

FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ TRADICIONALES Y TARDÍOS.

AREA DE DESARROLLO RURAL – UNIDAD TERRITORIAL AGRÍCOLA INTA EEA PERGAMINO. Campaña 2012/13

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Av. Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas por volatilización del gas amoníaco (NH_3) y la lixiviación de este nutriente hacia capas profundas de suelo son las principales vías de pérdida de nitrógeno (N) en los sistemas agrícolas, provocando una baja eficiencia de los fertilizantes. 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, textura, 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.

En la región pampeana argentina, los cultivos de gramíneas son habitualmente fertilizados con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas por volatilización que pueden sufrir dichas fuentes, pero se trata de casos puntuales por lo que la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones requiere ser ampliada. Para la fuente urea, en aplicaciones realizadas durante un período seco del mes de Noviembre, Ferraris et al., (2010) determinaron pérdidas de un 7,1 y 13,2 %, en dosis de 60 y 120 kgN ha⁻¹, respectivamente. Estas pérdidas se redujeron considerablemente cuando se utilizaron fuentes líquidas –solución de urea y nitrato de amonio- o se emplearon moléculas como el NBPT - *n* (*n*-butyl) tiamida tiofosfórica, el cual actúa bloqueando temporalmente la enzima ureasa, encargada de iniciar las reacciones primarias de desdoblamiento de la urea.

El objetivo de este trabajo fue comparar dos niveles de diferentes fuentes nitrogenadas en maíz, bajo condiciones contrastantes en cuanto a su riesgo de sufrir pérdidas gaseosas en forma de NH_3 , a partir de aplicaciones en siembras tempranas –con temperaturas moderadas y durante una estación lluviosa- y tardías, bajo altas temperaturas y un período prolongado sin precipitaciones. Hipotetizamos que las pérdidas de N pueden ser minimizadas a través de una adecuada combinación de fuentes y dosis de aplicación.

Palabras clave: Maíz, nitrógeno, volatilización, fechas de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre un mismo sitio experimental, se condujeron dos experimentos sólo diferentes en fechas de siembra, en la localidad de Pergamino (Buenos Aires). El suelo corresponde a la Serie Pergamino, Clase I de buena productividad. La siembra temprana se realizó el día 4 de octubre, con el híbrido Pioneer 2053YR, mientras que la tardía el 27 de Diciembre utilizando el cultivar Arvales 2194 HxRR2. La fertilización de base se realizó igualmente con 100 kg ha⁻¹ de Superfosfato triple de calcio (0-20-0).

En ambos casos se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos. Los tratamientos de fuentes y dosis de N fueron aplicados en postemergencia temprana (V6, Ritchie & Hanway, 1983), en cobertura total sobre el suelo sin incorporación posterior. El detalle de los mismos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización de Maíz en Pergamino, en siembras tempranas y tardías. Campaña 2012/13.

Trat	Denominación	Dosis N (kg ha ⁻¹)
T1	Testigo	N0
T2	Urea (46-0-0)	N60
T3	UAN-TSA (28-0-0-S5)	N60
T4	Nutrix (23 - 0-0- S5)	N60
T5	Urea (46-0-0)	N120
T6	UAN-TSA (28-0-0-S5)	N120
T7	Nutrix (23 - 0-0-S5)	N120

Solución de urea-nitrato de amonio-tiosulfato de amonio,

Por su parte, los análisis de suelo de los sitios experimentales se presentan en la Tabla 2. Se destaca un nivel de Materia orgánica medio a bajo, bajo de fósforo (P), N medio y bajo de azufre (S). Las bases de cambio presentan un valor normal.

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra

Bloque	Prof.	MO	pH	Ntotal	N-NO3	N-NO3	P-Bray	S-SO4	K	Mg	Ca	Zn
	(cm)	(%)			ppm	kg/ha 0-60	Ppm					
Pergamino	0-20	2,53	5,8	0,126	10,2	50,1 kg	6,6	7,4	579	225	1243	0,45
	20-40				4,9							
	40-60				4,2							

En floración plena (R2) se determinó la altura de plantas, intercepción de radiación y vigor, además de la intensidad de verdor en hoja por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502 (Tabla 3). Este brinda una medida adimensional, no destructiva e indirecta del contenido de N foliar. Permite a la vez, cuantificar en forma objetiva y con mayor sutileza que la del ojo humano, eventuales diferencias entre tratamientos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una alícuota de grano se analizaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza, comparaciones de medias y análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción climática de la campaña

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico del sitio durante el ciclo de cultivo.

