

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ. EFECTO DE LA FUENTE, DOSIS Y NUTRIENTE ACOMPAÑANTE

NITROGEN FERTILIZERS IN CORN: SOURCE, RATES AND COMPANION NUTRIENTS CAMPAÑA 2017/18

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris

INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Estas fuentes varían en cuanto a su composición, concentración de nitrógeno (N) y otros iones acompañantes, tiempos de disponibilidad y riesgos de volatilización.

La pérdida de Nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Hargrove, 1998). Existen sin embargo otras vías de salida del N, como la lixiviación y desnitrificación. Cuando el N es aplicado en superficie, la volatilización puede ser evitada usando fuentes nítricas o amoniacales, menos afectadas por este proceso. En cambio la lixiviación depende de la ocurrencia de lluvias copiosas que generen agua no retenida en el suelo. Aplicaciones en postemergencia cuando el cultivo se encuentra en activo crecimiento disminuyen sensiblemente la magnitud del proceso.

La eficiencia agronómica de uso de N (EUN: $\text{kg grano} : \text{kg N aplicado}^{-1}$) se podría incrementar por la inclusión de otros iones que demuestren interacción positiva con este elemento. De este modo, es posible que a igual dosis de producto comercial, el rendimiento de una fuente balanceada con menor grado de N supere al de una fuente pura de mayor concentración. Por este motivo, existe una tendencia creciente a desarrollar formulaciones complejas, que aporten N, azufre (S) y últimamente microelementos como zinc (Zn).

El objetivo de este experimento fue comparar la respuesta a dosis crecientes de cinco fuentes nitrogenadas en maíz, comparadas a igual dosis de producto, las cuales alternativamente aportan otros elementos como azufre (S) o zinc (Zn). Hipotetizamos que: 1. El N incrementa los rendimientos en forma creciente con la dosis, en un ambiente de mediana productividad y baja fertilidad inicial. 2. Fuentes nítricas y/o amoniacales expresan un mejor comportamiento en un ciclo seco y aplicaciones de post-emergencia, cuando el N está más expuesto a volatilización. 3. El aporte de otros elementos acompañantes como S o Zn incrementa los rendimientos, especialmente en dosis moderadas o altas que permiten lograr la suficiencia de N.

Palabras clave: *maíz, nutrición balanceada, fuentes líquidas, fuentes sólidas, curvas respuesta – dosis*

MATERIALES Y MÉTODOS

Se implantó un experimento de campo en la EEA INTA Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, Argiudol típico, (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), capacidad de uso: I; IP=85. El ensayo se sembró el día 17 de octubre y fue espaciado a 0,7 m entre hileras, logrando una densidad final de 75.000 pl ha^{-1} . El cultivar elegido fue Nidera Ax 7822 VT3P. Se aseguraron buenas condiciones productivas, manteniendo al cultivo libre de malezas, plagas y enfermedades. Se evalúan tratamientos

hormonales, con microelementos, y la aplicación de N foliar sobre sistemas con diferente ajuste de N inicial. Se fertilizó el cultivo con una base de SPT (0-23-0) 100 kg ha⁻¹ y Urea Granulada (46-0-0) en dos aplicaciones que en total reunieron 120 kgN ha⁻¹. Esta fue suministrada en cobertura total al momento de siembra y luego V6, respectivamente.

El diseño correspondió a bloques completos al azar con 3 repeticiones y 16 tratamientos, los cuales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización con nitrógeno, azufre y zinc evaluados en el experimento. Maíz, campaña 2017/18.

T	Fuente y Dosis	Grado	caracterización	Estado de aplicación
T1	Control			
T2	Urea 100 kg ha ⁻¹	46 - 0 - 0	Sólido puro	V6
T3	Urea 200 kg ha ⁻¹	46 - 0 - 0		V6
T4	Urea 300 kg ha ⁻¹	46 - 0 - 0		V6
T5	Nitrato amonio + Sulfato amonio 100 kg ha ⁻¹	30 - 0 - 0 - S 8	Mezcla física granulada	V6
T6	Nitrato amonio + Sulfato amonio 200 kg ha ⁻¹	30 - 0 - 0 - S 8		V6
T7	Nitrato amonio + Sulfato amonio 200 kg ha ⁻¹	30 - 0 - 0 - S 8		V6
T8	Agrefert NSZn (sal) 100 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,5	Mezcla física líquida	V6
T9	Agrefert NSZn (sal) 200 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,5		V6
T10	Agrefert NSZn (sal) 300 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,5		V6
T11	Sol Mix Zn 100 kg ha ⁻¹	27-0-0-S5-Zn 0,4	Mezcla física líquida	V6
T12	Sol Mix Zn 200 kg ha ⁻¹	27-0-0-S5-Zn 0,4		V6
T13	Sol Mix Zn 300 kg ha ⁻¹	27-0-0-S5-Zn 0,4		V6
T14	Agrefert NSZn (quelato) 100 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,05	Mezcla física líquida	V6
T15	Agrefert NSZn (quelato) 200 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,05		V6
T16	Agrefert NSZn (quelato) 300 kg ha ⁻¹	27-0-0-S3-Zn 0,05		V6

V6 (estado de seis hojas expandidas), de acuerdo a la escala de Ritchie & Hanway, 1982.

