORGO —

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las emisiones acumuladas de N_2O (Figura 2). Sin embargo, existe una tendencia consistente, donde las emisiones acumuladas de N_2O para los tratamientos Control, U1+S y U_{1/2} presentaron los valores más bajos, con medias de $-0,1 \pm 0,1$, $0,16 \pm 0,2$ y $0,16 \pm 0,05$ kg N_2O-N ha⁻¹, respectivamente (Figura 2). Mientras que el tratamiento U1 presentó mayores emisiones, con una media de $0,26 \pm 0,1$ kg $N-N_2O$ ha⁻¹ (Figura 2). En general, estos valores son relativamente bajos respecto a los reportados en caña de azúcar en Argentina; sin embargo, probablemente se asociaron a una baja actividad microbiana del suelo como lo reporta Alfaro (2023) para un estudio previo



en el mismo sitio de estudio.

Figura 1. Dinámica de las emisiones de N_2O para el periodo de cultivo de caña de azúcar estudiado en Salta, Argentina. Las flechas indican la fecha de fertilización (F). Las barras representan el error estándar.

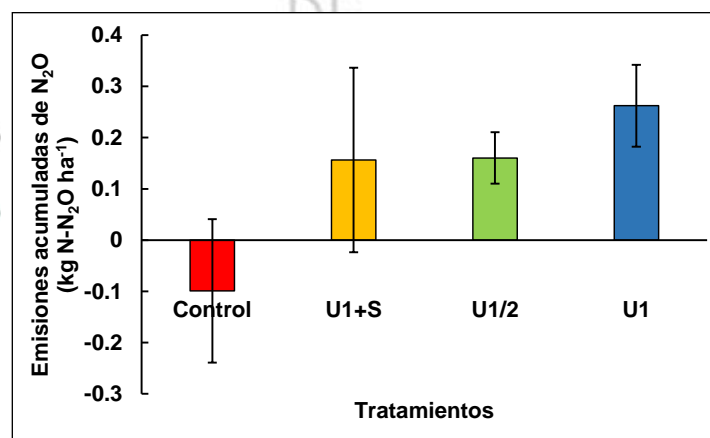
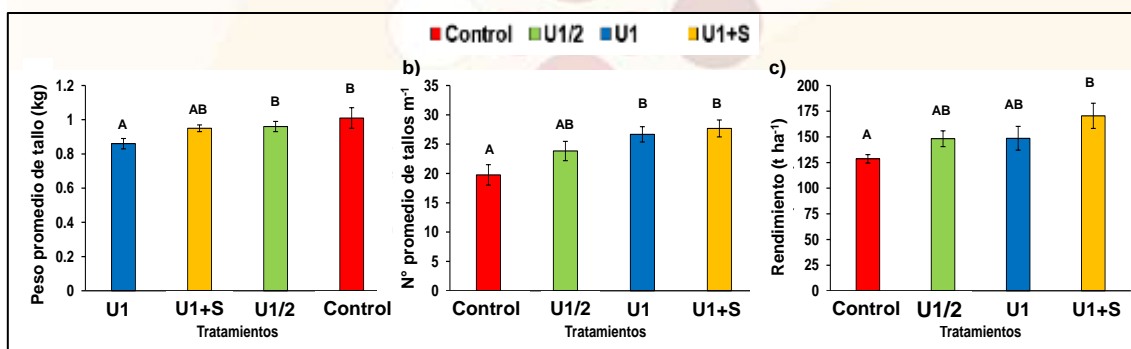


Figura 2. Emisiones acumuladas de N_2O . Las barras representan el error estándar.

Respecto al efecto de la inclusión del sorgo sobre el cultivo de renta (caña de azúcar), se encontró que el mismo favoreció significativamente el rendimiento del cultivo ($p > 0,05$) (Figura 3c). Las diferencias encontradas entre tratamientos fueron las esperadas respecto a las dosis de N aplicadas; sin embargo, el tratamiento con sorgo mostró el mayor aumento promedio del rendimiento (14,6%). Este comportamiento se asoció mayormente al mayor número de tallos promedio de este tratamiento (Figura 3a, b). Las posibles hipótesis son I) el sorgo agrandó la ventana de disponibilidad de N para la caña al restringir la nitrificación, es decir, la conversión de N ureico a NO_3^- ; II) el sorgo tomó pequeñas cantidades de N del suelo que al incorporarse lo entrega con su descomposición mejorando la sincronización de la oferta y la demanda de N, beneficiando al cultivo de renta. Sin embargo, esta última hipótesis pareciera ser poco probable si se piensa que la biomasa de plantas de sorgo generada hasta el momento de su incorporación es



poco significativa.

Figura 3. Peso promedio de tallos (a), número promedio de tallos por metro lineal (b) y rendimiento cultural (c) de la caña de azúcar para los tratamientos estudiados. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas al 0,05 según el test de Fisher.

