

Mejores prácticas de manejo de la fertilización de trigo: Dos experiencias de INTA 9 de Julio - Buenos Aires, Argentina

Luis Ventimiglia y Lisandro Torrens Baudrix*

Las mejores prácticas de manejo (MPM) de uso de fertilizantes involucran aplicar la **fuerza** de nutriente correcta, en la **dosis**, el **momento** y el **lugar** correctos. Estas decisiones son críticas para alcanzar una óptima eficiencia de uso de los nutrientes en el sistema de producción, incrementando la productividad de los cultivos y reduciendo el impacto ambiental. En este artículo se resumen dos experiencias llevadas a cabo por la UEEA INTA 9 de Julio (Buenos Aires, Argentina) en la campaña de trigo 2011/12 con la finalidad de evaluar fuentes alternativas de nitrógeno (N) y localizaciones alternativas para fertilizantes fosfatados.

1. Uso de inhibidores de ureasa en aplicaciones superficiales de urea en trigo

El N es uno de los nutrientes que se agregan en mayor cantidad en la agricultura extensiva de la región pampeana argentina. En general, la mayoría de los cultivos invernales y estivales, exceptuando la soja, son fertilizados con cantidades variables de fertilizantes nitrogenados. Si bien existe una amplia gama de productos que proveen N, el más ampliamente difundido es la urea (46-0-0). En cuanto a la forma de aplicación, en general, los fertilizantes nitrogenados sólidos son aplicados en cobertura total o en bandas, con o sin incorporación; mientras que los líquidos son aplicados en forma de chorreado o inyectados.

Una pérdida de significancia del N aplicado como urea se puede dar a través de la volatilización de amoníaco (NH_3). El N de la urea se encuentra bajo la forma de amida, no pudiendo ser aprovechado directamente por las plantas. Para ello, la urea debe hidrolizarse por la acción de la enzima ureasa, que se encuentra en el suelo y, en mayor cantidad, en los rastrojos de cosecha.

La ureasa desdobla la molécula amida produciendo NH_3 y dióxido de carbono, gases que pueden difundir con facilidad hacia la atmósfera. De no hacerlo, el NH_3 , por la acción de diferentes microorganismos es oxidado hasta llegar al estado de nitrato (NO_3^-), producto de gran movilidad en el suelo y de fácil absorción por parte de las plantas (Figura 1).

Existen factores que aceleran las pérdidas de N cuando se aplica urea en cobertura total sin incorporación

a un suelo, entre otras podemos mencionar: i) tiempo cálido; ii) suelos alcalinos (pH elevado); iii) alto nivel de residuos en superficie, los cuales incrementan la actividad de la ureasa; iv) vientos de cierta consideración ($> 15 \text{ km h}^{-1}$), que arrastran las capas de aire superficial, favoreciendo la volatilización; v) falta de lluvias o riego por dos o más días posteriores a la aplicación; y vi) suelos de textura liviana (arenosos) (Barreto y Westerman, 1989).

Numerosas investigaciones en los últimos años han desarrollado productos inhibidores de la actividad de la enzima ureasa que demoran la hidrólisis de la urea y, con ello, consiguen reducir las pérdidas por volatilización en aplicaciones de urea superficiales. Los productos más efectivos en la inhibición de la ureasa han sido los análogos de la urea, tales como los fosfordiamidatos y fosfortriamidatos, los mismos han mostrado tener una fuerte acción inhibidora en concentraciones muy bajas, entre los productos de esta familia se encuentra el nBTPT (N-butyl thiophosphoric triamida), (Martens y Bremner, 1984; Buresh et al., 1988; Watson et al., 1994; Cantarella y Marcelino, 2007). El objetivo de esta experiencia fue evaluar el uso de urea estabilizada mediante nBTPT comparado con urea como fuente nitrogenada en un cultivo de trigo en la zona de 9 de Julio, Buenos Aires.