Tabla 2: Análisis de suelo efectuado al momento de la siembra

Prof	Materia Orgánica	N total	Fósforo extractable	N-Nitratos (0-20) cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm
	%	mg kg ⁻¹		ppm	kg ha ⁻¹
0-20 cm	2,16	0,108	9,8	13,5	75,9
	muy bajo	muy bajo	muy bajo	alto	alto
Prof	S-Sulfatos suelo	Zinc	Boro	pH	Agua en suelo
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	agua 1:2,5	150 cm - siembra
0-20 cm	8,0	1,29	0,45	5,6	150 mm
	medio	alto	medio	Lig ácido	normal

Las aplicaciones se realizaron con mochila eléctrica de presión constante. La misma cuanta con un botallón aplicador de 4 boquillas de cono hueco 80015, espaciadas a 0,50 m, que a una presión de 4 bares ha⁻¹ asperja un volumen de 100 l ha⁻¹. Los detalles de las aplicaciones pueden consultarse en el apéndice del presente informe (Tablas 4 y 5).

En el estado V10 se determinó el NDVI por medio del sensor Green seeker. En la floración se midió la materia seca acumulada, el número de hojas fotosintéticamente activas, el vigor, cobertura, altura de plantas e índice verde por Spad. A cosecha se determinaron los componentes del

rendimiento, número de espigas m^{-2} (NE), granos espiga⁻¹ (GE), número granos m^{-2} (NG) y peso (PGx1000) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

RESULTADOS

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 2 las temperaturas, horas de luz y el coeficiente fototermal (Q), con datos de la EEA Pergamino. Se consideró la etapa entre el 10 de diciembre y el 15 de febrero, la cual abarca el período crítico de floración y llenado de granos en todos los materiales. Por su parte, en la Figura 3 se comparan las temperaturas máximas de este ciclo con los anteriores.

La campaña fue más seca y fría respecto de las tres últimas. Todos los meses, de setiembre a marzo, presentaron noches con temperaturas mínimas absolutas cercanas a cero, medido a la intemperie a 5 cm del suelo (Fuente: Climatología INTA EEA Pergamino). Las precipitaciones fueron especialmente escasas durante noviembre, enero, febrero y marzo. Las bajas temperaturas de la primavera y escasas lluvias de noviembre determinaron un cultivo de porte bajo, con limitada biomasa, lo que habría condicionado los rendimientos.

Un cultivo de maíz de media productividad requiere un uso consuntivo de aproximadamente 550 mm de agua. Durante el ciclo, el presente recibió 328 mm de lluvia y contenía 150 mm de agua útil a 1,5 m de profundidad. Esto significa que el cultivo habría maximizado el uso de las reservas y del agua de lluvia, en un balance hídrico muy ajustado especialmente a finales de ciclo. La humedad antecedente proveniente del ciclo anterior y las muy oportunas precipitaciones de diciembre explican los buenos rendimientos y el eficiente uso del agua.

Las condiciones de luminosidad fueron medias. El cociente fototermal (Q) (11 dic-10 ene) fue de **1,65**, inferior al de los años El Niño precedentes (2015/16: **1,72**; 2014/15: **1,70**) pero sin embargo muy superior al de años cálidos (2013/14: **1,35**; 2016/17: **1,58**) (Figura 2). Por su parte, las temperaturas medias fueron frescas durante diciembre, y especialmente elevadas en la transición enero-febrero (Figura 3). Se observó una gran amplitud térmica, con registros puntuales muy bajos en la temperatura mínima.

