

# 11. EFICIENCIA DE USO DEL N EN EL ARROZ: PENSANDO EN SISTEMAS

G. Fabini<sup>1</sup>, K. Grahmann<sup>2</sup>, J. Castillo<sup>3</sup>, P. González<sup>4</sup>, J. A. Terra<sup>5</sup>

**PALABRAS CLAVE:** fertilización, productividad, rotaciones, sustentabilidad

## INTRODUCCIÓN

La productividad del cultivo de arroz en Uruguay creció desde 3,5 t/ha a inicios de la década del 70 hasta 8,5 t/ha en las últimas 5 zafas, siendo una de las mayores globalmente. Este crecimiento de la productividad se ha basado en un sistema integrado de arroz con pasturas de intensidad diversa, así como en el desarrollo de variedades locales y ajustes en las prácticas de manejo agronómico de los factores limitantes y reductores del rendimiento.

En la última década, alrededor del 40-45% del arroz fue sembrado sobre rastrojos de arroz y 50-55% sobre retornos que incluyen pasturas cultivadas o regeneradas y/u otros cultivos; mientras que el 5% se sembró en campo nuevo (Molina *et al.*, 2019). Los rastrojos limitan la productividad debido a las dificultades de preparación del suelo durante el invierno que afectan la siembra en tiempo y forma. Además, suelen tener mayor necesidad de N y mayor incidencia de malezas y enfermedades. Si bien existen algunas alternativas de manejo del suelo y del cultivo para mitigar estas limitantes, el rendimiento de las chacras de arroz sembrada sobre rastrojos suele ser entre un 5-15% inferior que sobre retornos. Por otro lado, en los últimos 5 años ocurrieron algunos cambios relevantes en los siste-

mas arroceros, entre los que destacan el recambio varietal por materiales de alto potencial y resistentes a enfermedades tales como INIA Merín, además de una tendencia creciente al uso de mayor dosis de N, así como la paulatina incorporación de la soja y mayor diversidad de pasturas en las rotaciones.

Castillo *et al.* (2021) mostró que estrategias de fertilización nitrogenada que implican el uso de dosis elevadas de N sin considerar la capacidad de aporte de N suelo resultan en bajas eficiencias de uso del N con implicancias económicas y ambientales en el sistema. Aun así, para las variedades de alto potencial de rendimiento es necesario seguir ajustando los criterios objetivos de acuerdo con la intensidad de uso del suelo y el diseño de los sistemas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad y la eficiencia de uso del nitrógeno a dosis crecientes de N aplicadas en el cultivar INIA Merín en rotaciones estabilizadas de intensidad variable durante dos zafas (2019-2020 y 2020-2021) de alta oferta climática.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó dentro del experimento de rotaciones de largo plazo de Paso de la Laguna en las zafas 2019-2020 y 2020-2021. Se eligieron 3 rotaciones del

<sup>1</sup> Guillermo Fabini, Ing. Agr. estudiante de maestría. Facultad de Agronomía, UDELAR.

<sup>2</sup> Kathrin Grahmann, Ph. D. Working Group «Resource-Efficient Cropping Systems» ZALF, Müncheberg, Alemania.

<sup>3</sup> Jesús Castillo, M. Sc. Estudiante Doctorado INIA Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz.

<sup>4</sup> Pablo González, Ph. D., Biometría, Facultad de Agronomía, UDELAR.

<sup>5</sup> José Alfredo Terra, Ph. D. INIA Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. [jterra@inia.org.uy](mailto:jterra@inia.org.uy)

**Cuadro 1.** Rotaciones de largo plazo donde se instaló el ensayo de respuesta a N en arroz.

Rotación	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
	P-V	O-I	P-V	O-I	P-V	O-I	P-V	O-I	P-V	O-I
AzC	Arroz	TrAlej								
Az-Sj	Arroz	Raigrás	Soja	TrAlej.						
Az-PL	Arroz1	Raigrás	Arroz2	Pastura Larga: (Festuca, Trébol Blanco, Lotus)						

experimento (Cuadro 1): arroz continuo (Az-Cont) y arroz-soja (Az-Sj), ambos sembrados sobre una cobertura de trébol alejandrino y arroz-pastura larga (Az-PL) donde se evaluó tanto el primer arroz a la salida de la pastura (Az1-PL) como el segundo (Az2-PL) sembrado sobre raigrás. Al arroz de cada rotación se le aplicaron 4 dosis de nitrógeno en parcelas de 4x16 m: 0 kg/ha (0N), 50 kg/ha (50N), 100 kg/ha (100N) y 150 kg/ha (150N) fraccionadas 70% a macollaje (R4) inmediatamente antes de la inundación y 30% a primordio (R0) con el cultivo ya inundado. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela mayor correspondió a la rotación y la menor a las dosis de N. En ambas zafras se sembró (25/10/2019 y 15/10/2020) el cultivar INIA Merín sin laboreo con 130 kg/ha de semilla y no se aplicaron fungicidas durante el ciclo del cultivo. El resto de las prácticas agronómicas, incluyendo fertilización basal y control de malezas siguió las pautas recomendadas para el manejo del cultivo a nivel comercial.