Materiales y métodos

Se instaló un ensayo en un lote que tenía como antecesor soja de primera y con siembra directa por más de 20 años, con una secuencia trigo/soja – maíz – soja sobre un suelo Hapludol éntico. La siembra se efectuó el 26 de junio de 2011 con la variedad Klein Yará. Se realizó una fertilización de base en la línea de siembra con 115 kg ha^{-1} a base de una mezcla de grado

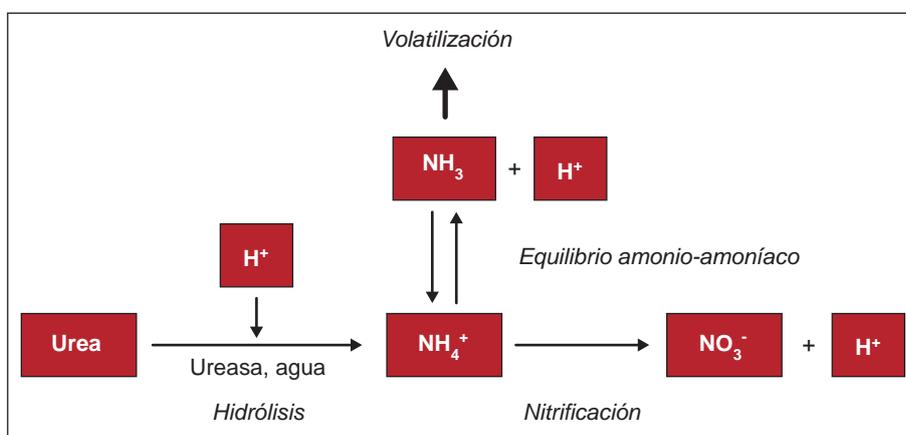


Figura 1. Reacciones de hidrólisis de urea, y posterior nitrificación y/o volatilización de amoníaco.

* UEEA INTA 9 de Julio. Buenos Aires. Argentina. Correo electrónico: a9julio@internueve.com.ar

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados en trigo. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. La letra "x" representa el N del suelo al momento de la siembra del cultivo. La dosis de N surge de restar esa cantidad "x" a 60 kg y 120 kg según el tratamiento.

Tratamiento	Descripción	Dosis de N (kg ha ⁻¹)
T1	Sin N	0
T2	Urea	60 - x
T3	Urea + nBTPT	60 - x
T4	Urea	120 - x
T5	Urea + nBTPT	120 - x

5.5 – 11.5 – 0 – 9.3S – 11.8Ca. Previo a la siembra se realizó un análisis de suelo (0-20 cm), con los siguientes resultados: materia orgánica (MO) 2.7 %, pH 5.7, y P Bray-I 3.6 ppm. El contenido de N-NO₃⁻ a la siembra (0-60 cm) se estimó en 29 kg N ha⁻¹.

El ensayo se condujo bajo un diseño en bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos evaluados se describen en la **Tabla 1**. Para dos tratamientos, la urea fue tratada con nBTPT (Agrotain ©), previo a la siembra a la dosis de 3 cc kg⁻¹ de producto. En todos los casos, el fertilizante fue aplicado al voleo 13 días posteriores a la siembra del trigo (06/07/11).

Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA y los tratamientos fueron comparados mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS) al 5% de probabilidad. El manejo del cultivo fue el convencional para la zona en cuanto a control de malezas, enfermedades e insectos.

Resultados y discusión

Los rendimientos en grano de todos los tratamientos fertilizados con N se diferenciaron estadísticamente del rendimiento del tratamiento testigo sin N (T1) (**Figura 2**). Por otra parte, los rendimientos de los tratamientos de urea con nBTPT superaron a los de urea, aun a igual dosis de N.

Las eficiencias agronómicas de N (EAN, kg respuesta trigo kg⁻¹ N aplicado) logradas con urea sin nBTPT,

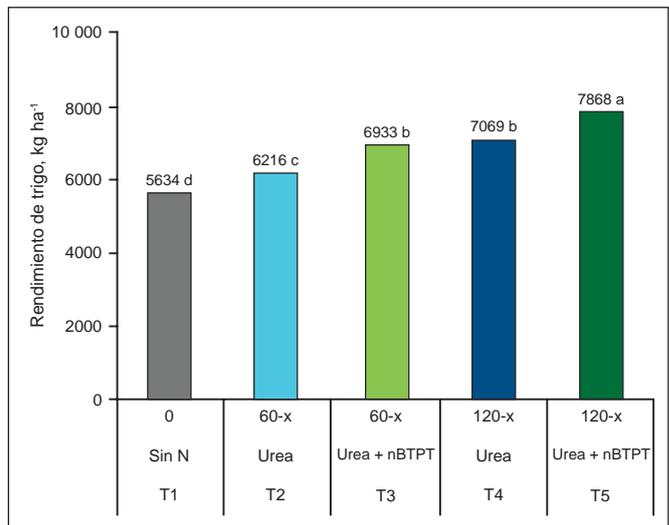


Figura 2. Rendimiento de trigo con diferentes dosis y fuentes de N. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Medias seguidas por letras distintas, indican diferencias significativas (p < 0.05).

fueron de 18.8 y 15.8 kg trigo kg⁻¹ N para T2 y T4, respectivamente. Con las mismas dosis de aplicación de N, los tratamientos de urea con nBTPT alcanzaron EAN de 41.9 y 24.5 kg trigo kg⁻¹ N, para T3 y T5, respectivamente.