En siembras tempranas las lluvias alcanzaron valores adecuados, aun cuando la ausencia de eventos significativos y las altas temperaturas provocaron un agotamiento de las reservas hacia finales de enero (Figura 1). La buena capacidad de retención de los suelos permitió sostener rendimientos elevados, no obstante el déficit acumulado—de 97 mm—podría haber afectado en forma leve los rendimientos. En la fecha tardía, el perfil de suelo se encontraba completamente cargado a la siembra, y el mes de enero tomó al cultivo en su fase vegetativa, por lo que la humedad no fue limitante (Figura 2). Finalmente, en la Figura 3 son comparadas las precipitaciones y temperaturas para diciembre y enero durante las campañas 2011/12 y 2012/13, evidenciando el contraste existente, con un ambiente más favorable en esta última.

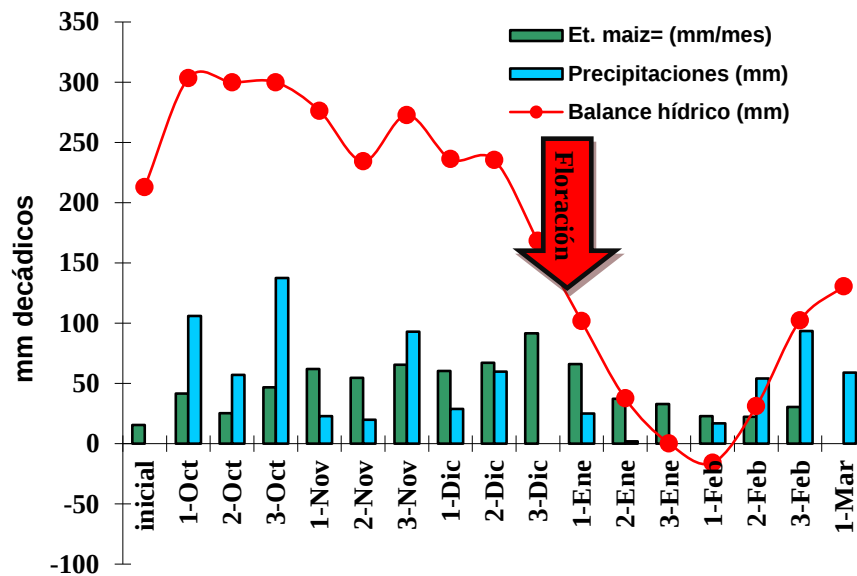


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulados (mm) en Pergamino, Bs As, en siembras tempranas de la campaña 2012/13. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) 213 mm. Precipitaciones totales en el ciclo 775,4 mm. Déficit acumulado de evapotranspiración 16 mm.

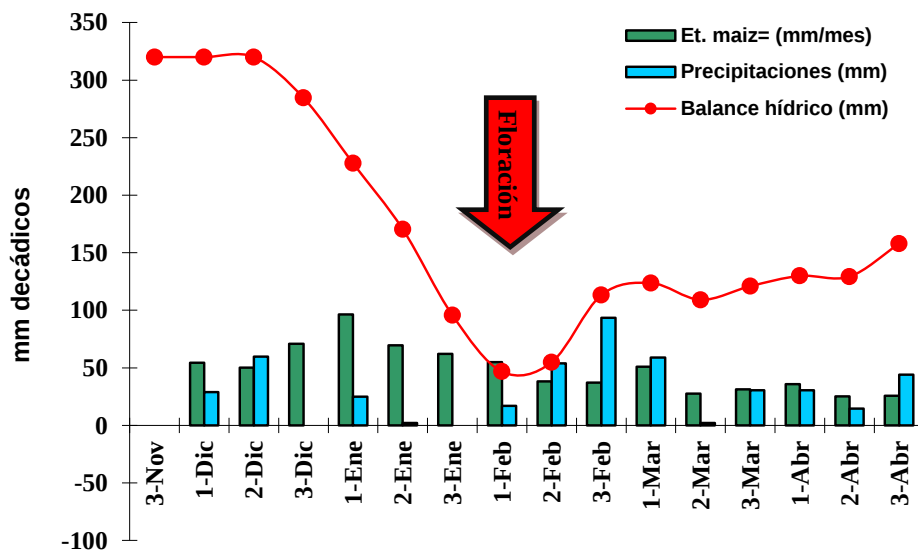


Figura 2: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulados (mm) en Pergamino, Bs As, en siembras tardías de la campaña 2012/13. Agua disponible inicial en el suelo (200 cm) 320 mm. Precipitaciones totales en el ciclo 341 mm. Déficit acumulado de evapotranspiración 0 mm.