Conclusiones

El análisis estadístico demostró que el tratamiento con sorgo (U1+S) no mostró mayores emisiones acumuladas que el tratamiento con fertilización ureica tradicional (U1) ni en sub-dosis de esta ($U_{1/2}$), y generó el mayor rendimiento de cultivo que estos. Por lo tanto, el efecto del sorgo sobre las emisiones de N_2O parece ser promisorio para mejorar la eficiencia del uso de N en el cultivo de renta asociado. Sin embargo, debido a la alta variabilidad propia de las emisiones de N_2O , es necesario complementar este estudio con otros en condiciones más representativas de la producción comercial e incluyendo o ampliando el estudio con numerosos híbridos de sorgo.

Apoyo financiero

Este estudio se financió con fondos de proyectos de INTA PD-I097 y PD-I072 (cartera 2023); del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina PICT-2018-035-17 y del CONICET PIBBA N°28720210101306.

Referencias bibliográficas

- Akiyama H.; Yan X.; Yagi K. (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: Meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(6), 1837–1846.
- Alfaro J. D. (2023). Determinación de la eficiencia de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal como estrategia para mitigar gases con efecto invernadero en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Universidad Nacional de Salta.

- Alsaadawi I. S.; Al-Uqaili J. K.; Alrubeaa A. J.; Al-Hadithy S. M. (1986). Allelopathic suppression of weed and nitrification by selected cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Chemical Ecology*, 12(1), 209–219.
- Chalco Vera J.; Portocarrero R.; Piñeiro G.; Acreche M. M. (2022). Increases in nitrogen use efficiency decrease nitrous oxide emissions but can penalize yield in sugarcane. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 122(1), 41–57.
- Chalco Vera J.; Valeiro A.; Posse G.; Acreche M. M. (2017). To burn or not to burn: The question of straw burning and nitrogen fertilization effect on nitrous oxide emissions in sugarcane. *Science of The Total Environment*, 587–588, 399–406.
- Chapuis-Lardy L.; Wrage N.; Metay A.; Chotte J.-L.; Bernoux M. (2006). Soils, a sink for N₂O? A review. *Global Change Biology*, 13(1), 1–17.
- Dayan F. E.; Rimando A. M.; Pan Z.; Baerson S. R.; Gimsing A. L.; Duke S. O. (2010). Sorgoleone. *Phytochemistry*, 71(10), 1032–1039.
- de Klein C. A. M.; Alfaro M. A.; Giltrap D.; Topp C. F. E.; Simon P. L.; Noble A. D. L.; van der Weerden T. J. (2020). Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Statistical considerations, emission factor calculation, and data reporting. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1156–1167.
- Di H. J.; Cameron K. C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: Sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3), 237–256.
- Fillery I. R. P. (2007). Plant-based manipulation of nitrification in soil: A new approach to managing N loss? *Plant and Soil*, 294(1–2), 1–4.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- MAYDS. (2021). *Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*.
- Subbarao G. V.; Ishikawa T.; Ito O.; Nakahara K.; Wang H. Y.; Berry W. L. (2006). A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: A case study with *Brachiaria humidicola*. *Plant and Soil*, 288(1–2), 101–112.
- Subbarao G. V.; Ito O.; Sahrawat K.; Berry W.; Nakahara K.; Ishikawa T.; Watanabe T.; Suenaga K.; Rondon M.; Rao I. (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - Challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(4), 303–335.
- Subbarao G. V.; Nakahara K.; Ishikawa T.; Ono H.; Yoshida M.; Yoshihashi T.; Zhu Y.; Zakir H. A. K. M.; Deshpande S. P.; Hash C. T.; Sahrawat K. L. (2013). Biological nitrification inhibition (BNI) activity in sorghum and its characterization. *Plant and Soil*, 366(1–2), 243–259.
- Subbarao G. V.; Zakir H. A. K. M.; Nakahara K.; Ishikawa, T.; Yanbuaban M.; Yoshihashi T.; Ono H.; Yoshida M. (2009). Biological Nitrification Inhibition (BNI) Potential in Sorghum. *The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI*, Department of Plant Sciences, UC Davis, UC Davis.
- Tesfamariam T.; Yoshinaga H.; Deshpande S. P.; Srinivasa Rao P.; Sahrawat K. L.; Ando Y.; Nakahara K.; Hash C. T.; Subbarao G. V. (2014). Biological nitrification inhibition in sorghum: The role of sorgoleone production. *Plant and Soil*, 379(1–2), 325–335.
- Vassallo G.; Carrizo M.; Delaporte Quintana P.; Zarate M.; Ducci A.; Pérez Brandan C.; Acreche M.; Chalco Vera J. (2024). Argentine rice and sorghum have promissory potential as service crops for biological inhibition of nitrification. *XXIX Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo. Suelos... Huellas Del Pasado, Desafíos Del Futuro*.
- Venterea R. T. (2010). Simplified Method for Quantifying Theoretical Underestimation of Chamber-Based Trace Gas Fluxes. *J. Environ. Qual.*; 39, 126–135.
- Venterea R. T.; Petersen S. O.; de Klein C. A. M.; Pedersen A. R.; Noble A. D. L.; Rees, R. M.; Gamble, J. D.; Parkin, T. B. (2020). Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Flux calculations. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1141–1155.
- Zhang M.; Zeng H.; Afzal M. R.; Gao X.; Li Y.; Subbarao G. V.; Zhu Y. (2022). BNI-release mechanisms in plant root systems: current status of understanding. *Biology and Fertility of Soils*, 58(3), 225–233.