Las diferencias entre urea y urea+nBTPT podría deberse a pérdidas por volatilización, que pudieron haber ocurrido a pesar de las bajas temperaturas en la época de aplicación. Cabe destacar que desde el momento de aplicación de la urea hasta producirse la primera lluvia (34 mm) transcurrieron 12 días, por lo que la urea no fue incorporada por efecto de precipitaciones.

Es posible que la mayor eficiencia de la urea con nBTPT sea consecuencia no solo de menores pérdidas por volatilización, sino también por la liberación más gradual del N, lo que posibilita la coincidencia de una mayor disponibilidad de N en momentos de mayor necesidad del cultivo.

Al analizar económicamente los resultados (**Tabla 2**), considerando solamente los costos variables y los beneficios que se pueden obtener por la práctica de fertilización, se encontró que la urea con nBTPT superó ampliamente a la urea común, siendo de esta manera

Tabla 2. Análisis económico parcial de la fertilización nitrogenada en trigo comparando dosis y fuentes de N. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Precios vigentes al momento del análisis: Urea a 650 U\$S t⁻¹; nBTPT + tratamiento: 0.235 U\$S kg urea⁻¹; trigo a 130 U\$S t⁻¹; Cambio dólar a 4.35 A\$ /U\$S. A\$, pesos argentinos; U\$S, dólares americanos.

Tratamiento	Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg trigo ha ⁻¹)	Costo tratamiento (A\$ ha ⁻¹)	EAN (kg trigo kg ⁻¹ N)	Beneficio Bruto (A\$ ha ⁻¹)	Beneficio Neto (A\$ ha ⁻¹)
T5	91 (120 - x)	2234	606	24.5	1263	657
T4		1435	560	15.8	812	252
T3	31 (60 - x)	1299	207	41.9	735	528
T2		582	191	18.8	329	138

no solamente beneficioso para el ambiente, al presentar un menor riesgo de contaminación, sino también para la economía del productor y, consecuentemente, del país.

Conclusiones

El uso de urea tratada con nBTPT permitió mejorar la utilización del N por parte del cultivo de trigo, reflejándose esto en una mayor eficiencia de uso del N aplicado (EAN). Adicionalmente las variables económicas involucradas en la práctica, mostraron también un impacto positivo relevante del uso de este tipo de tecnología.

El presente trabajo debería continuarse y profundizarse, a efectos de ratificar o rectificar los resultados aquí obtenidos, contribuyendo, de este modo, al desarrollo de las mejores prácticas de fertilización nitrogenada en cultivos de trigo.

2. Localización de fertilizantes fosfatados para el cultivo de trigo

En general, la fertilización fosfatada en cultivos extensivos en Argentina se realiza en la banda o línea de siembra. Este método de aplicación del fósforo (P) presenta como ventajas, entre otras, la de colocar en un lugar estratégico al nutriente para que las raíces lo puedan tomar y la de realizar todo en una sola operación (siembra y fertilización), y como desventajas, la posible fitotoxicidad cuando se usan dosis altas y el fertilizante queda en contacto con la semilla, las demoras en la carga de la tolva de la máquina, y la desuniformidad en la dotación del nutriente a lo largo y ancho del lote.

Un método alternativo es la aplicación del fertilizante fosforado en cobertura total, sin incorporación, previo a la siembra del cultivo. Los resultados obtenidos en otros países y regiones de Argentina han sido exitosos, encontrándose similares eficiencias de uso entre el P aplicado con aplicaciones en bandas y en cobertura total (Bianchini, 2003; Barbagelata, 2011).