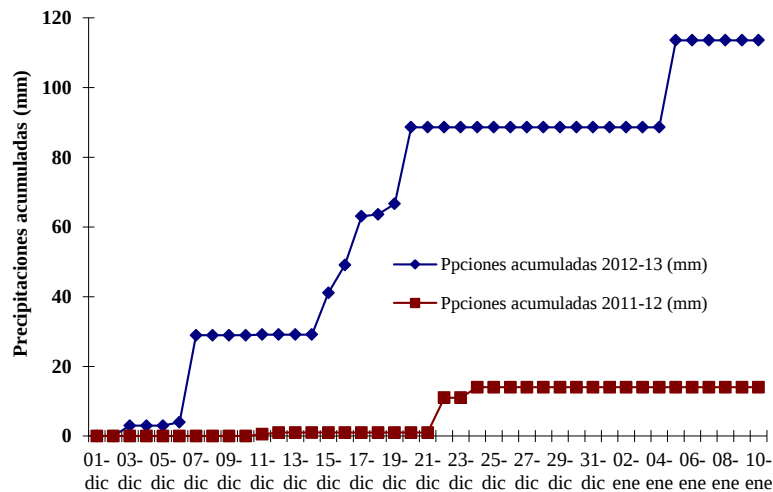


Figura 3.a

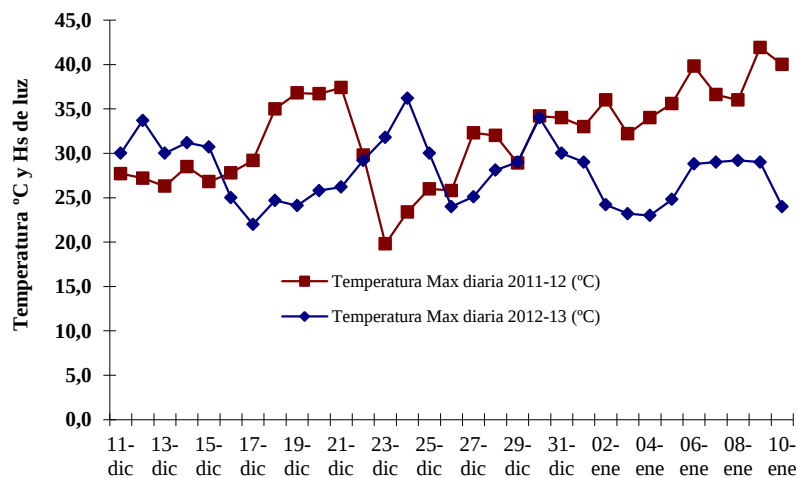


Figura 3. b

Figura 3: Precipitaciones y temperatura máxima diaria a finales de diciembre y comienzos de enero para la campañas 2011/12 y 2012/13. Nótese el incremento de temperaturas hacia enero de 2012.

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

La magnitud del proceso de volatilización está fuertemente afectado por el ambiente, siendo altas temperaturas, baja humedad relativa, viento y ausencia de precipitaciones los factores más conducentes. En las Tabla 3 y 4 se presentan las condiciones ambientales entre el día de la aplicación y la primera lluvia significativa, la cual se espera incorpore el nitrógeno evitando de allí en más el riesgo de pérdidas de N. Cuando se realizaron en el maíz temprano, las temperaturas moderadas y un escenario de lluvias frecuentes y alta humedad relativa no predispuso a la expresión de pérdidas importantes (Tabla 3). Por el contrario, el ambiente fue más desfavorable durante el crecimiento vegetativo de los maíces tardíos (Tabla 4), en el que recién a los 23 días después de la aplicación ocurrieron lluvias pequeñas que facilitarían una incipiente entrada de N al perfil (Tabla 4).

