

# ☼ Nutrición Balanceada en el cultivo de Maíz y Eficiencia de uso de Nitrógeno

Ing. Agr.  
Santiago Vacca  
Coordinador  
de Servicios  
Agronómicos



## Nutrición balanceada en el cultivo de maíz

El rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se ha incrementado en las últimas décadas como resultado de un conjunto de prácticas de manejo, sumada al progreso del mejoramiento genético. En la actualidad, se estima una brecha de rendimiento del 40% para el cultivo (Aramburu Merlos et al., 2015), siendo la nutrición un aspecto clave que permitiría reducirla. Relevamientos de suelos realizados en la región pampeana Argentina, indican balances negativos de diferentes nutrientes (Sainz Rozas et al., 2019). El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que con mayor frecuencia limitan el rendimiento de maíz, sin embargo, en las últimas décadas es cada vez más frecuente determinar respuesta al agregado de azufre (S) (Carciochi et al., 2015). Asimismo, otro nutriente como el zinc se ha diagnosticado como deficiente en algunas zonas productivas de maíz (Barbieri et al., 2015). Trabajos realizados en la región pampeana muestran un incremento del rendimiento de hasta 68% por efecto de la nutrición balanceada (Ciampitti et al., 2010). Esto permitiría no solo aumentar la productividad de los cultivos, sino también la eficiencia de uso de los nutrientes, minimizando el potencial impacto ambiental.

## Manejo pensado en la eficiencia:

### Indicadores de Eficiencia

Existen diferentes indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes, entre los que se destacan para nitrógeno, la eficiencia de uso del N (EUN), que es la relación entre la respuesta en rendimiento y la cantidad de N aplicado con el fertilizante. También se conocen otros indicadores como el balance parcial de N (BPN) y la productividad parcial del factor (PPF). El BPN es la relación entre los kilos de nutriente extraído y los kilos de nutriente aplicado, mientras que la PPF es la relación entre la producción de grano y la cantidad

de nutriente aplicado (Dobermann, 2007). Las estimaciones de BPN muestran que, en el caso de los cereales, a través de los últimos años, los valores son cercanos a 1, considerados adecuados según Snyder et al., (2007). Para maíz, los valores de PPF son algo elevados, indicando que probablemente el cultivo aún se abastezca de N de la fracción orgánica de los suelos, acentuando la degradación de la fertilidad de los mismos (García et al., 2014).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización (dosis y nutrientes) sobre el rendimiento e indicadores de eficiencia de uso de N.

## Ensayos a campo

Durante la campaña 2020-2021, se realizaron 4 ensayos de maíz en las localidades de 9 de Julio (9dJ), Bolívar (Bol), Chacabuco (Cha) y Villegas (Vill). Los suelos predominantes fueron Hapludoles Típicos y Argiudoles Típicos. Se utilizó en todos los sitios un híbrido granífero de alto potencial de rendimiento (KM 3916 VIP3). Se emplearon las mejores prácticas de manejo del cultivo (fecha y densidad de siembra, control de malezas y enfermedades, etc.), según los productores de cada zona. En ensayo se evaluaron 3 tratamientos: PR (manejo del productor), PR+N (manejo de productor con un 50% más de N) y PR+NSZn (PR+N con una dosis de suficiencia para S y Zn). Todos los tratamientos se aplicaron al voleo en forma de urea (46-0-0) y mezclas físicas de S y Zn entre los estadíos V6 y V10 del cultivo. Cada tratamiento con sus repeticiones se hizo sobre macroparcelas de ensayos KYT, planteados por el área de Agroservice. La dosis de N del tratamiento PR fue de 75, 80, 100 y 120 kg/ha para Vill, Cha, 9dJ y Bol, respectivamente. Se aplicaron 20 kg P/ha para que no limite el rendimiento del cultivo.

Previo a la siembra del cultivo se tomaron muestras de suelo en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Se realizó la determinación de materia orgánica, pH (1:2,5), P-Bray, N incubado en anaerobiosis, Zinc DTPA en superficie (0-20 cm), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, S-SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, en todo el perfil.