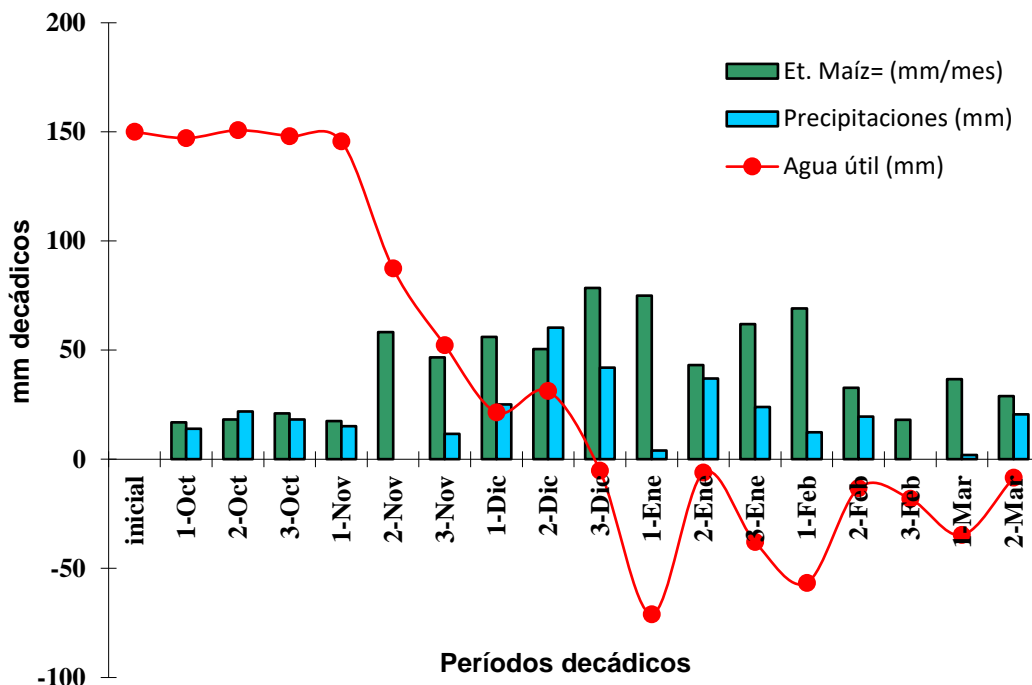


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y nivel de almacenaje (valores positivos) o déficit (negativo) acumulados (mm) en el sitio experimental. Pergamino, Bs As, campaña 2017/18. Agua disponible inicial en el suelo (150 cm) 150 mm. Precipitaciones totales en el ciclo 328 mm. Déficit acumulado de evapotranspiración 251 mm.

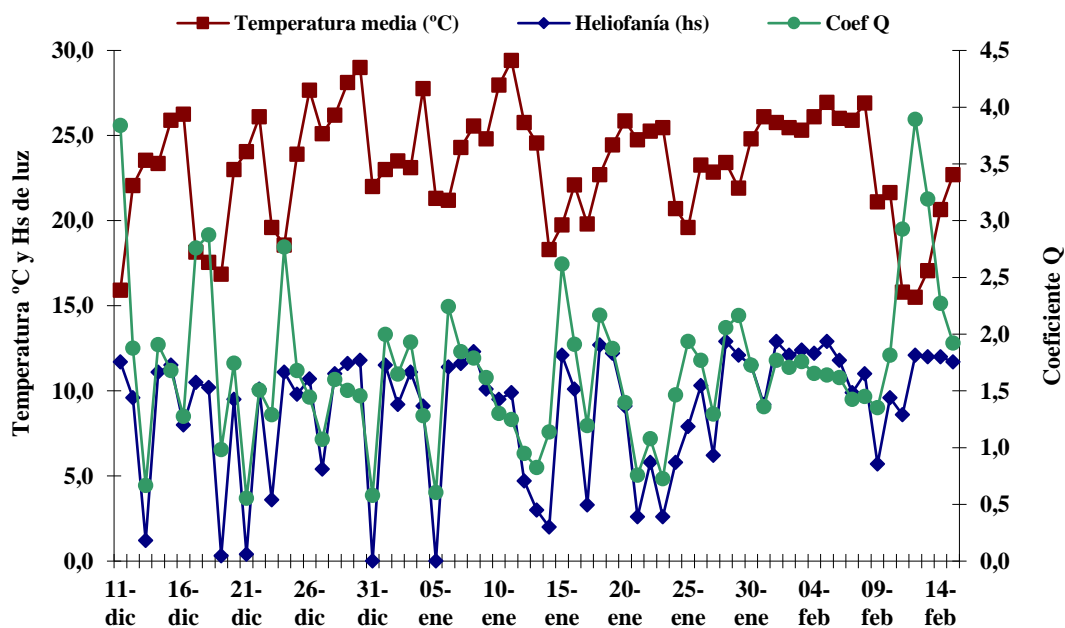


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diaria para el período 10 de diciembre - 14 de febrero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica de la floración, e inicios de llenado de los granos. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As), campaña 2017/18.