En las Figuras 4 y 5 se presentan los rendimientos de grano. El rendimiento sin fertilizante fue superior en la fecha de siembra tardía, a causa de la mayor oferta de N desde el suelo producto de la mineralización y la prolongación del período de barbecho. Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos en siembra temprana ($P=0,007$; $cv=9,8$ %) como en siembras tardías ($P=0,01$; $cv=7,34$ %). En siembras tempranas, se determinó respuesta a dosis en la urea – mayor rendimiento con N120 respecto de N60- pero no en las fuentes líquidas (Figura 4), que alcanzaron el rendimiento máximo con N60 evidenciando mayor eficiencia en dosis bajas de N (Figura 6). En la fecha tardía, todos los tratamientos fertilizados superaron al testigo, sin diferencias de rendimiento entre dosis o fuentes (Figura 5). La eficiencia de uso de N ($EUN= \text{kg grano/kgN}$) fue superior en siembras

tempranas y en dosis bajas de N. Cuando la dosis de N fue limitada (N60), la EUN por lo general fue superior en las fuentes líquidas (Figuras 6 y 7).

Tabla 3: Registros ambientales diarios posteriores a la aplicación de los fertilizantes, hasta la primera lluvia significativa para anular el proceso de volatilización. **Fecha de siembra temprana. Aplicación 10 de Noviembre.** Pergamino, campaña 2012/13.

	Días desde la aplicación de los fertilizantes							
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
T Max (C°)	21,8	22,5	24,5	26,0	27,0	28,8	28,3	22,0
T Media (C°)	16,4	15,3	17,3	18,9	20,0	21,4	21,3	17,6
T mínima (C°)	11,0	8,0	10,0	11,8	13,0	14,0	14,2	13,2
Ppciones (mm)								20
Heliofanía (hs)	6,3	10,1	9,7	9,9	10,4	8,6	3,4	6,3
Vel viento (km/h)	6,6	8,7	8,7	6,7	8,6	7,8	9,7	6,6
Dirección viento	SSESE	E	E	NE	NE	ENENE	NE	SSESE
HR (%)	73,5	66	67,5	72,5	69,5	69	71	73,5

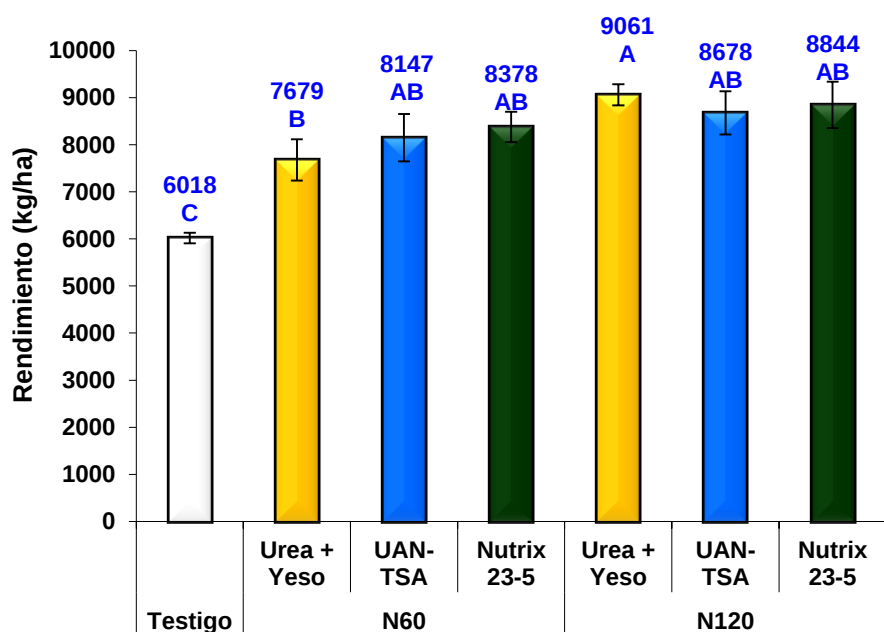
Tabla 4: Registros ambientales diarios posteriores a la aplicación de los fertilizantes, hasta la primera lluvia significativa para anular el proceso de volatilización. **Fecha de siembra tardía. Aplicación 8 de Enero.** Pergamino, campaña 2012/13.