En madurez fisiológica (Ritchie & Hanway, 1984) se cosecharon los tratamientos con sus respectivas repeticiones y el rendimiento se expresó a 14,5% de humedad. La PPF se estimó como el cociente entre el rendimiento del cultivo y la dosis de N (kg grano por kg N aplicado-1). El BPN se obtuvo mediante el cociente entre el N exportado en los granos y el N total aplicado con el fertilizante (kg N en grano por kg N aplicado-1). La EUN se calculó como el cociente entre la respuesta en rendimiento y la cantidad de N aplicado con el fertilizante. Se realizó el correspondiente análisis estadístico para determinar diferencias significativas.

## Resultados y discusión

### ¿Cómo fue la campaña y las condiciones de suelo de cada zona?

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo variaron desde 416 hasta 672 mm (Tabla 1), siendo similares al promedio histórico de cada zona (450-500 mm, aproximadamente). Considerando que la demanda hídrica del cultivo de maíz es cercana a los 530 mm (Andrade et al., 1995), esto indicaría que la disponibilidad hídrica generalmente no limitó el rendimiento del cultivo.

La disponibilidad promedio de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en presiembr (0-60 cm) fue de 68 kg ha<sup>-1</sup>, con valores que fueron desde 43,1

**Tabla 1.** Caracterización edafoclimática de los sitios experimentales. MO: materia orgánica; Nan: nitrógeno incubado en anaerobiosis; Pp: precipitaciones.

Sitio	MO (g kg <sup>-1</sup> )	P Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	pH	Nan (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn DTPA (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )		Pp (mm)
						0-20cm	0-60cm	
9dj	28	10	5,9	58	1,00	75,5	50	520
Bol	30	17	6,4	70	0,75	53,8	45	672
Cha	31	14	6,1	40	0,8	100,5	35	450
Vill	26	16	5,9	55	0,85	43,1	40	416

hasta 100,5 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 1). Los valores de Nan variaron de 40 a 70 ppm. Por lo tanto, la variación en el Nan y N-NO<sub>3</sub>-representa situaciones con diferente disponibilidad actual y potencial de mineralización de N y, con alta probabilidad de respuesta en rendimiento al agregado de dicho nutriente (Orcellet et al., 2017).

Los valores de S-SO<sub>4</sub>- fueron en promedio de 42 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 1), cercanos a los 40 kg ha<sup>-1</sup> propuesto como nivel crítico por Carciochi et al. (2015). En cuanto al zinc, el promedio fue de 0,85 ppm, valor inferior al umbral determinado por Barbieri et al. (2015) de 1 ppm para el 97% de rendimiento relativo.

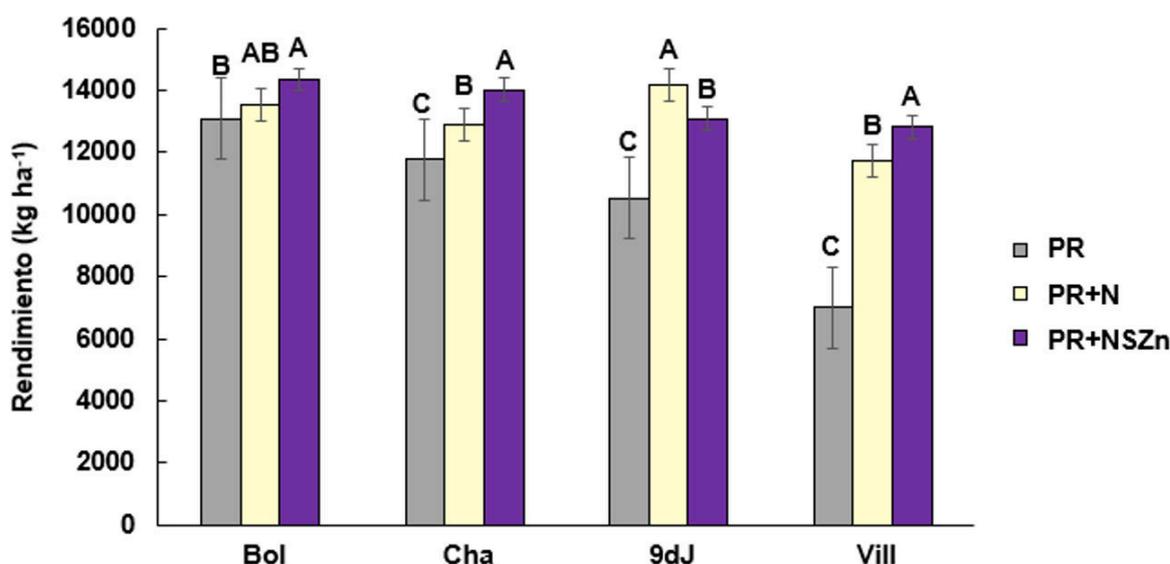
## ¿Qué pasó con el rendimiento?