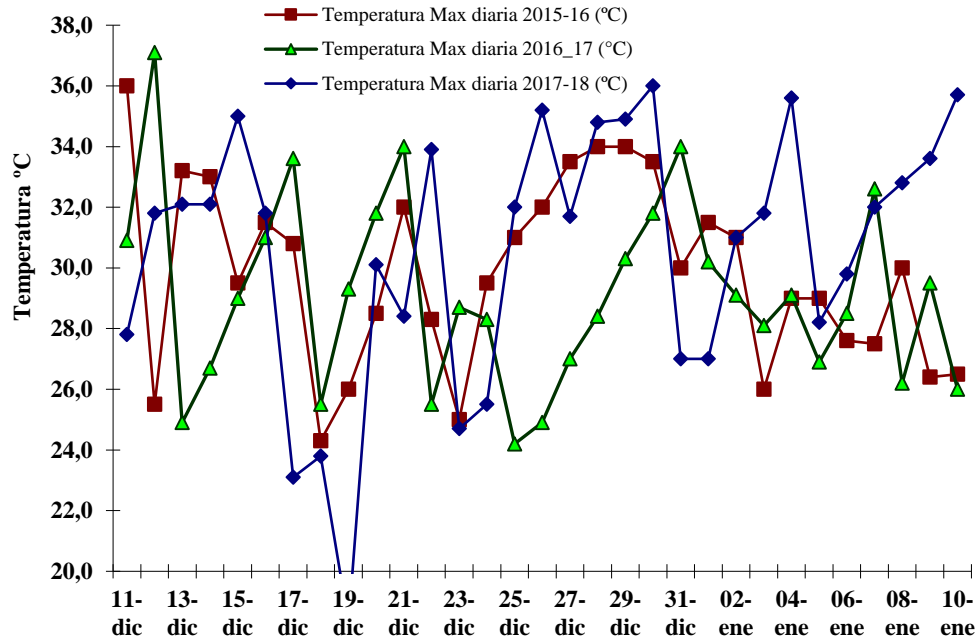


Figura 3: Temperaturas máximas diarias en el período crítico alrededor de floración, durante las campañas 2015/16, 2016/17 y 2017/18. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As).

B) Resultados del experimento.

En la Tabla 3 se presentan las variables morfológicas y fisiológicas de cultivo así como los componentes del rendimiento, mientras que en la Figura 4 se presentan los rendimientos y su significancia estadística.

Tabla 3: Parámetros morfológicos y componentes de rendimiento: Materia seca en V10, Altura de plantas y de Inserción de espigas, intercepción de radiación en floración, Intensidad de verde determinado mediante Spad y NDVI por Green seeker, vigor, rendimiento y sus componentes numéricos: espigas m⁻² (NE), granos espiga⁻¹ (GE), número granos m⁻² (NG) y peso (PGx1000) de los granos. Tratamientos de fertilización con nitrógeno, azufre y zinc en maíz de fecha tradicional. INTA Pergamino, campaña 2017/18.