	Días desde la aplicación de los fertilizantes									
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
T Max (C°)	26,5	31,2	32,6	31,2	30,2	31,0	30,6	31,0	31,8	30,5
T Media (C°)	21,8	23,2	25,3	24,1	23,1	22,9	22,3	22,8	24,5	23,7
T mínima (C°)	17,0	15,2	18,0	17,0	16,0	14,8	14,0	14,5	17,2	16,8
Ppciones (mm)										
Heliofanía (hs)	1,0	10,9	10,7	10,7	9,9	11,0	11,0	10,5	3,4	4,3
Vel viento (km/h)	11,5	18,5	19,6	7,0	8,1	7,0	7,4	5,9	5,6	6,8
Dirección viento	S	S	S	NE	NE	E	E	EENE	NNNE	SSSE
HR (%)	76,5	70,5	68	55,5	58	61	61,5	69	77,5	75,5

	Días desde la aplicación de los fertilizantes									
	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20
T Max (C°)	28,2	29,5	26,5	28,4	30,0	34,2	37,2	22,3	26,8	33,0
T Media (C°)	21,1	21,7	19,8	21,2	23,5	25,1	26,6	14,8	15,9	23,5
T mínima (C°)	14,0	13,8	13,0	14,0	17,0	16,0	16,0	7,2	5,0	14,0
Ppciones (mm)		2,0								
Heliofanía (hs)	7,9	6,9	9,1	9,1	7,5	7,6	10,5	11,4	10,4	10,0
Vel viento (km/h)	5,9	4,6	9,2	6,3	5,6	12,7	15,2	7,1	7,2	9,9
Dirección viento	SSSE	S	SE	NNNE	NE	N	WWSW	SW	N	N
HR (%)	78	68,5	60,5	66,5	59	65,5	63	62,5	54	64

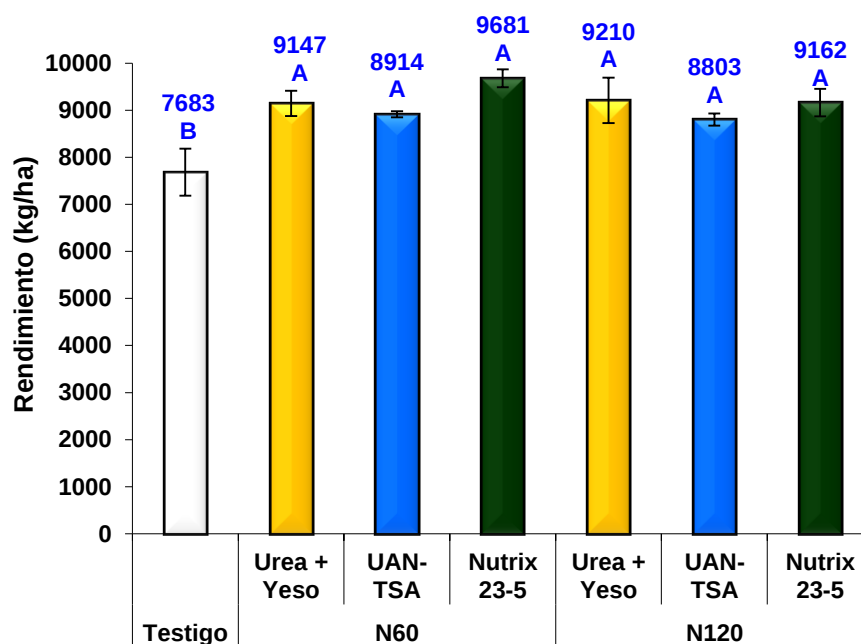
	Días desde la aplicación de los fertilizantes					
	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 23	Día 24
T Max (C°)	34,0	34,0	35,0	26,0	35,8	29,0
T Media (C°)	24,5	26,0	25,0	22,5	27,4	23,0
T mínima (C°)	15,0	18,0	15,0	19,0	19,0	17,0
Ppciones (mm)					4,5	5,5
Heliofanía (hs)	5,9	5,4	10,4	1,3	10,2	2,2
Vel viento (km/h)	4,9	4,7	6,59458333	5,7225	7,3	16,4
Dirección viento	NW	NE	SSSE	NNENE	N	SSSE

HR (%)	62	61	65	83	69,5	72,5
--------	----	----	----	----	------	------



Dosis - Fuente de NS

Figura 4: Rendimiento según fuentes y dosis de fertilizantes nitrógeno azufrados aplicados en V6 para maíz en fecha de **siembra tradicional**. Pergamino, campaña 2012/13. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media.



Dosis - Fuente de NS

Figura 5: Rendimiento según fuentes y dosis de fertilizantes nitrógeno azufrados aplicados en V6 para maíz de **siembra tardía**. Pergamino, campaña 2012/13. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (LSD $\alpha=0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media.