El rendimiento del cultivo aumentó por efecto del tratamiento PR+N en el 75% de las localidades (Figura 1). La respuesta promedio fue de 3.620 kg ha<sup>-1</sup>, 1.144 kg ha<sup>-1</sup>, 4.723 kg ha<sup>-1</sup> para los sitios 9dj, Cha y Vill, respectivamente. Si bien en el sitio Bol, no se determinó efecto significativo de la dosis de N sobre el rendimiento del cultivo, se observó como tendencia un aumento de 470 kg ha<sup>-1</sup>. Esto se explicaría en parte por el mayor Nan de dicho sitio (Tabla 1). Otros trabajos han determinado una menor respuesta al agregado de N frente a aumentos en el contenido de Nan del suelo (Reussi Calvo et al., 2018).

Para todas las localidades, el rendimiento aumentó por efecto del tratamiento PR+NSZn, siendo la respuesta promedio de 2.256 kg ha<sup>-1</sup> para 9dj, 1269 kg ha<sup>-1</sup> para Bol, 2.255 kg ha<sup>-1</sup> para Cha y de 5.819 kg ha<sup>-1</sup> en Vill. Esto implica un incremento de rendimiento que va desde 9,7% hasta un 83,2% según sitio. La menor respuesta en el sitio 9dj se podría explicar por los adecuados niveles de S-SO<sub>4</sub>-2 y Zn a la siembra (Tabla 1). Varios trabajos han determinado respuestas de similar magnitud a la nutrición con S y Zn (Paganí et al., 2011; Barbieri et al., 2015).

## ¿Qué paso con la eficiencia?

La PPF vario desde 75 hasta 147 kg grano kg N-1 según sitio y tratamiento, siendo la interacción significativa ( $p < 0,05$ ). En el 75% de los sitios, la PPF disminuyó frente al aumento en la dosis de N y/o fertilización con S y Zn, siendo en promedio la disminución de 26 kg grano por kg N aplicado. No obstante, los valores de PPF se ubican por encima del óptimo de 60-80 kg grano kg N aplicado citado en la literatura (Dobermann, 2007). **Esto indicaría que se sigue produciendo en función del aporte de N del suelo aún con mayores niveles de fertilización (50% más de N).** En el tratamiento PR+NSZn, se le suma la respuesta a Zn y S, combinado con la posible mejora en la eficiencia de



**Figura 1.** Rendimiento en (kg ha<sup>-1</sup>) para los cuatro sitios en estudio y los tres tratamientos de fertilización. Letras distintas dentro de cada localidad, indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). PR: manejo del productor, PR+N: manejo de productor con un 50% más de N, y PR+NSZn: PR+N con una dosis de suficiencia para S y Zn.

uso de N (Pagani et al., 2009). Por otra parte, al analizar al sitio Villegas, la PPF creció en ambos tratamientos respecto al tratamiento PR, lo cual indicaría que la respuesta aún en los tratamientos con +N siguió limitada por dicho nutriente.