Tr	Descripción	MSeca V7 (g m ⁻²)	Altura planta(cm)	Altura Inserción (cm)	Spad R1	Cobertura R1 (%)	Vigor (1-5)
T1	Control	2760,6	165,0	50,0	44,9	84,9	3,0
T2	Urea 100	2535,6	190,0	70,0	47,2	88,4	3,5
T3	Urea 200	2589,8	195,0	75,0	50,2	90,2	3,6
T4	Urea 300	3062,2	195,0	70,0	52,2	90,7	3,8
T5	NA+SA 100	3897,6	200,0	76,0	52,4	89,0	3,8
T6	NA+SA 200	3341,8	195,0	75,0	51,1	86,3	4,0
T7	NA+SA 300	4410,6	200,0	70,0	52,5	87,1	4,5
T8	NSZn (S) 100	4087,6	210,0	78,0	46,6	89,4	3,8
T9	NSZn (S) 200	4076,0	218,0	77,0	50,9	84,7	4,2
T10	NSZn (S) 300	3341,8	208,0	68,0	48,8	86,1	4,6
T11	SMZn 100	2943,0	210,0	70,0	47,5	87,8	3,6
T12	SMZn 200	3060,0	212,0	73,0	49,6	88,7	4,1
T13	SMZn 300	3176,2	217,0	75,0	52,9	87,4	4,7
T14	NSZn (Q) 100	3773,4	220,0	80,0	51,5	92,8	3,7
T15	NSZn (Q) 200	2940,2	225,0	82,0	49,0	87,7	4,1
T16	NSZn (Q) 300	3884,2	215,0	80,0	49,7	88,1	4,6
R ² vs rendimiento		0,17	0,56	0,36	0,25	0,01	0,81
Tr	Descripción	Green seeker V10	NE	GE	NG	PGx1000	Rendim (kg ha ⁻¹)
T1	Control	0,70	7,2	344,6	2469,4	252,0	6222,8
T2	Urea 100	0,74	6,7	469,3	3128,6	268,7	8405,4
T3	Urea 200	0,71	8,0	461,9	3695,1	232,7	8597,3
T4	Urea 300	0,73	6,2	607,9	3749,0	325,3	9595,0
T5	NA+SA 100	0,75	7,0	456,3	3193,8	277,3	8857,4
T6	NA+SA 200	0,73	6,8	477,2	3260,6	294,7	9607,8
T7	NA+SA 300	0,76	7,2	543,2	3892,7	252,0	9809,7
T8	NSZn (S) 100	0,75	7,0	464,8	3253,3	280,7	9130,8
T9	NSZn (S) 200	0,78	7,2	505,7	3623,9	297,3	10775,0
T10	NSZn (S) 300	0,76	5,8	637,8	3720,3	296,7	11036,9
T11	SMZn 100	0,78	5,8	524,2	3057,9	288,0	9306,6
T12	SMZn 200	0,76	6,2	483,3	2980,2	308,7	9698,9
T13	SMZn 300	0,76	7,5	438,7	3289,9	328,7	10326,8
T14	NSZn (Q) 100	0,74	7,3	391,1	2867,9	306,0	8775,8
T15	NSZn (Q) 200	0,80	7,0	475,9	3331,0	294,0	9793,3
T16	NSZn (Q) 300	0,75	7,5	481,0	3607,5	295,3	10654,3
R ² vs rendimiento		0,43	0,04	0,43	0,53	0,31	
Sign. Est (P=)							<0,0001
CV (%)							4,23