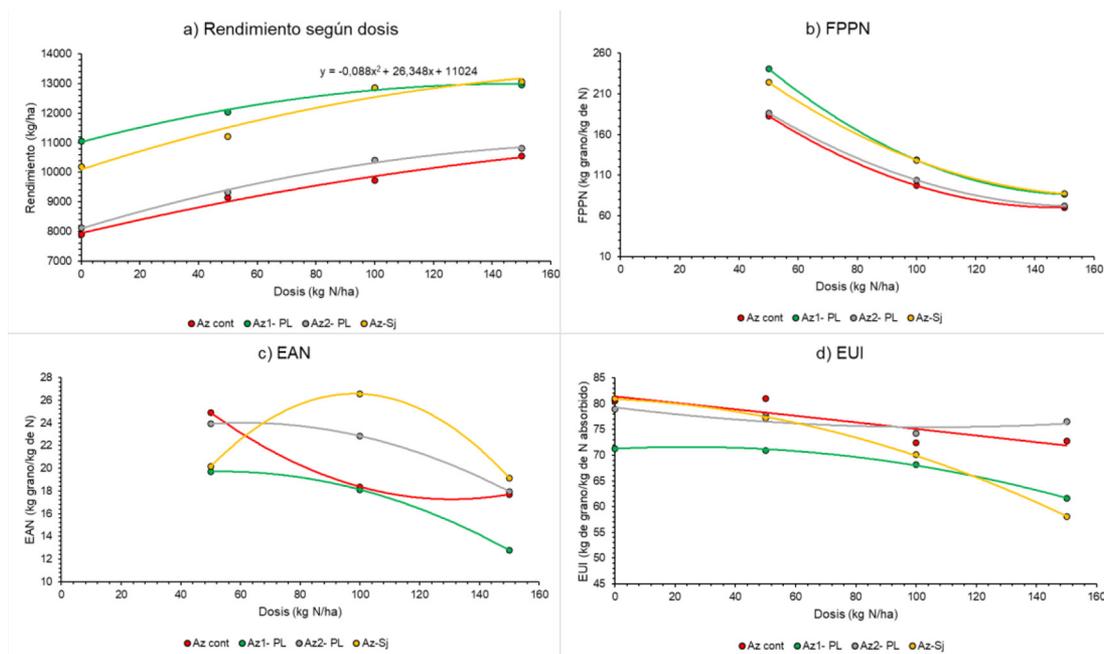
Se utilizó una cosechadora experimental en 32 m<sup>2</sup> de cada parcela menor para evaluar el rendimiento. Se determinó la biomasa aérea, el índice de cosecha y la concentración de N en grano y rastrojo. Los análisis de N se hicieron con LECO mediante combustión seca. Se calculó la eficiencia agronómica del uso del N (EAN = kg de aumento de rendimiento respecto a 0N / kg de N aplicado), el factor parcial de productividad del N (FPPN = kg grano / kg N aplicado), la eficiencia de uso interno (EUI = kg grano / kg de N absorbido). El análisis estadístico se hizo con modelos mixtos donde la rotación, la dosis de N y sus interacciones fueron considerados efectos fijos y los bloques, el año y sus interacciones con la rotación como efectos aleatorios. Para determinar la significancia de los efectos fijos se utilizó un test F con un P=0,05.

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El rendimiento medio de ambas zafras fue 10.800 kg/ha, muy cercano al potencial alcanzable del arroz en Uruguay (Carrace-las *et al.*, 2016). Hubo efectos significativos tanto de la rotación como del agregado de N sobre el rendimiento, ajustándose curvas polinomiales de respuesta a las dosis de N en todas las rotaciones (Figura 1a). En promedio, el rendimiento en Az-Sj y Az1-PL fue 26% superior al de Az2-PL y Az-Cont (9.500 kg/ha). La mayor productividad sin agregado de N se observó en el arroz sembrado sobre la pastura de Az1-PL (11.052 kg/ha) que fue 8,4% y 38% superior a las obtenidas sobre soja o rastrojo, respectivamente. El rendimiento de Az1-PL con 0N representa 85% del rendimiento máximo de la rotación (12.969 kg/ha con el tratamiento 150N) sugiriendo la alta capacidad de aporte del suelo en ese sistema. El máximo rendimiento físico sobre rastrojo (Az-Cont y Az2-PL) fue alcanzado con 150N (Figura 1a), mientras que el arroz sembrado sobre soja o pasturas lo hizo con 100N. Aunque las tendencias fueron similares a las reportadas por Aguirre *et al.* (2019) en 2018-2019 con INIA Olimar sobre el mismo experimento, las repuestas productivas fueron mayores probablemente debido al uso de un cultivar de mayor potencial y a las mejores condiciones climáticas del año.