A fin de continuar la evaluación zonal de la aplicación en cobertura de fertilizantes fosfatados, la Agencia INTA 9 de Julio realizó en la campaña 2011/12 una nueva experiencia de fertilización en trigo, como las realizadas en años anteriores, en donde se compararon las fertilizaciones en línea y al voleo, utilizando diferentes dosis de P.

El ensayo se condujo en el mismo sitio que el ensayo de fuentes de N descrito anteriormente, por lo que corresponden los mismos datos de análisis de suelo ya presentados. En esta experiencia la siembra se realizó el 24 de junio de 2011, empleándose la variedad Baguette 9, a razón de 98 kg ha⁻¹, sembrada a 0.23 m entre hileras.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de fertilización fosfatada evaluados en trigo. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio.

Tratamiento	Método de aplicación	Dosis de P (kg ha ⁻¹)
T1	-	0
T2	Cobertura	10
T3	Línea	10
T4	Cobertura	20
T5	Línea	20
T6	Cobertura	30
T7	Línea	30

Los tratamientos evaluados se presentan en la **Tabla 3**, y fueron dispuestos en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones.

La fuente fosforada empleada fue fosfato monoamónico. La aplicación fue al voleo en cobertura total, y en todos los casos se aplicó el mismo día de la siembra o el día previo a la realización de la misma, en tanto que la aplicación en la línea de siembra se realizó con la sembradora en la siembra.

Todos los tratamientos, incluido el testigo, recibieron, posterior a la siembra, la aplicación de 90 kg N ha⁻¹ como urea y 10 kg S ha⁻¹ como sulfato de calcio. Ambos nutrientes fueron aplicados inmediatamente luego de sembrarse el ensayo, en cobertura total sin incorporación. A lo largo del ensayo se realizaron aplicaciones de agroquímicos, para controlar malezas, enfermedades e insectos.

Los datos de rendimiento obtenidos fueron sometidos a un análisis de ANOVA y los tratamientos fueron comparados mediante el test de DMS ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Los rendimientos de todos los tratamientos fertilizados con P fueron superiores al rendimiento del testigo (**Figura 3**). Esta situación parecería tener una cierta lógica en un lote tan carente de este nutriente (P Bray-I = 3.6 ppm).

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las formas de aplicación al voleo o en la línea, aunque se observó una tendencia de mayor rendimiento con aplicaciones en la línea, especialmente a la dosis menor (T3 vs T2, **Figura 3**). Por otra parte, si analizamos todos los datos en conjunto encontramos una respuesta lineal a P, la cual no decae aún en la dosis mayor de P suministrada (**Figura 4**).

Las eficiencias agronómicas de P (EAP, kg respuesta trigo kg⁻¹ P aplicado) logradas fueron muy altas, variando desde 82 kg trigo kg⁻¹ P para la menor dosis de P aplicado

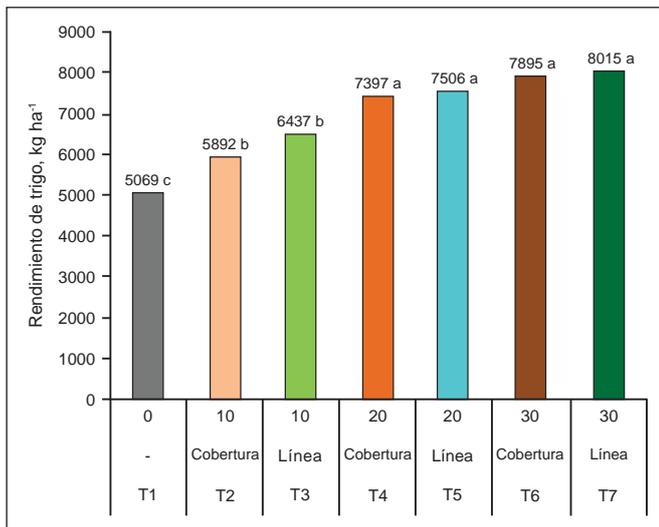


Figura 3. Rendimiento en grano de trigo para los distintos tratamientos de localización del fertilizante fosfatado. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio. Medias seguidas por letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