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

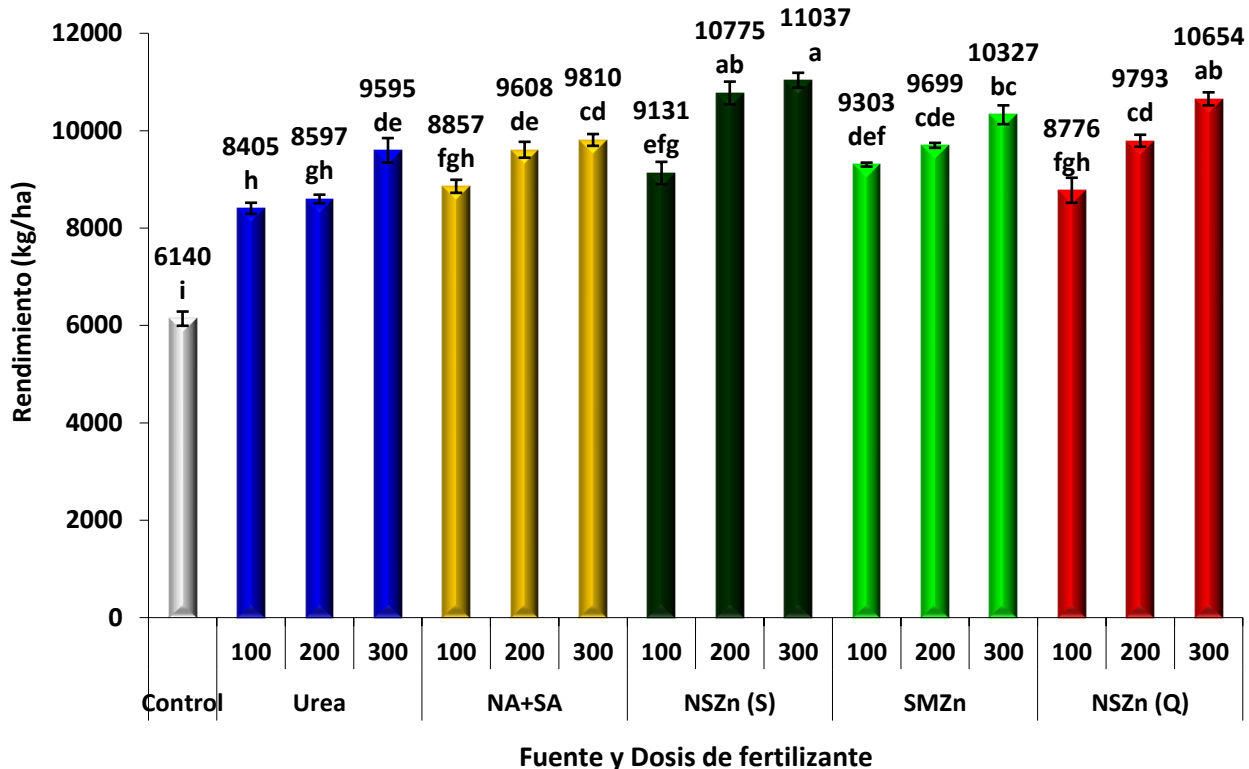


Figura 4: Rendimiento de grano según tratamientos consistentes en fuentes y dosis de fertilización con nitrógeno, azufre y zinc aplicados en postemergencia de maíz. Pergamino, *siembra temprana*, ciclo 2017/18. Letras diferentes sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$). DMS=656,7. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

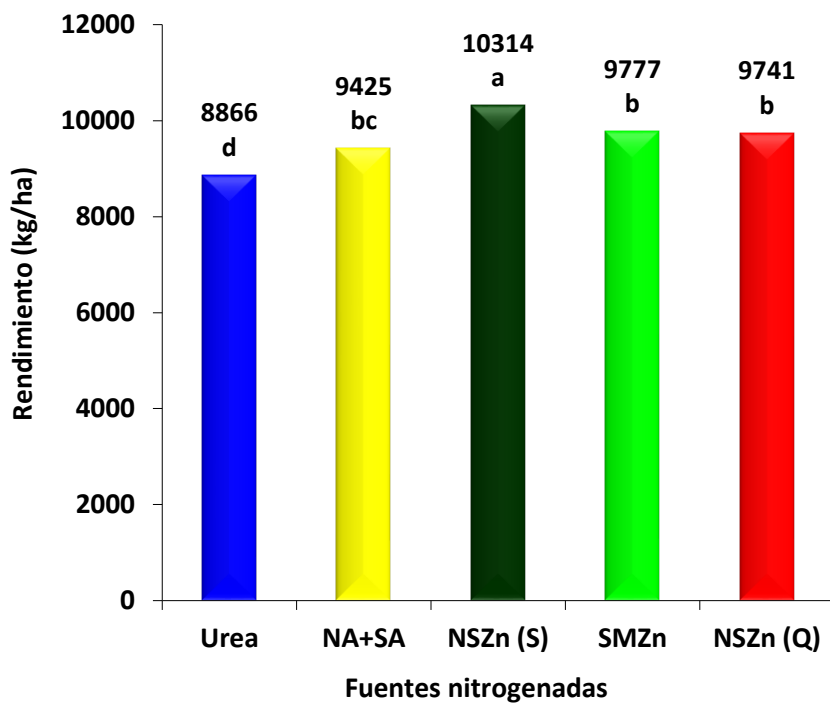


Figura 5: Comparación de diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en postemergencia, promedio de tres dosis de producto comercial. Pergamino, ciclo 2017/18. Letras diferentes sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$).