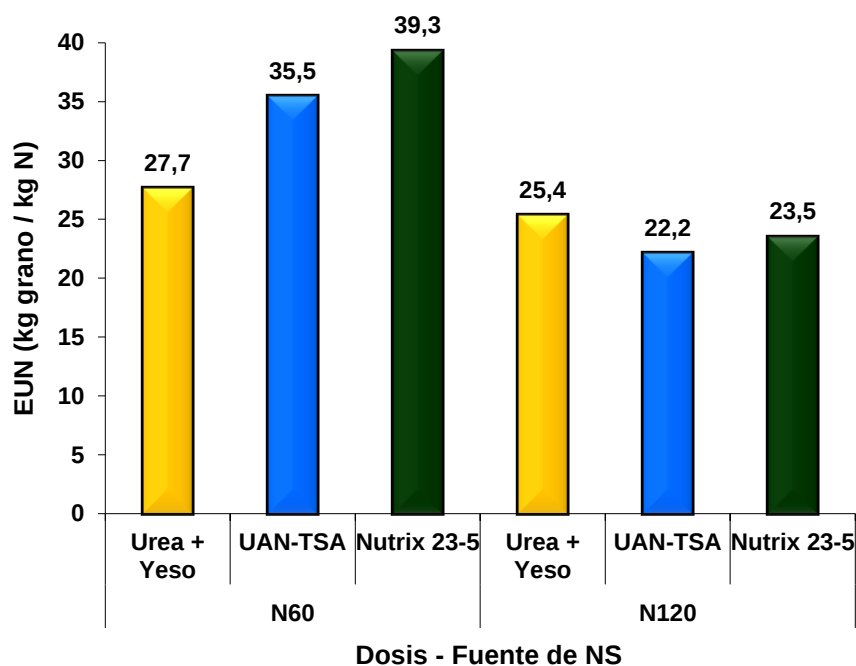


Figura 6: Eficiencia de uso de nitrógeno según fuentes y dosis de fertilizante nitrógeno-azufrado aplicado en V6 para maíz de *siembra temprana*. Pergamino, campaña 2012/13.

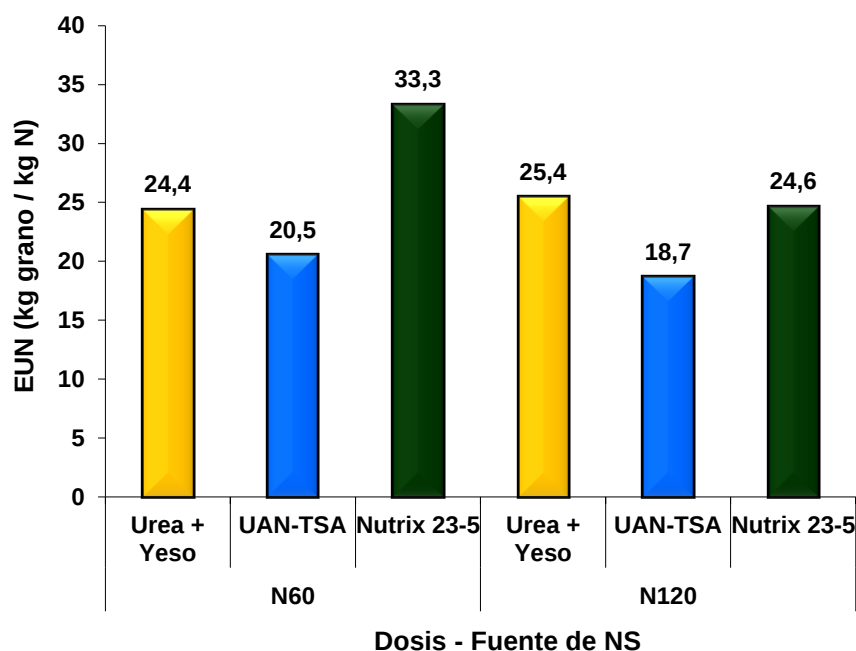


Figura 7: Eficiencia de uso de nitrógeno según fuentes y dosis de fertilizante nitrógeno-azufrado aplicado en V6 para maíz de *siembra tardía*. Pergamino, campaña 2012/13.