El FPPN del arroz sobre soja o pasturas fue mayor que sobre rastrojos (Figura 1b) en todo el rango de dosis de N. Así, a la dosis de N de máxima respuesta física en rendimiento, el FPPN de Az1-PL y Az-Sj fue 70,6% superior al de Az-Cont y Az2-PL (75 kg/kg) evidenciando, además de una mejor productividad, una mejor eficiencia del uso del N agregado.

En general, como es conocido, la EAN se redujo ante dosis incrementales de N en



**Figura 1.** a) Efecto de la dosis de N sobre el rendimiento de arroz (seco y limpio); b) Factor parcial de productividad; c) Eficiencia agronómica del N; d) Eficiencia de uso interno. Zafra 2019-2020 y 2020-2021 en tres rotaciones (AzCont: arroz continuo; Az-PL: Arroz-Pasturas; Az-Sj: Arroz-Soja).

todas las rotaciones, excepto en Az-Sj que aumentó con 100N respecto a 50N (Figura 1c). La menor EAN promedio fue observada en Az1-PL, probablemente debido a la mejor capacidad de aporte del suelo a la salida de la pastura sugerido por el rendimiento del testigo sin N. A la dosis de máxima respuesta física, el arroz sembrado sobre soja tuvo una EAN de 27 kg/kg que fue significativamente mayor a las observadas sobre pasturas o rastrojos que no difirieron entre si (18,1 kg/kg). Estos valores están algo por debajo de los óptimos recomendados para cereales bien manejados (>25 kg/kg) (Dobermann, 2007) y a los reportados por Aguirre *et al.* (2019) en el mismo experimento con INIA Olimar en un año de menor oferta ambiental.

Por último, la eficiencia de uso interno también se puede agrupar en dos (Figura 1d). Az1-PL y Az-Sj reducen la EUI ante dosis crecientes de N porque la absorción de N aumenta a mayor tasa que el rendimiento (de 71 a 61 kg/kg y de 80 a 58 kg/kg respectivamente). Para alcanzar los máximos rendimientos tanto Az1-PL como Az-Sj producen 69 kg de grano

por kg de N absorbido, sin embargo, Az-Cont produce 72 kg y Az2-PL 76 kg. Estos valores están algo por encima del óptimo reportado por Dobermann (2007) de 55-60 kg/kg.

El rendimiento de arroz sobre antecesor pastura o soja fue mayor que sobre rastrojos a cualquier dosis de N. El segundo arroz en la rotación con pasturas pierde las ventajas del arroz de cabecera y se comporta similar al arroz continuo; aun con agregado de N el rendimiento es menor al 0N de Az1-PL. Esto podría deberse a la inmovilización de N del rastrojo de arroz y raigrás que lo anteceden debido a su alta relación C/N similar a Aguirre *et al.* (2019). Si bien Az-Cont fue la rotación con peor despeño, la cobertura de trébol alejandrino parecería permitirle alcanzar rendimientos y respuestas similares a Az2-PL.

### CONCLUSIONES

Para INIA Merín en años de buena oferta de radiación y temperatura como la observada en 2020 y 2021, es posible alcanzar rendimientos cercanos al potencial

como ocurrió en Az1-PL y Az-Sj con 100 kg/ha de N. La fertilización nitrogenada mejoró el desempeño productivo sobre rastrojo, pero no cubrió la totalidad de la brecha respecto a las situaciones sobre pasturas o soja, sugiriendo que la rotación afectó no solo la dinámica de N. Además del efecto sobre el rendimiento, la rotación afectó la eficiencia de uso de N por lo que, para explorar los techos productivos, debe considerarse el diseño del sistema junto a la respuesta al N.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M.; López J. F.; Castillo, J.; Macedo, I.; Terra, J. A.** 2019. Eficiencia del uso del nitrógeno en el cultivo de arroz sobre rotaciones contrastantes. In: Terra, J. A.; Martínez, S.; Saravia, H. (Ed.) Arroz 2019. Montevideo (UY): INIA. p. 45-48. (INIA Serie Técnica 250). <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>
- Carracelas, G.; Guilpart, N.; Grassini, P.; Cassman, K.** 2016. Determinación del potencial y de la brecha de rendimiento en los sistemas de arroz en Uruguay. In: INIA Tacuarembó. Resultados experimentales de arroz Zafra 2015-2016. Tacuarembó: INIA. p. 33-39. (INIA Serie Actividades de Difusión 766).
- Castillo, J.; Kirk, G. J. D.; Rivero, M. J.; Dobermann, A., Haefele, S. M.** 2021. The nitrogen economy of rice-livestock systems in Uruguay. *Global Food Security* 30: 100566, p.1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100566>
- Dobermann, A.** 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. In: Krauss, A.; Isherwood, K.; Heffer, P. Ed. Fertilizer best management practices. General principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations (Workshop), Paris, Francia. p 1-28.
- Molina, F.; Terra, J. A.; Roel, A.** 2019. Evolución de algunas variables tecnológicas en el cultivo de arroz en Uruguay. In: Terra, J. A.; Martínez, S.; Saravia, H. (Eds.) Arroz 2019. Montevideo (UY): INIA, 2019. p. 1-3. (INIA Serie Técnica 250). <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.250>