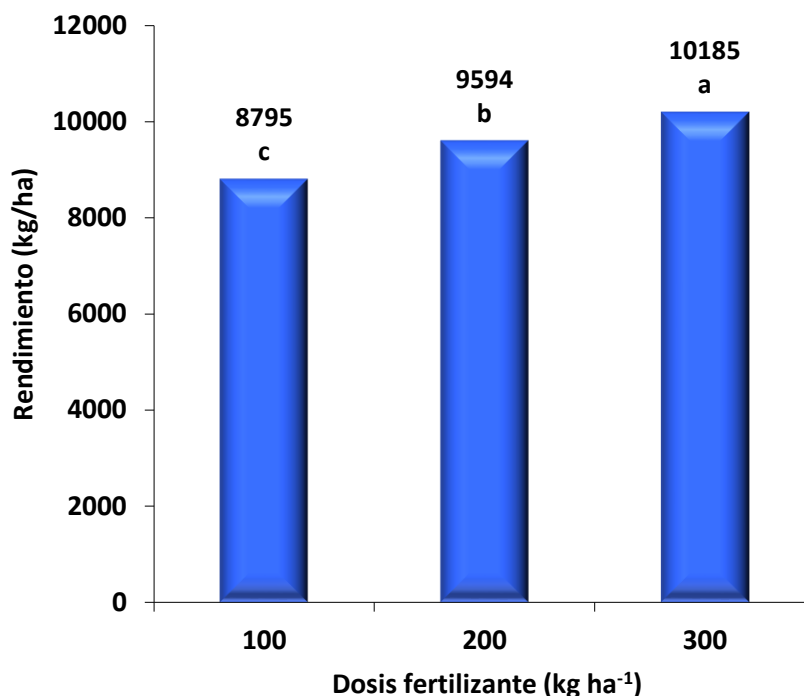


Figura 6: Respuesta a dosis crecientes de fertilizante comercial, promedio de todas las fuentes evaluadas. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$). Pergamino, año 2017/18. Letras diferentes sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los rendimientos alcanzaron una media de 9412,1 kg ha⁻¹. A pesar de la degradación del lote, las bajas temperaturas de primavera y falta de lluvias, la productividad fue aceptable. El antecedente de un ciclo húmedo permitió contar con buenas reservas, y las lluvias del mes clave de diciembre (127 mm) fueron satisfactorias y muy oportunas (Figura 1). Por otra parte, los análisis químicos presentados en la Tabla 3 y el rendimiento del tratamiento **Control** muestran la magnitud de la carencia nutricional a la que se ve sometido un cultivo de siembra temprana en un suelo habitual de la región.

Los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas en sus rendimientos ($P<0,0001$; $CV=4,2\%$) (Tabla 3). Un grupo de tres tratamientos alcanzaron la máxima valoración estadística (letra "a"), integrado por T10 [NSZn (s) 300], T9 [NSZn (s) 300] y T16 [NSZn (q) 300]. Todos ellos superaron largamente al control, y a otras combinaciones de fuentes y dosis (Figura 4). Los mejores tratamientos del experimento aportaron una fertilización balanceada con N, S y Zn, al menos en la dosis intermedia de 200 kg ha⁻¹ (Figura 4). A pesar de un nivel moderado en los suelos (Tabla 2), el aporte del microelemento aparece relevante.

En la comparación de fuentes se destaca la solución con NSZn. Este último bajo la forma de sulfato de Zn, sal soluble que permite lograr un alto grado (Figura 5). En un segundo escalón se ubicaron SMZn, NSZn (como quelato de Zn) y la mezcla física de sulfato de amonio + nitrato de amonio. La menor productividad de la urea estaría explicada por el aporte de un único nutriente, y su tendencia a elevar el pH en el sitio de reacción y como consecuencia volatilizar, acrecentada por el ciclo seco y la ausencia de lluvias en los días siguientes a la aplicación. Por este motivo, dicha fuente mostró una alta respuesta al incremento de dosis (Figura 4).

A pesar de representar un ambiente de mediana productividad, los rendimientos aumentaron en todo el rango de dosis evaluado en el experimento (Figura 6).

La respuesta fue anticipada en orden de correlación por las siguientes variables: La calificación subjetiva del vigor ($r^2=0,81$), Altura de planta ($r^2=0,62$), NG ($r^2=0,62$), GE ($r^2=0,43$) y NDVI medido por Green Seeker ($r^2=0,43$). Las variables que en mayor medida contribuyeron a explicar los rendimientos se relacionan con el crecimiento más que con la eficiencia fotosintética (Tabla 3).