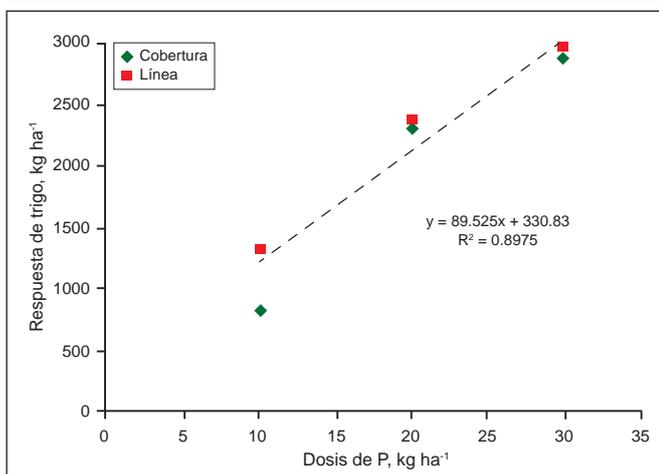


Figura 4. Respuesta en rendimiento de trigo en función de la dosis de P aplicada al voleo o en línea de siembra. Campaña 2011/12. INTA 9 de Julio.

al voleo (T2), hasta 137 kg trigo kg^{-1} P para la dosis menor aplicada en la línea (T3). Las aplicaciones con 20 kg P ha^{-1} , alcanzaron EAP de 116 y 122 kg trigo kg P aplicado al voleo (T4) y en la línea (T5), respectivamente; mientras que con dosis de 30 kg P ha^{-1} , las aplicaciones al voleo (T6) y en la línea (T7) alcanzaron valores de 94 y 98 kg trigo kg^{-1} P, respectivamente.

Conclusiones

La experiencia realizada en esta campaña concuerda con los resultados obtenidos por esta misma unidad en los años anteriores. En lotes bajo siembra directa bien estructurados, con una buena física de suelo, sin densificaciones, con buena cantidad de macro y meso poros, el P puede ser aplicado tanto en cobertura total como al voleo previo a la siembra del cultivo de trigo. La aplicación anticipada sería adecuada, dado que de esa manera habría mayores posibilidades de recibir precipitaciones. De todos modos, esta no sería una

condición indispensable, dado que como se aprecia en este ensayo, aún con muy bajo contenido de P Bray (<5 ppm), las aplicaciones en el mismo momento de la siembra pueden generar resultados satisfactorios, tanto al voleo como en la línea. Una posible mejora de la práctica podría ser aplicar una pequeña cantidad en la línea de siembra, no más del 20% del fertilizante fosforado que se piensa aplicar, esparciendo con anterioridad en cobertura total el grueso del mismo. Esta alternativa podría darnos la posibilidad de lograr excelentes uniformidades de implantación, mejorando la situación principalmente en lotes con muy bajo contenido de P y tiempo muy frío.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los Sres. Bueno y Scalice del establecimiento "Dos Amigos", lugar donde se condujeron las experiencias, por el apoyo recibido, como así también a los Sres. Gustavo Bueno, Diego Giansiracusa, Jorge Primiani, por la colaboración recibida, al Sr. Sergio Meroni y equipo, por la cosecha, y a los Ings. Juan Vanina y Juan Tamborenea de la empresa ASP, filial French, por la provisión de la urea tratada.

Bibliografía

Barbagelata, P. 2011. Fertilización fosfatada para trigo y maíz en siembra directa: Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización. Actas Simposio Fertilidad 2011. IPNI-Fertilizar AC. pp. 90-97.

Barreto, H.J., y R.L. Westerman. 1989. Soil urease activity wheat residue management systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1455-1458.

Bianchini, A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". IPNI Cono Sur. pp. 79-82.

Buresh, R.J., S.K. De Ditta, J.L. Padilla, y M.I. Samson. 1988. Field evaluation of two urease inhibitors with transplanted lowland rice. Agron. J. 80:763-768.

Cantarella, H., y R.O. Marcelino. 2007. Uso de inhibidor de urease para aumentar la eficiencia de la urea. In: Yamada, T. and Castro, P.R.C. Simpósio sobre informacoes recentes para otimizacao da producao agrícola. Piracicaba, international plant nutrition institute. 19 p.

Martens, D.A, y J.M. Bremner, J.M. 1984. Effectiveness of phosphoroamides for retardation of urea hydrolysis in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:302-305.

Watson, C.J, H. Millar, P. Poland, D.J. Kilpatrick, M.B.D. Allen, M.K. Garret, y C.B. Christianson. 1994. Soil properties and the applications of the urease inhibitor (N(n-butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) for improved the efficiency of urea fertilizer utilization on temperate grassland. Grass and forage science, 53:137-145. *