Los valores de BPN variaron desde desde 0,9 hasta 1,8 kg N removido por kg N aplicado (datos no mostrados). No se determinó efecto del tratamiento de fertilización sobre dicho indicador de eficiencia. En general, para los cuatro sitios los valores de BPN se encuentran dentro de los rangos citados según Snyder et al. (2007), siendo levemente mayores a 1. Esto **representa balances negativos de N, los cuales deberían mejorarse con mayores ingresos de N al sistema vía fertilización y/o fijación biológica del N.**

Si bien el BPN y la PPF son indicadores de fácil estimación y utilizados para grandes escalas, **la EUN permite definir la eficiencia de uso del fertilizante.** Para los cuatro sitios, la EUN promedio fue de 19 kg de grano por kg N aplicado para el tratamiento PR+N y de 24 kg de grano kg N aplicado-1 para el tratamiento PR+NSZn. **Esto representa una mejora del 20% en la EUN por efecto de la nutrición balanceada.** Los valores de EUN se ubican por encima de la relación insumo: producto histórico que va desde 10:1 hasta 12:1 según fuente de N (Pagani et al., 2008).

## En conclusion:

- Los resultados de este trabajo demuestran que el incremento en la dosis de nitrógeno sumado a la fertilización con azufre y zinc permitirían cerrar las brechas de rendimiento de maíz desde un 9,7 hasta un 83%.
- Además, estas estrategias de fertilización se vieron reflejadas en mejoras en la eficiencia de uso del nitrógeno y productividad parcial del factor, reduciendo las externalidades del sistema.

## Fuentes

Andrade, F.H. & Gardiol, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz girasol y soja. Boletín técnico 132. EEA INTA Balcarce.

Aramburu Merlos, F., Monzon, J. P., Mercáu, J. L., Taboada, M., Andrade, F., Hall, A., & Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184, 145-154 Bothe, H., Ferguson, S., & Newton, W. 2007. *Biology of the nitrogen cycle*. Amsterdam: Elsevier

Barbieri, P., Sainz Rozas, H. R., Echeverría, H. E., Salvagiotti, F., Barbagelata, P. A., Barraco, M. R., ... & Larsen, B. 2015. ¿ El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz?.

Carciochi, W. D., Divito, G. A., Calvo, N. R., & Echeverría, H. E. 2015. ¿Qué sabemos del diagnóstico de azufre en los cultivos de la región pampeana argentina? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 18, 22-28.

Ciampitti, Ignacio & Boxler, M. & Garcia, Fernando. 2010. Nutrición de Maíz: requerimientos y Absorción de nutrientes. *Informaciones Agronomicas del Cono Sur. Int. Plant Nutr. Inst.* 4. 14-18.

Dobermann A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. pp 1ª28. En *Fertilizer Best Management Practices. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs)*. 7ª9 March, 2007. Brussels, Belgium.

García, F. O., Taboada, M. A., Sanjuan, M. F. G., & Picone, L. I. 2014. El nitrógeno en la agricultura argentina Alternativas para incrementar la eficiencia de uso en los cultivos de grano y mitigar las emisiones de óxido nitroso.

Orcellet, J., Reussi Calvo, N. I., Sainz Rozas, H. R., Wyngaard, N., & Echeverría, H. E. (2017). Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal*, 109(1), 291-298.

Pagani, A., & H.E. Echeverría. 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. *Agronomy Journal*. 103:413-421.

Pagani, A., Echeverría, H. E., & Sainz Rozas, H. 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la provincia de Buenos Aires. *Ciencia del suelo*, 27(1), 21-29.

Pagani, A; HE Echeverría; H Sainz Rozas & PA Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sueste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 26:183-193.

Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., Orcellet, J., Sainz Rozas, H. R., & Echeverría, H. E. 2018. Predicting field<sup>a</sup> apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 82(2), 502-508.

Ritchie S.W. & J.J. Hanway. 1984. How a corn plant develops: Special report No. 48, Iowa State University.

Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Larrea, G. E., Martinez Cuesta, N., Angelini, H. P., Reussi Calvo, N. I., & Wyngaard, N. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana.

Snyder C.S. & T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. *International Plant Nutrition Institute*. Reference # 07076.