Los experimentos realizados permiten relacionar el rendimiento con la oferta de N, según fecha de siembra. Con altos valores de N el rendimiento es similar entre fechas. Sin embargo, cuando el N es bajo, las fechas tardías sostienen rendimientos superiores demostrando mayor habilidad para absorber y utilizar el N del suelo (Figura 8).

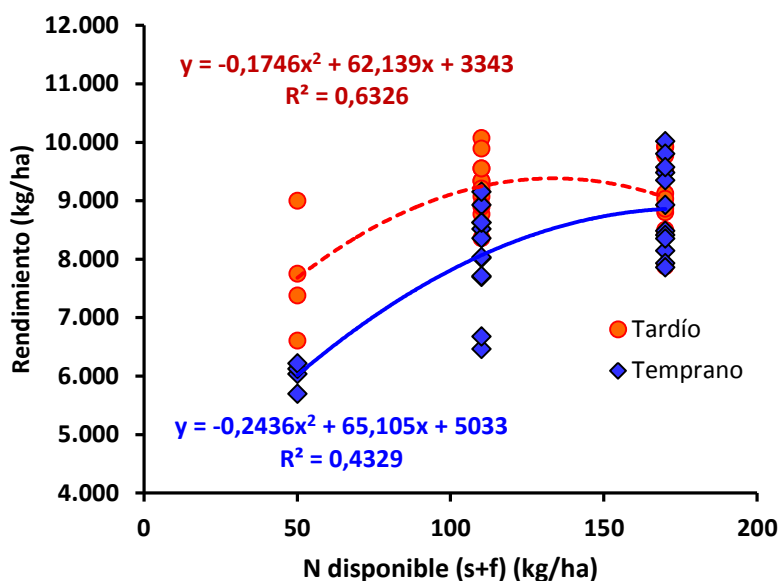


Figura 8: Relación entre rendimiento de grano y disponibilidad de N (suelo 0-60 cm + fertilizante) según fecha de siembra de Maíz en Pergamino, campaña 2012/13.

CONCLUSIONES

* Las condiciones ambientales fueron favorables para el cultivo de maíz, tanto en fechas de siembra tempranas como tardías. El rendimiento medio alcanzó a 8115 y 8943 kg ha⁻¹ en siembras tempranas y tardías, respectivamente. Las diferencias se justifican a partir del menor rendimiento de los testigos en siembras tempranas (6018 kg ha⁻¹) en comparación con las tardías (7683 kg ha⁻¹), explicadas en la mayor temperatura y barbecho más prolongado que acompaña a las siembras tardías, favoreciendo la mineralización de N en el suelo.

* En siembras tempranas se determinaron diferencias entre dosis, y entre fuentes en la dosis más baja de N60. En siembras tardías, donde la respuesta a N es más pequeña, esta fue uniforme entre fuentes y dosis.

* Las mayores ventajas de las fuentes líquidas se visualizaron en siembras tempranas y en dosis bajas de N, donde la restricción del nutriente fue de mayor magnitud. En siembras tardías, las mayores pérdidas de N que bajo un ambiente predisponente habría sufrido la urea, en este experimento fueron compensadas a partir de una mayor oferta de N del suelo, diluyendo diferencias de rendimiento entre fuentes.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Barbieri P.A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas. 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.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. Evaluación de diferentes dosis y momentos de aplicación de nitrógeno y su interacción con fuentes líquidas utilizando fuentes líquidas en el norte de la provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07. En: Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Año 2007. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas: 136-146.

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. Mesa de Fertilidad y Nutrición de Cultivo. IX Congreso Nacional de Maíz. 1º Simposio Nacional de Sorgo. 4 pp.

Ferraris, GN1, Couretot, LA1 y Toribio, M.2 **Ferraris, G. y L. Couretot. 2012.** Respuesta del maíz a dosis crecientes de nitrógeno utilizando fuentes líquidas en combinación con inhibidores de la nitrificación. En: Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Año 2012. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas (en prensa).

Fontanetto H. y O. Keller. 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.

Nommik H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant Soil. 39:309-318.

Peterson, R.F.; F.A. Campbell; A.E. Hannah. 1948. A diagramatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. Canadian Journal Research 26: 496-500.

Ritchie, S. and J. Hanway. 1993. How a Corn Plant Develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Disponible on line www.iastate.edu

Sainz Rozas H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 15: 12-16

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

Trenkel M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. 151 p

Videla C.C. 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol. Tec. 131, 16 p.

Watson C.J. 2000. Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p