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1, comprobando respuesta estadística significativa y de gran magnitud a la mayor parte de los tratamientos de fertilización aplicados, lo cual se explica por el muy bajo nivel de N en suelo y la alta degradación del sitio experimental, incluyendo erosión. La hipótesis 2 es igualmente aceptada, relegando a la fuente ureica pasible de volatilización con relación a las nítricas - amoniacales. Finalmente, la hipótesis 3 es aceptada. El rendimiento máximo se obtuvo con una fuente líquida balanceada, que no maximizó las unidades de N, pero permitió aportar al cultivo una solución uniforme con N, S y Zn.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- * Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E. y Sainz Rosas, H. 2005. "Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante". (Convenio INTA Balcarce - Profertil, 2004/05).
- * Bloom, A. J. (2015). The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current opinion in plant biology*, 25, 10-16.
- * Burzaco, J. P., Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2014). Nitrapyrin impacts on maize yield and nitrogen use efficiency with spring-applied nitrogen: Field studies vs. meta-analysis comparison. *Agronomy Journal*, 106(2), 753-760.
- * Coppo, J. C., do Carmo Lana, M., Gody, G., Fois, D. F., Queiroz, S. B., Lorenzetti, E., ... & Kawavata, C. K. H. (2016). Ammonia volatilization in corn crop as a result of the application of different nitrogenous fertilizers. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 7(8), 100-105.
- * Del Moro, S. K., Sullivan, D. M., & Horneck, D. A. (2017). Ammonia Volatilization from Broadcast Urea and Alternative Dry Nitrogen Fertilizers. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1629-1639.
- * Dhital, S., & Raun, W. R. (2016). Variability in optimum nitrogen rates for maize. *Agronomy Journal*, 108(6), 2165-2173.
- * Ferraris, G., L. Couretot y M. Toribio. 2010. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz en Pergamino (Bs As). Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (AACCS) "El Suelo, Pilar de la Agroindustria en la Pampa Argentina". Comisión 3: Nutrición Vegetal y Fertilidad de Suelos. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010.
- * Ferraris, G.N.; Elias, G.; Galetto, M.L. 2014. Pérdidas de Nitrógeno por Volatilización en Maíces Tardíos en Pergamino (Bs As). Efectos de Fuente y Dosis. En. Actas MAIZ HD - X Congreso Nacional de Maíz. Comisión 3. Suelos y Fertilización. Rosario, Septiembre de 2014.
- * Fontanetto, Hugo y Keller, Oscar. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.
- * Gaudin, A. C., Janovicek, K., Deen, B., & Hooker, D. C. (2015). Wheat improves nitrogen use efficiency of maize and soybean-based cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 210, 1-10.
- * Giagnoni, L., Pastorelli, R., Mocali, S., Arenella, M., Nannipieri, P., & Renella, G. (2016). Availability of different nitrogen forms changes the microbial communities and enzyme activities in the rhizosphere of maize lines with different nitrogen use efficiency. *Applied soil ecology*, 98, 30-38.
- * Irshad, M., Eneji, A. E., & Yasuda, H. (2008). Comparative Effect of Nitrogen Sources on Maize under Saline and Non-saline Conditions. *Journal of agronomy and crop science*, 194(4), 256-261.
- * Keeny D R, Nelson W D. 1982. In *Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological properties*, A L Page ed. pp. 643-693. American Society of agronomy, Madison, Wisconsin (USA).
- * Maharjan, B., Ferguson, R. B., & Slater, G. P. (2017). Irrigated corn productivity as influenced by nitrogen source, rate, and climatic conditions. *Agronomy Journal*, 109(6), 2957-2965.
- * Mueller, S. M., & Vyn, T. J. (2016). Maize plant resilience to N stress and post-silking N capacity changes over time: a review. *Frontiers in plant science*, 7, 53.

- * Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil*. 39:309-318.
- * Ordóñez, R. A., Savin, R., Cossani, C. M., & Slafer, G. A. (2015). Yield response to heat stress as affected by nitrogen availability in maize. *Field Crops Research*, 183, 184-203.
- * Osmond, D, C. Crozier, J. Dunphy, K. Edminsten, L. Fisher, R. Heiniger, R Weisz and D. Hardy. 2008. Testing New Fertilizers and Fertilizer Additives. Department of Soil Science. NC State university. Disponible on line. www.stanly.ces.ncsu.edu/files/library/84/Fertilizer%20Additives.3.7.2008.pdf
- * Peng, X., Maharjan, B., Yu, C., Su, A., Jin, V., & Ferguson, R. B. (2015). A laboratory evaluation of ammonia volatilization and nitrate leaching following nitrogen fertilizer application on a coarse-textured soil. *Agronomy Journal*, 107(3), 871-879.
- * Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy journal*, 91(3), 357-363
- * Sainz Rozas, H, Echeverría H.E, Studdert G.A, Andrade, FH, 1997a. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16
- * Schoninger, E. L., González-Villalba, H. A., Bendassolli, J. A., Trivelin, O., & Cesar, P. (2018). Fertilizer Nitrogen and Corn Plants: Not all Volatilized Ammonia is Lost. *Agronomy Journal*, 110(3), 1111-1118.
- * Trenkel, M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*.151 p.
- * Venterea, R. T., Coulter, J. A., & Dolan, M. S. (2016). Evaluation of intensive “4R” strategies for decreasing nitrous oxide emissions and nitrogen surplus in rainfed corn. *Journal of environmental quality*, 45(4), 1186-1195.
- * Videla, CC. 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. *EEA Balcarce INTA Bol.Tec.* 131, 16 p.
- * Salvagiotti, F. 2005. “Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz”. *EEA INTA Oliveros. (Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05)*
- * Waliwitiya, R. (2016). U.S. Patent No. 9,422,203. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- * Watson, C.J. 2000. Urease activity and inhibition. *Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454.* 39 p .
- * Weber, C., & McCann, L. (2015). Adoption of nitrogen-efficient technologies by US corn farmers. *Journal of environmental quality*, 44(2), 391-401.
- * Zhou, M., Zhu, B., Brüggemann, N., Dannenmann, M., Wang, Y., & Butterbach-Bahl, K. (2016). Sustaining crop productivity while reducing environmental nitrogen losses in the subtropical wheat-maize cropping systems: A comprehensive case study of nitrogen cycling and balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 1-14.